



Programa de Estudios de Posgrado

EDAD Y CRECIMIENTO DE LA ALMEJA DE SIFÓN
Panopea globosa en el Alto Golfo de California, México.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

p r e s e n t a

Sergio Alejandro Pérez Valencia

La Paz, B. C. S., Marzo del 2013.

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11 horas del día 14 del Mes de enero del 2013, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Edad y Crecimiento de la Almeja de Sifon *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California, México"


Presentada por el alumno:

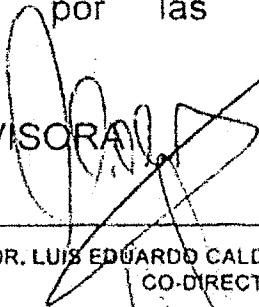
Sergio Alejandro Pérez Valencia

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


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


LA COMISION REVISORA


DR. EUGENIO ALBERTO ARAGÓN NORIEGA
CO-DIRECTOR DE TESIS


DR. LUIS EDUARDO CALDERÓN AGUILERA
CO-DIRECTOR


DR. DANIEL BERNARDO LLUCH COTA
CO-TUTOR


DR. ENRIQUE MORALES BOJORQUEZ
CO-TUTOR


DRA. CARMEN GUADALUPE PANIAGUA CHÁVEZ
CO-TUTOR


DRA. ELISA SERRERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONFORMACIÓN DE COMITÉS

COMITÉ TUTORIAL

Co-Directores

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Centro de Investigación Científica y educación Superior de Ensenada

Co-Tutores

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dra. Carmen Guadalupe Paniagua Chávez

Centro de Investigación Científica y educación Superior de Ensenada

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Enrique Morales Bojorquez

Dra. Carmen Guadalupe Paniagua Chávez

JURADO DE EXAMEN

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Enrique Morales Bojorquez

Dra. Carmen Guadalupe Paniagua Chávez

Dr. César Salinas Zavala (Suplente)

Resumen

Este estudio describe la edad y el crecimiento de la almeja de sifón *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California. El estudio fue motivado porque el conocimiento biológico de esta especie es muy poco en México. Las almejas fueron recolectadas desde noviembre de 2008 a octubre de 2009 como parte de una pesquería experimental de Puerto Peñasco, Sonora y San Felipe en Baja California, México. La edad se determinó mediante el método conocido como "piel de acetato". El crecimiento individual fue estimado usando los modelos de von Bertalanffy (VBGM), Schnute, Gompertz, Logístico y Schnute y Richards. Los parámetros de los modelos y sus intervalos de confianza se calcularon por medio de máxima verosimilitud y los mejores modelos fueron seleccionados usando el Criterio de Información de Akaike AIC. En Puerto Peñasco las edades fueron de 2 a 34 años de edad con moda a los 11 y 12 años de edad. La longitud media de la concha fue 146 ± 3 mm. En San Felipe las edades fueron de 7 a 60 años de edad con moda de 22 años y la longitud promedio de la concha 148 ± 6 mm. Según el AIC el modelo que mejor describe el crecimiento en Puerto Peñasco fue el Logístico, pero en San Felipe fue el modelo de Schnute. Siguiendo la inferencia multimodelo, la longitud asintótica de la concha de la almejas de Puerto Peñasco fue 162.52 mm y el coeficiente de crecimiento (k) fue de 0.23. En San Felipe la longitud asintótica de la concha fue 213.63 mm. Las diferencias pueden ser explicadas por la naturaleza de los datos en lugar de las diferencias ambientales de los sitios. Otro objetivo fue evaluar la biomasa en Puerto Peñasco porque el área era un lugar virgen para la pesca de almeja de sifón al momento del estudio y fue posible identificar un banco. Por otro lado, la biomasa virgen en el banco se evaluó mediante un modelo estructurado de tallas con el fin de establecer una cuota de captura, basado en la explotación del 1% por año para el usufructo de este recurso en un horizonte de 50 años. Se concluye que la almeja de sifón en el Alto Golfo de California es una población recientemente asentada. Siendo una especie recientemente explotada los resultados aquí presentados son importantes para el conocimiento biológico y manejo pesquero.

Abstract

This study describes the age and growth of the cortes geoduck *Panopea globosa* in the upper Gulf of California. It was motivated because the limited knowledge of biological aspect this species in Mexico. Geoducks were collected from November 2008 to October 2009 as part of an experimental fishery off Puerto Peñasco, Sonora, and San Felipe in Baja California, Mexico. Age was established using “acetate peel” method. Individual’s growth was estimate by means of von Bertalanffy growth model (VBGM), Schnute, Gompertz, Logistic and Schnute y Richards growth models. The parameters for the models and their confidence interval were computed by maximum likelihood and the best models selected by Akaike Information Creiteria AIC. In Puerto Peñasco ages were from 2 to 34 years old but mode was 11 and 12 y. Average size was 146 ± 3 mm shell length. In San Felipe ages were from 7 to 60 years old but mode was 22 y. Average size was 148 ± 6 mm shell length. According to AIC the model best describe the growth in Puerto Peñasco was the Logistic, but in San Felipe was the Schnute model. Following the multimodel inference, the asymptotic length of the shell in cortes geoduck of *P. globosa* off Puerto Peñasco was 162.52 mm and the growth coefficient (k) was 0.23. In San Felipe the asymptotic length of the shell was 213.63 mm. The differences maybe explicated because the nature of data instead of environmental differences of sites. Another objective was assessing the biomass in Puerto Peñasco because the area was a virgin site for cortes geoduck fishing and it was possible to establish the shape of a bed for this clam. On the other hand, the virgin biomass in the bed was assessed using a size structured model in order to setup a quota of capture based on the exploitation of 1% per year for the use in a 50 year horizon. This shows that cortes geoduck from the upper Gulf of California is a recently settled populations. Being a recently detected species this information become important for biological knowledge and for managerial purpose as fishery.

DEDICATORIA

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT quien me apoyó mediante la beca No. 102481 para realizar mis estudios de Doctorado.

Al Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Director del proyecto del cual se desprende estedocumento de tesis. Gracias por su disposición, apoyo y valiosa colaboración.

Al Dr. Enrique Morales Bojórquez por sus asesorías en el manejo de teoría de información y enfoque multimodelo.

A Víctor Moreno por su ayuda en el procesamiento para la determinación de edad de las almejas.

A la Secretaría de Pesca y Acuicultura del Gobierno del Estado de Baja California – CONAPESCA por el apoyo otorgado mediante el proyecto Programa de investigación para el seguimiento de la pesquería de almeja generosa (*Panopea* spp.) Prospección y evaluación de nuevas áreas de aprovechamiento (otorgado al Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera).

Índice

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	9
II.1. Biología.....	9
II.1.1. Taxonomía.....	9
II.1.2. Distribución	11
II.1.3. Alimentación, depredación y mortalidad natural	12
II.1.4. Reproducción.....	13
II.1.5. Edad y Crecimiento.	16
II.2. Área de Estudio.....	21
III. HIPÓTESIS.....	24
IV. OBJETIVOS	24
IV.1. Objetivo general	24
IV.2. Objetivos particulares.....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
V.1. Muestreo.	25
V.1.1. Muestreo dependientes de la pesquería.....	25
V.1.2. Registro independientes de la pesquería.....	26
V.2. Descripción del crecimiento individual.....	27
V.2.1. Impresión de anillos de crecimiento.....	27
V.2.2. Lectura de anillos de crecimiento.....	29
V.2.3. Comprobación de la anualidad de los incrementos periódicos.....	30
V.2.4. Selección del modelo e inferencias sobre el crecimiento.....	31
V.3. Estimación de Biomasa.....	38
VI. RESULTADOS.....	43
VI.1. Avisos de Arribo, Bitácoras de pesca y Biometrías.....	43
VI.2. Descripción del desarrollo individual.....	48
VI.2.1. Edad.....	48
VI.2.2. Crecimiento.....	50
VI.2.3. Selección del modelo e inferencias sobre el crecimiento.....	52
VI.3. Estimación de Biomasa.....	53
VI.3.1. Esfuerzo pesquero utilizado para estimar biomasa.....	53
VI.3.2. Biomasa estimada en Puerto Peñasco.....	54
VII. DISCUSIÓN	58
VII.1 Distribución de pesos y tallas.....	58
VII.2 Edad.....	58
VII.3. Crecimiento.....	61
VII.4. Selección del modelo de crecimiento.....	62
VII.4. Estimación de Biomasa.....	65
VIII. LITERATURA CITADA.....	67
ANEXOS.....	79
Anexo I Artículo Publicado	79
Anexo II. Artículo Aceptado	85

Lista de Figuras

	Página
Figura 1	2
Capturas históricas de <i>Panopea generosa</i> (Canadá y E.U.) y <i>Panopea</i> spp. (México). Fuente: NOAA Fisheries, Office of Science and Technology; Fisheries and OceansCanada; Subdelegación de Pesca, Ensenada, B.C.; CRIP-La Paz; CEDO Intercultural, A.C.	
Figura 2	5
Distribución geográfica de los polígonos y bancos autorizados por cooperativa para la pesca de fomento de <i>Panopea globosa</i> en el Alto Golfo de California. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.	
Figura 3	7
Modelos básicos de densodependencia en invertebrados sedentarios bénticos con desoves masivos, fertilización externa y larvas pelágicas. La línea más oscura representa el valor promedio de la variable dependiente condicionada por la densidad de adultos locales. K es la capacidad de carga local; T1-T5 son los límites de densidad que deben ser rebasados para que cambien las tendencias; LA es un índice de disponibilidad larval; Max es el valor máximo de un índice relativo de producción de gametos por un organismo (Figura modificada partir de Orensanz <i>et al.</i> , 2004).	
Figura 4.	11
Banco de almeja <i>Panopea globosa</i> frente a las costas de Puerto Peñasco, Sonora. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.	
Figura 5	12
Bancos de almeja <i>Panopea globosa</i> frente a las costas de San Felipe, B.C. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.	
Figura 6.	26
Longitudes básicas usadas para <i>Panopea globosa</i> .	
Figura 7	31
Representación grafica del razonamiento que se sigue para determinar mediante el uso de los Años Firma, la anualidad de los incrementos en el crecimiento de <i>Panopea globosa</i> .	
Figura 8	45
Histograma de los intervalos de peso vivo de la almeja <i>Panopea globosa</i> medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.	

Lista de Figuras (continuación)

Figura 9	Histograma de los intervalos de peso vivo de la almeja <i>Panopea globosa</i> medida a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.	46
Figura 10	Histograma de los intervalos de la longitud de la valva de la almeja <i>Panopea globosa</i> medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.	46
Figura 11	Histograma de los intervalos de la longitud de la valva de la almeja <i>Panopea globosa</i> medida a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.	47
Figura 12	Distribución de estructura de edad de <i>Panopea globosa</i> en Puerto Peñasco.	49
Figura 13	Distribución de estructura de edad de <i>Panopea globosa</i> en San Felipe.	50
Figura 14	Curvas de crecimiento generadas para los cinco modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de <i>Panopea globosa</i> de Puerto Peñasco.	51
Figura 15	Curvas de crecimiento generadas para los cinco modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de <i>Panopea globosa</i> de San Felipe.	51
Figura 16	Biomasa total estimada por tallas de acuerdo a los parámetros descritos en la Tabla XVII.	56
Figura 17	Modelo (línea) ajustado a los datos observados (puntos) de captura a la talla. Los parámetros fueron estimados mediante el análisis de tallas de Sullivan (Sullivan <i>et al.</i> , 1990).	57

Lista de Tablas

		Página
Tabla I	Captura histórica total de almeja de sifón y porcentaje por especie en México	3
Tabla II	Estado de las solicitudes de permiso de fomento para la captura de <i>Panopea globosa</i> en el Alto Golfo de California, actualizado a mayo de 2010.	5
Tabla III	Medidas morfométricas (mm) de almejas <i>P. generosa</i> (n=30) y <i>P. globosa</i> (n=30). SL= longitud de la concha, H= Alto, UP= distancia del umbo al margen posterior, UN= distancia del umbo al extremo opuesto de la ninfa, NL= longitud de la ninfa, UV= distancia del umbo al margen ventral, WPS= ancho del seno paleal, DPS= profundidad del seno paleal, W= peso de la valva derecha. Tabla modificada a partir de González-Peláez <i>et al.</i> (2010).	10
Tabla IV	Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy estimados para almejas de sifón en Columbia Británica, Canadá y en el Estado de Washington, E.U	19
Tabla V	Resumen de los avisos de arribo y bitácoras de pesca que registraron las capturas amparadas por el permiso de fomento DGOPA.02938.270308.0672 en Puerto Peñasco, Son.	43
Tabla VI	Resumen de los avisos de arribo y bitácoras de pesca que registraron las capturas amparadas por el permiso de fomento DGOPA.02938.270308.0672 en San Felipe, B.C.	44
Tabla VII	Valores promedio, intervalo de confianza (95%) y valor máximo del peso y la longitud de <i>Panopea globosa</i> medidos a partir de muestreos de las capturas realizadas en Puerto Peñasco y San Felipe.	45
Tabla VIII	Intervalos del peso de la almeja <i>Panopea globosa</i> medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.	47
Tabla IX	Intervalos del peso de la almeja <i>Panopea globosa</i> medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.	48

Lista de Tablas (continuación)

Tabla X	Descripción del número de anillos de crecimiento y largo de valvas de almeja <i>Panopea globosa</i> de Puerto Peñasco y San Felipe.	48
Tabla XI	Frecuencia de edad por intervalos de almeja <i>Panopea globosa</i> de Puerto Peñasco y San Felipe	49
Tabla XII	Parámetros estimados para el ajuste de los cinco modelos de crecimiento individual a datos de longitud a la edad para <i>Panopea globosa</i> de Puerto Peñasco.	52
Tabla XIII	Parámetros estimados para el ajuste de los cinco modelos de crecimiento individual a datos de longitud a la edad para <i>Panopea globosa</i> de San Felipe	52
Tabla XIV	Valores de AIC, Δ_i , W_i y L_∞ obtenidos de los modelos ajustados con los datos “crudos” de longitud a la edad, para <i>Panopea globosa</i> de Puerto Peñasco	53
Tabla XV	Valores de AIC, Δ_i , W_i y L_∞ obtenidos de los modelos ajustados con los datos “crudos” de longitud a la edad, para <i>Panopea globosa</i> de San Felipe.	53
Tabla XVI	Resumen de fechas, días efectivos de pesca y captura realizadas en el banco de Puerto Peñasco con base a los avisos de arribo	54
Tabla XVII	Frecuencia de tallas extrapolada a la captura total con base a la distribución de frecuencias obtenidas a través del muestreo de las capturas	55
Tabla XVIII	Valores de los parámetros obtenidos mediante el análisis de estructura de tallas de Sullivan.	56

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo I	Artículo publicado
	79
	Pérez-Valencia, S.A. y E. A. Aragón-Noriega 2012. Determinación de biomasa y bancos de la almeja de sifón <i>Panopea globosa</i> (Dall, 1898) en una zona virgen del Alto Golfo de California. : INTERCIENCIA, 37(9): 651-656
Anexo II	Artículo aceptado
	85
	Pérez-Valencia, S.A. y E. A. Aragón-Noriega (En Prensa). Age and growth of the Cortes Geoduck <i>Panopea</i> <i>globosa</i> (Dall 1898) in the upper Gulf of California Indian Journal of Marine Science

I. INTRODUCCIÓN

En la región del Pacífico noreste las almejas del género *Panopea* o almejas de sifón, se distribuyen desde Alaska hasta el Golfo de California y sostienen pesquerías muy lucrativas. La explotación comercial de *Panopea generosa* (anteriormente *Panopea abrupta*, Vadopalas *et al.*, 2010) inició en 1970 en el Estado de Washington (Shaul y Goodwin, 1982). El desarrollo del mercado en Japón durante 1974 favoreció que se empezara a extender esta pesquería. En Canadá su explotación se inició en 1976 en la isla de Vancouver y para 1980 ya se había extendido a otras partes de la Columbia Británica. En esta región, al inicio no hubo regulaciones por lo que el número de permisos aumentó rápidamente hasta que en 1979 se introdujo una moratoria y los permisos se hicieron no transferibles; a principios de los ochentas se redujo el número de permisos y se limitó el acceso al recurso. A finales de la década de 1980, cambios en la demanda del mercado modificó la presentación del recurso y el destino. Pasó de ser carne procesada que se exportaba a Japón, a ser almejas que se exportan vivas a China, principalmente a Hong Kong (Orensanz *et al.*, 2000).

En México la pesquería de la almeja de sifón, *Panopea* spp. está en desarrollo. Los registros oficiales de las capturas iniciaron en 2002, aunque personas involucradas en su explotación afirman que las capturas empezaron a partir de 2000. Las capturas totales han crecido rápido alcanzando incluso volúmenes semejantes a los capturados en E.U. y Canadá (Figura 1). La almeja *P. globosa* es la que mayor contribuye a la captura en México, desde

el 2003 nunca a dejado de representar menos del 73% de la captura total (Tabla I). Más aún, recientes prospecciones sugieren que *P. globosa* y *P. generosa* tienen un gran potencial pesquero en la costa occidental de la península de Baja California y en ambas costas de la parte norte del Golfo de California.

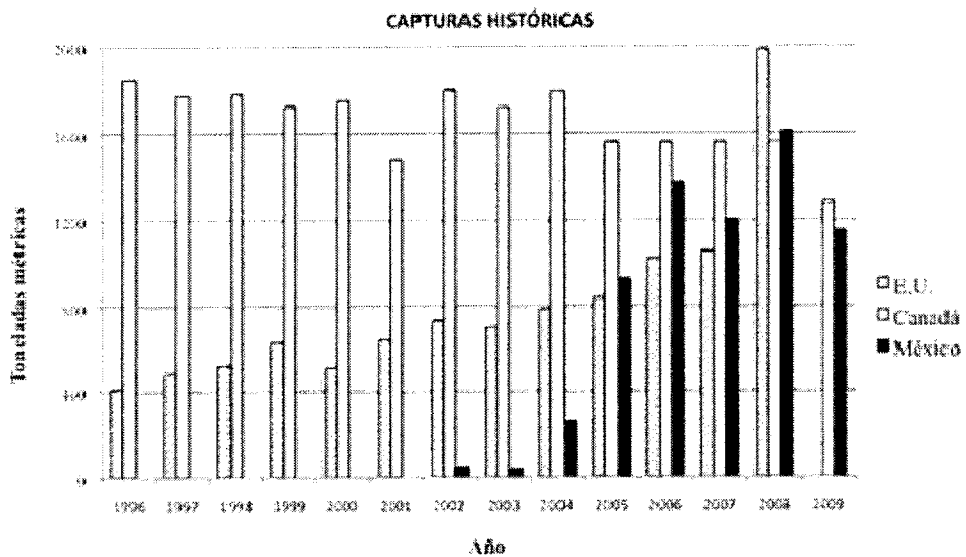


Figura 1. Capturas históricas de *Panopea generosa* (Canadá y E.U.) y *Panopea* spp. (México). Fuente: NOAA Fisheries, Office of Science and Technology; Fisheries and Oceans Canada; Subdelegación de Pesca, Ensenada, B.C.; CRIP-La Paz; CEDO Intercultural, A.C.

Desde el año 2002 el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura dictamina sobre las cuotas de aprovechamiento con base en resultados de evaluaciones de abundancia y distribución. En 2007 se desarrolló la propuesta del “Plan de Manejo para el Recurso Almeja Generosa en Baja California”, el cual cuenta con el “Programa de investigación para el seguimiento de la pesquería, la prospección y evaluación de nuevas áreas de aprovechamiento”. En este

último se incluye una metodología estandarizada para delimitar los bancos, establecer la distribución y realizar las estimaciones de densidad y biomasa. Actualmente esta propuesta de plan también orienta el manejo y la investigación de *P. globosa* en los estados de Baja California Sur y Sonora y establece que se deben de cumplir tres etapas para lograr la explotación y conservación de la almeja *Panopea* spp. Estas tres etapas implican dos modalidades particulares de acceso al recurso las cuales se resumen a continuación (INAPESCA, 2007):

Tabla I. Captura histórica total de almeja de sifón y porcentaje por especie en México.

Año	Captura total (Ton)	<i>Panopea globosa</i> (%)			<i>Panopea generosa</i>
		San Felipe	Puerto Peñasco	Bahía Magdalena	
2002	49	26	-	-	74
2003	38	93	-	-	7
2004	264	96	-	-	4
2005	930	75	-	25	0.1
2006	1374	70	-	6	24
2007	1202	76	-	2	23
2008	1609	56	1	22	21
2009	1151	69	8	-	23

Fuente: Subdelegación de Pesca, Ensenada, B.C.; CRIP-La Paz; CEDO Intercultural, A.C.

- Fase I.- Al amparo de un permiso de fomento, se realizan investigaciones para confirmar la presencia del recurso y determinar preliminarmente una distribución espacial y la densidad de los bancos identificados. Se realizan monitoreos independientes de las actividades pesqueras cuyos resultados son la base para determinar una primera cuota anual que no puede exceder el 0.5% de la densidad total.

- Fase. II- A la cooperativa o permisionario se les otorga un permiso de fomento anual que le permite estudiar la abundancia del recurso y que lo compromete a mantener un registro estricto de las capturas mediante el uso de bitácoras diarias de pesca por embarcación. Se toman biometrías de los organismos capturados para determinar la estructura de tallas y pesos, que serán la base para estimaciones de biomasa con base a métodos estructurados por tallas. Una vez que se completen los objetivos del permiso, el beneficiario puede solicitar un permiso comercial con base a los resultados de los estudios. En caso de ser autorizada, la cuota comercial no puede ser mayor al 1% de la biomasa virgen.

- Fase III.- También implica el seguimiento de las capturas por banco a través de bitácoras de pesca diarias por embarcaciones y muestreos. En esta etapa se deben plantear un esquema de aprovechamiento que incluya rotación trianual de bancos, zonas de no explotación en bancos identificados con baja.

Bajo este esquema de acceso al recurso, actualmente en el Alto Golfo de California 16 cooperativas han solicitado permisos de fomento para la almeja *P. globosa*, de las cuales 11 han obtenido permiso, se han autorizado 38 embarcaciones para la extracción y se han autorizado cuotas de captura anuales para seis bancos (Tabla II). A través de los permisos, también se han establecido claramente los derechos de aprovechamiento al autorizar polígonos sin traslape por cooperativa (Figura 2).

Tabla II. Estado de las solicitudes de permiso de fomento para la captura de *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California, actualizado a mayo de 2010.

Cooperativa Pesquera	Estatus del permiso o solicitud	Pangas autoriz adas	Bancos autorizados	Cuota por banco autorizada (# de almejas)	Clave del Polígono autorizado
S.C.P.P Nuevo Golfo S:C de R.L.	Sometida	-	-	-	P-GSC-1
C.P.P. del Altura de Bienes y Servicios GUAYSOMEX, s.c.i.	Sometida	-	-	-	P-GSC-2
S.C.P.P. Estero del GYero Velta, S.C. de R.L.	Sometida	-	-	-	P-GSC-3
S.C. de Producción Pesquera Don To-o, S.C. de R.L.	Fase I	2	-	200	P-PPE-1
S.C. pesquera de los Verdugo de la Salinita, S.C.V.	Fase I	4	-	200	P-PPE-2
S.C.P.P. Progreso de Pe-asco, S.C. de R.L. de C.V.	Fase I	3	-	200	P-PPE-3
S.C.P.P. Mar y Tierra del Golfo de Cortez S.C. de R.L.	Fase II	4	1	71.140	P-PPE-4
S.C.P.P. Jaiberos y Escameros, S.C de R.L.	Fase II	3	1	38.8115	P-PPE-5
S.C.P.A.P. Islas Sonora, S.C.L.	Fase II	3	1	90.009	P-PPE-6
S.C.P.P. Buzos de Puerto punta Peñasco,S.C. de R.L.	Fase I	4	-	200	P-PPE-7
S.C.A. GOLPAC S.C. de R.L. de C.V.	Sometida	-	-	-	P-DDC-1
S.C.P.P.A. Pescadores del Desemboque S.C. de R.L.	Fase I	4	-	200	P-DDC-2
Compañeros del Puerto ,S.C.L.	Sometida	-	-	-	P-SFE-1
S.C.P.P. Rib. Demetrio Soberanes castro ,S.C.L.	Fase I	4	-	200	P-SFE-2
Los amigos del Puerto S.P.R. de R.L.	Fase II	3	2	122.360	P-SFE-3
U.P.P. Mavadu S.P.R. de R.L.	Fase II	3	1	164.640	P-SFE-4

Fuente: CEDO Intercultural, A.C.

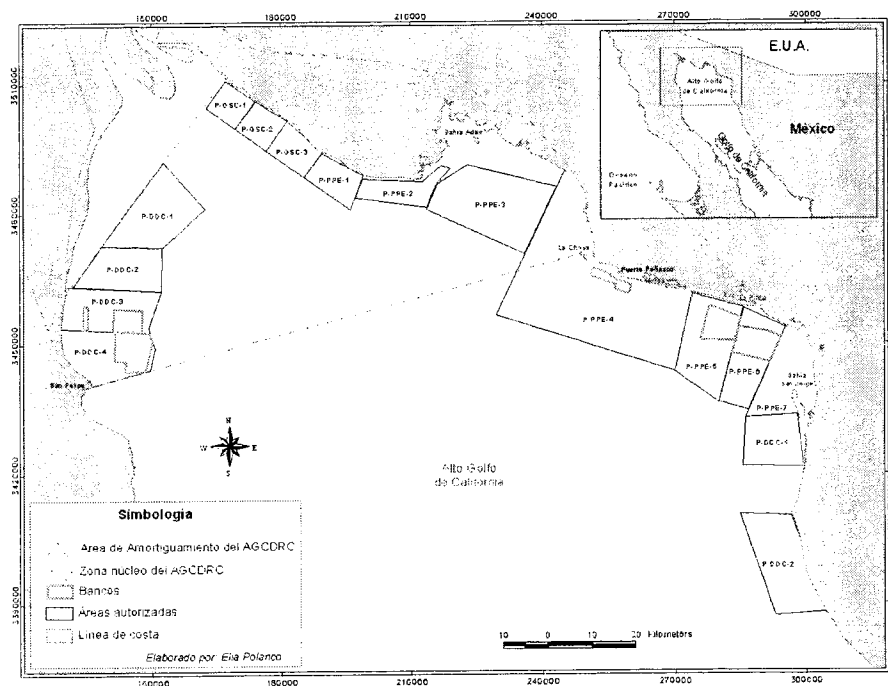


Figura 2. Distribución geográfica de los polígonos y bancos autorizados por cooperativa para la pesca de fomento de *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.

En resumen, la captura de *Panopea* spp. en México está creciendo y todavía no se tiene información biológica y ecológica específica que sirva para establecer puntos de referencia que orienten el manejo pesquero. Esto es especialmente importante considerando que se trata de especies que de acuerdo con las investigaciones en *P. generosa*, se caracterizan en general por ser muy longevas, tener bajas tasas de reclutamiento y crecimiento poblacional lento, apreciable sólo a largo plazo. De acuerdo con Orensanz *et al.* (2004), la explotación de especies con dichas características imponen problemas al manejo pesquero, especialmente si se conoce poco de la dinámica poblacional. En Estados Unidos y Canadá este problema fue reconocido desde el inicio de las pesquerías y por eso para evitar la sobrepesca se establecieron regulaciones rígidas, como es una baja tasa de captura nominal (1%-3%), la cual está en proporción a la mortalidad natural. En México se adoptó este enfoque conservador sin tener la información que le diera sustento.

Orensanz *et al.* (2004) también mencionan que la discusión de si dichas tasas de captura son no sustentables o conservadoras es vigente y se basan en dos planteamientos opuestos. En el primero la reducción del número de juveniles en los bancos explotados es debido a los efectos adversos de la pesca sobre el reclutamiento posterior a la explotación del banco. En el segundo pocos reproductores pueden saturar rápidamente una población diezmada por la mortalidad (por ejemplo en bancos que han sido explotados intensivamente); dada la alta producción de larva per capita, habría un número altísimo de reclutas potenciales que ocuparían los espacios dejados por los organismos que mueren en los bancos. Estos dos planteamientos quedan enmarcados en alguno de los cuatro modelos que han sido propuestos para explicar los procesos densodependientes en invertebrados sedentarios

bénticos con desoves masivos, fertilización externa y larvas pelágicas (Figura 3). Sin embargo, para el caso de las poblaciones de la almeja de sifón son escasas y no concluyentes las evidencias de densodependencia pre o post-dispersión, ni compensatoria o dependensoria (Orensanz *et al.*, 2004).

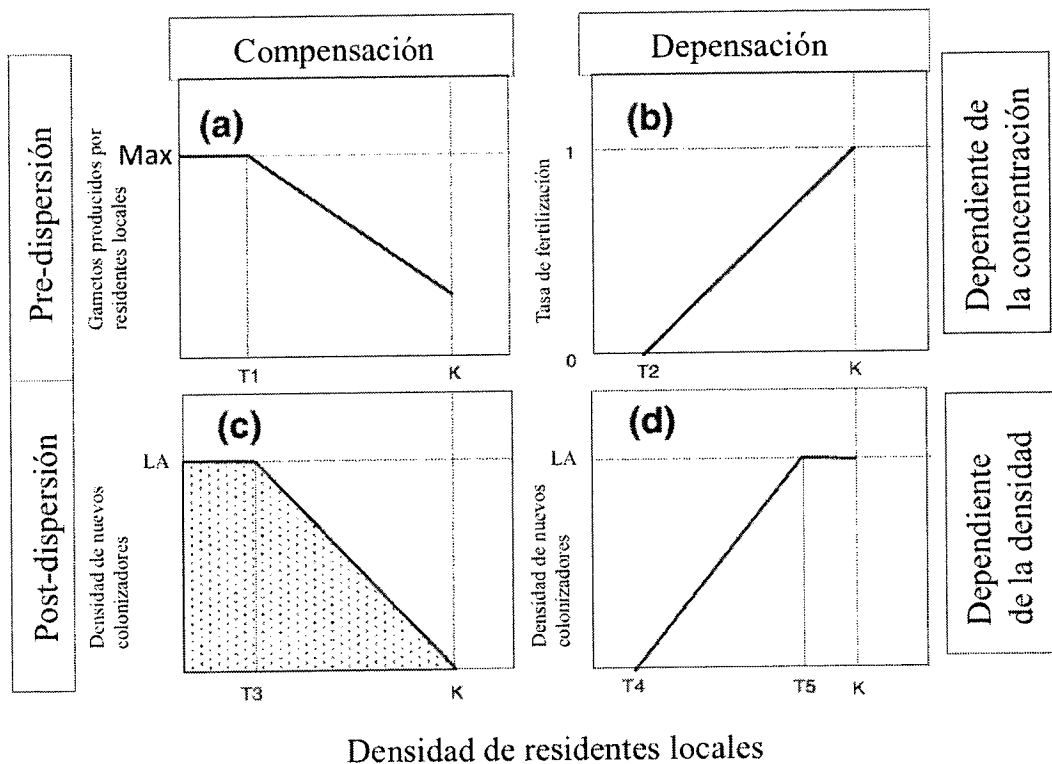


Figura 3. Modelos básicos de densodependencia en invertebrados sedentarios bénticos con desoves masivos, fertilización externa y larvas pelágicas. La línea más oscura representa el valor promedio de la variable dependiente condicionada por la densidad de adultos locales. **K** es la capacidad de carga local; **T1-T5** son los límites de densidad que deben ser rebasados para que cambien las tendencias; **LA** es un índice de disponibilidad larval; **Max** es el valor máximo de un índice relativo de producción de gametos por un organismo (Figura modificada partir de Orensanz *et al.*, 2004).

Durante los monitoreos de los estudios de fomento llevados a cabo en Puerto Peñasco, Sonora, y San Felipe, B.C. se ha observado que bancos con menores densidades tienen pesos y tallas promedios más grades. Lo anterior incluso influye sobre el comportamiento de los buzos comerciales, ya que prefieren extraer almejas de los bancos con mayor densidad a pesar de que sean menos grandes.

Es importante empezar a responder preguntas sobre la reacción poblacional de los bancos a la pesca, lo cual tendría obligadamente implicaciones en el manejo pesquero. Por ejemplo, Orensanz *et al.* (2004) mencionan para el caso de los dos planteamientos sobre el efecto de la pesca en el reclutamiento, que bajo el primero, la recuperación de bancos explotados sería lenta y habría una reducción en la productividad. Mientras que bajo el segundo planteamiento, y considerando que las almejas de sifón prácticamente dejan de crecer a los diez años, podrían ser posibles tasas sustentables de captura más altas.

Por esta razón la presente investigación se enfoca en determinar la edad y crecimiento de almeja de sifón *P. globosa* en dos sitios del Alto Golfo de California.

II. ANTECEDENTES

En México la información ecológico-pesquera sobre *Panopea* spp. se está generando. Una de las principales razones de este escaso conocimiento, es que el interés científico sobre este recurso es reciente, posterior al descubrimiento de bancos susceptibles de explotación, lo cual ocurrió entre 2000 y 2002. Por otro lado no es extraño que con más de 40 años de explotación, la mayor cantidad de literatura sobre la biología, ecología pesquera, manejo pesquero y acuicultura se haya desarrollado en Columbia Británica, Canadá, y el Estado de Washington, Estados Unidos. Aunque también existen publicaciones sobre aspectos biológicos de las especies presentes en Nueva Zelanda y Argentina.

II.1. Biología

II.1.1. Taxonomía

La clasificación taxonómica de la almeja *Panopea globosa* es:

Phylum Mollusca.

Clase: Bivalvia.

Orden: Myoida.

Familia: Hiatellidae.

Genero: *Panopea*.

Especie: *globosa*. (Dall, 1898).

Recientes estudios taxonómicos de Leyva-Valencia *et al.* (2010) y González-Peláez *et al.* (2010) y genéticos (Rocha-Ololivares *et al.* 2010) establecen que dos especies, *P. globosa* y *P. generosa*, son capturadas en México. González-Peláez *et al.* (2010) encontraron diferencias significativas entre ambas especies en cuanto morfología de las valvas (Tabla III).

Tabla III. Medidas morfométricas (mm) de almejas *P. generosa* (n=30) y *P. globosa* (n=30). SL= longitud de la concha, H= Alto, UP= distancia del umbo al margen posterior, UN= distancia del umbo al extremo opuesto de la ninfa, NL= longitud de la ninfa, UV= distancia del umbo al margen ventral, WPS= ancho del seno paleal, DPS= profundidad del seno paleal, W= peso de la valva derecha. Tabla modificada a partir de González-Peláez *et al.* (2010).

Especie	SL	H	UP	UN	Factor		UV	WPS	DPS	W
					NL					
<i>P. generosa</i>										
Promedio	140.6	85.3	73.3	17.0	13.7		115.8	26.5	12.6	72.1
Desv. Stand.	9.0	4.8	7.0	2.1	2.0		7.1	3.9	2.5	15.9
Min	118v	72	62	12	10		100	20	9	43
Max	161	97	93	22	19		132	36	18	117
<i>P. globosa</i>										
Promedio	153.5	106.1	86.8	14.0	11.4		148.8	29.5	15.2	93.0
Desv. Stand.	19.7	14.7	10.6	3.6	3.0		21.8	6.2	2.9	44.8
Min	116	73	69	7	6		99	20	10	20
Max	197	139	109	23	19		189	41	23	220

Leyva-Valencia *et al.* (2010), mediante técnicas de morfometría geométrica analizaron imágenes de valvas de *P. globosa* y *P. generosa* de diferentes localidades. Además de confirmar las diferencias entre ambas especies, confirmaron que incluso existen diferencias en la forma de la valva entre localidades con la misma especie (Bahía Magdalena, San Felipe, Puerto Peñasco y Guaymas), siendo las almejas de Guaymas las más diferentes.

Pero fue hasta 2010 cuando esta incertidumbre sobre la clasificación quedó completamente despejada con los estudios genéticos de Rocha-Olivares *et al.* (2010) quienes aportaron la información sobre las diferencias genéticas y clasificación de las especies como *P. generosa* en la costa del Pacífico de Baja California y *P. globosa* en el Golfo de California.

II.1.2. Distribución

Leyva-Valencia *et al.* (2010) y González-Peláez *et al.* (2010) reportan por primera vez *P. globosa* se encuentra fuera del Golfo de California y amplían su distribución hasta Bahía Magdalena, Baja California. Hasta la fecha, no hay estudios que contradigan que en México *P. generosa* se distribuye sólo en la costa oeste de Baja California. Con base a monitoreos de las actividades extractivas en Puerto Peñasco, Sonora y San Felipe B.C., se ha establecido que la mayor densidad de *P. globosa* se encuentra entre los 10-20 m de profundidad (Figuras 4 y 5; Pérez-Valencia, 2009).

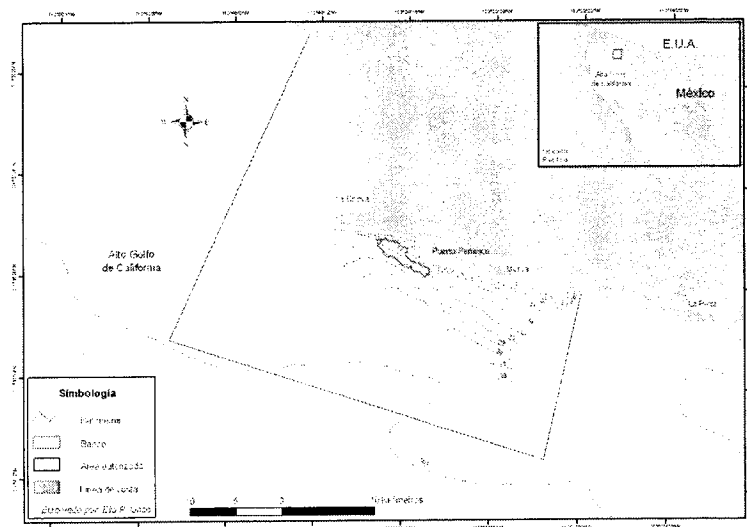


Figura 4. Banco de almeja *Panopea globosa* frente a las costas de Puerto Peñasco, Sonora. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.

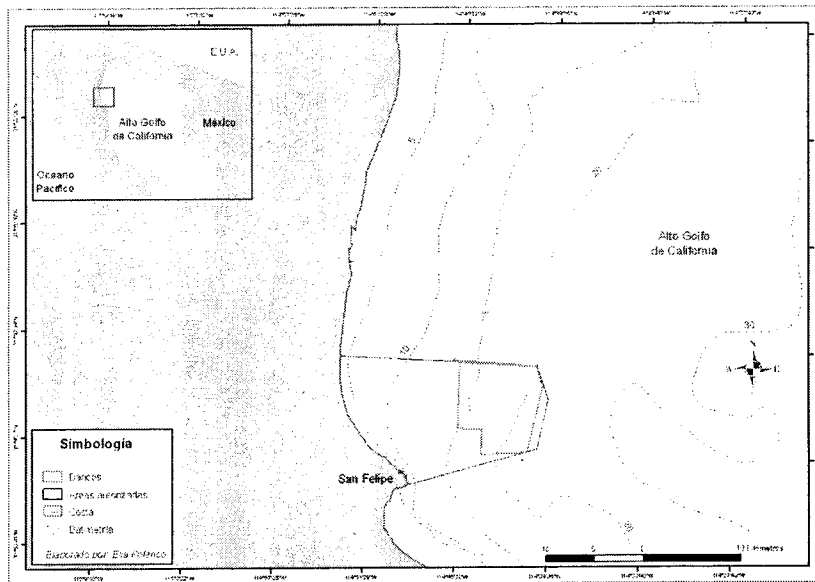


Figura 5. Bancos de almeja *Panopea globosa* frente a las costas de San Felipe, B.C. Fuente: CEDO Intercultural, A.C.

II.1.3. Alimentación, depredación y mortalidad natural

Las almejas del género *Panopea* se alimentan inhalando agua a través de los sifones y filtrando las partículas de alimento en las branquias (Goodwin y Pease, 1989). La mortalidad natural por depredación es alta durante la etapa larval y durante los primeros meses de vida bentónica, pero disminuye rápidamente conforme se entierra en el sedimento. La capacidad de enterrarse se relaciona con la longitud de la concha y el sifón (Zwarts y Wanik, 1989; Sloan y Robinson, 1984). Las larvas de la almeja de sifón pueden ser depredadas por organismos planctívoros pelágicos y por otros bivalvos filtradores, incluso por sus congéneres (Goodwin y Pease, 1989; Andre *et al.*, 1993). Al año de edad, ya han alcanzado una profundidad que reduce su vulnerabilidad a los depredadores

(Goodwin y Shaul, 1984). Las almejas adultas (de 75-200 mm de longitud), alcanzan una profundidad aproximada de un metro, y aunque son incapaces de moverse y excavar, prácticamente no tiene depredadores. El principal depredador es el hombre, pero también se han reportado casos de depredación por parte de nutrias, estrellas de mar y cangrejos (Sloan y Robinson, 1984; Goodwin y Pease, 1989).

Todas las estimaciones de las tasas mortalidad natural para *P. generosa* están basadas en análisis de curvas de captura a partir de distribución de frecuencias de la edad. Los coeficientes constante de mortalidad natural (M) se han estimado ajustando el modelo exponencial a los intervalos de edad (Orensanz *et al.*, 2000). También se puede estimar la tasa de mortalidad natural directamente, mediante el seguimiento de la sobrevivencia de organismos cuyas ubicaciones hayan sido identificadas y mapeadas (Fyfe, 1984). Los valores de M (años^{-1}) reportados por Breen y Shields (1983) estuvieron en el intervalo de 0.014-0.018, Sloan y Robinson (1984) de 0.035-0.054, Noakes (1992) entre 0.034 y 0.038 y Bradbury y Tagar (2000) de 0.0226. Ver Calderón-Aguilera *et al.* (2010) para M en Baja California.

II.1.4. Reproducción

En general las almejas del género *Panopea* presentan sexos separados (Campbell y Ming, 2003; registraron el primer caso de hermafroditismo) y desovan a la columna de agua donde se lleva a cabo la fecundación y el desarrollo larval (Goodwin y Peace, 1989; Breen *et al.*, 1991; Campbell, *et al.*, 1999; Aragón-Noriega *et al.*, 2007). Los trabajos de Andersen (1971a) y Sloan y Robinson (1984) establecieron los criterios para la clasificación de los

estadios gonádicos (seis etapas: una inmadura y otras cinco para diferentes estados de madurez) que han sido utilizados en trabajos posteriores para establecer, además de los ciclos reproductivos, la proporción de sexos y la talla y edad a la madurez.

Los estudios de Andersen (1971), Goodwin (1976), Sloan y Robinson (1984), Goodwin *et al.* (1979) y Goodwin y Pease (1989) sobre la reproducción de *P. generosa*, han encontrado consistentemente que: 1) los desoves son sincronizados y se presentan anualmente durante el verano (de mediados de mayo hasta julio pero en junio más del 90 % de los organismos maduros han desovado), 2) los machos maduran a tallas y edades menores que las hembras, 3) que su capacidad reproductiva no se ve afectada por la edad, así que pueden reproducirse por mas de 100 años y 4) existen diferencias entre bancos en cuanto la edad de primera madurez, pero no hay tantas diferencias en cuanto la talla de primera madurez. Campbell y Ming (2003) sugieren que las tasas de crecimiento influye sobre la edad a la cual las almejas maduran sexualmente y encontraron que la edad de primera madurez sexual para dos localidades fue 5 años y 6 años.

En cuanto a la proporción entre machos y hembras se han reportado porcentajes de 53:47 en Puget Sound, Washington (Goodwin, 1976), 57:43 para Hammond Bay en la Isla de Vancouver (Sloan y Robinson, 1984), 52:47 para el sur de Columbia Británica (Campbell y Ming, 2003).

Breen *et al.* (1991) y Morsán y Ciocco (2004) reportan para *P. zelandica* y *P. abbreviata* respectivamente, que los desoves se presentan durante el verano austral (enero) y la

proporción entre sexos para *P. zelandica* no es significativamente diferente a la hipótesis nula de 1:1.

El conocimiento sobre la biología y ecología de *Panopea* spp. en México se está generando actualmente. En particular hay tres estudios publicados sobre *P. globosa* en el Golfo de California. Aragón-Noriega *et al.* (2007), Arámbula-Pujol *et al.* (2008) y Calderón-Aguilera *et al.* (2010) quienes determinaron, mediante análisis histológicos, el ciclo gonádico y la proporción de sexos. Encontraron que la gametogenesis empieza a finales del verano cuando la temperatura superficial del mar (TSM) es la más alta del año (~30 °C) y el desove ocurre en el invierno, cuando la TSM es ~18 °C. Calderón-Aguilera *et al.* (2010) sugieren que la gametogenesis es activada por un descenso fuerte de la TSM (>3 °C) y que este periodo corto de gametogenesis sincronizada puede ser entendido a través del modelo conceptual de desarrollo larval planctónico de O'Connor *et al.* (2007), el cual explica que esta estrategia permite que el desove ocurra cuando se presentan en el área las producciones más altas de fitoplancton, es decir, las condiciones más favorables para las larvas en cuanto a la disposición de alimento.

Calderón-Aguilera *et al.* (2010) también señalan las diferencias entre *P. globosa* con relación a *P. generosa* y *P. zelandica*, las cuales 1) presentan un desarrollo gonádico más largo que dura de 10-12 meses, 2) empiezan a madurar cuando las temperaturas del agua son bajas, y 3) desovan cuando las temperatura del agua van en incremento. Esto último es mas claro en Arambula-Pujol *et al.* (2008).

La proporción entre macho y hembras en *P. globosa* no es significativamente diferente a la hipótesis nula de 1:1 (Aragón-Noriega *et al.*, 2007 y Calderón-Aguilera *et al.*, 2010).

El conocimiento del ciclo reproductivo se hace importante para los estudios de crecimiento ya que en el caso particular de *P. globosa* cumple con la hipótesis de nacimiento tipo “filo de navaja” y toda la cohorte nace en un periodo de dos meses (diciembre enero) anualmente. A diferencia de otros organismos donde el desove puede ser a lo largo de todo el año.

II.1.5. Edad y Crecimiento.

En *P. generosa* se ha registrado que las postlarvas se adhieren al sustrato entre los 16-47 días y se arrastran o derivan en el fondo hasta convertirse en juveniles (aproximado a los 2 mm. de longitud de concha). Dependiendo de la tasa de crecimiento de la concha y el sifón, pueden enterrarse entre los 30-46 cm de profundidad a lo largo de los siguientes dos años; al alcanzar la edad adulta entre los 2 y 5 años las almejas pierden su capacidad de enterrarse (King, 1986; Goodwin y Pease, 1989; Campbell *et al.*, 1999).

Los estudios de edad y crecimiento coinciden en que las especies del género *Panopea* se caracterizan por ser organismos longevos (la máxima edad registrada para *P. generosa* es de 168 años) y presentar un alta tasa de crecimiento en los primeros 10 años para luego disminuir drásticamente la tasa de crecimiento en cuanto a la talla, mientras que el peso de la cocha y el tejido vivo siguen aumentando pero a una tasa de crecimiento pequeña (Andersen, 1971; Goodwin, 1976; Shaul y Goodwin, 1982; Breen y Shields, 1983; Harbo *et*

al., 1983; Fyfe, 1984; Goodwin y Shaul, 1984; Sloan y Robinson, 1984; Noakes, 1992; Noakes y Campbell, 1992; Hoffmann *et al.*, 2000; Bureau *et al.*, 2002; Bureau *et al.*, 2003; Campbell y Ming, 2003; Campbell *et al.*, 2004).

Bureau *et al.* (2002), y Bureau *et al.* (2003), como parte de un extenso programa de estimación de edad (en cuanto al número de almejas y cobertura geográfica), calcularon en total la edad de 17,269 almejas de 39 localidades a lo largo de la costa de Columbia Británica (CB). Entre las localidades, la edad promedio tuvo un intervalo de 14.5-72.2 años (con una edad mínima y máxima de 1 año y 168 años respectivamente) el peso promedio entre las localidades tuvo un intervalo de 658.4-1,509.9 gr (con un peso mínimo y máximo de 6 gr y 2,768 gr respectivamente), mientras que la longitud promedio de las conchas estuvo entre los 120.5-169.2 mm. (con una longitud mínima y máxima de 25 mm. y 205 mm. respectivamente). Sus resultados indican una gran cantidad de variabilidad en cuanto al tamaño y longevidad de *P. generosa* entre las regiones norte y sur de la Columbia Británica y entre los sitios de cada región. En general las almejas de la región norte de la Columbia Británica son más longevas y pesadas que las de la región sur. Proponen como explicación a estas diferencias una combinación de efectos producidos por tres principales factores 1) impactos de la pesca que remueve primero las almejas más longevas, 2) diferentes tasas de crecimiento en diferentes regiones y 3) mayor reclutamiento en la región sur de la Columbia Británica BC.

Los resultados sobre la tasa de crecimiento en peso y longitud indicaron que varió mucho entre localidades y fue mayor en la región sur de la Columbia Británica en comparación

con la región norte. En general, fue alta durante los primeros 10 años para después presentar una reducción drástica. Lo anterior también fue consistente con lo que hasta ese momento habían encontrado otros estudios en la Columbia Británica (Andersen, 1971; Breen y Shields, 1983; Harbo *et al.*, 1983; Goodwin y Shaul, 1984; Sloan y Robinson, 1984; Noakes y Campbell, 1992; Hoffmann *et al.*, 2000). Hay evidencias de que la reducción drástica en la tasa de crecimiento coincide con el inicio de la actividad reproductiva (Sloan y Robinson, 1984). Bureau *et al.* (2002) no encontraron relación entre la tasa de crecimiento y la longitud máxima, por lo que aparentemente son diferentes los factores que los controlan.

De los estudios de crecimiento, diez reportan estimaciones de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para *P. generosa*, uno para *P. abbreviata* y dos para *P. zelandica*. La Tabla IV muestra los parámetros estimados en diez de dichos estudios.

Tabla IV. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy estimados para almejas de sífon en Columbia Británica, Canadá y en el Estado de Washington, E.U.

Referencia.	Especie.	Parámetros de crecimiento.			Métodos.	Observaciones.
		t_0 (años)	K (años ⁻¹)	L_∞ (mm.)		
Andersen, (1971).	<i>P. generosa</i> .	-	0.15	225	Datación: examinando las líneas externas de crecimiento en las valvas. Análisis: Utilizaron la distribución de frecuencia de tallas para derivar las curvas de crecimiento.	Encontró que las líneas externas no son un buen indicador de la edad.
Bureau <i>et al.</i> , (2002).	<i>P. generosa</i> .	-	0.1794 a 0.3980	135.2 a 161	Datación: Lectura Impresión de anillo internos de crecimiento en laminas de acetato. Análisis: Estimaron parámetros de manera independiente usando método de máxima verosimilitud.	Fijaron $t_0 = 0$. Asumen un error aditivo.
Bureau <i>et al.</i> , (2003).	<i>P. generosa</i> .	-	0.1562 a 0.2593	127 a 163.2	Datación: Lectura Impresión de anillo internos de crecimiento en laminas de acetato. Análisis: Estimaron parámetros de manera independiente usando método de máxima verosimilitud.	Fijaron $t_0 = 0$. Asumen un error aditivo.
Campbell y Ming, (2003).	<i>P. generosa</i> .	-1.02 (+/- 0.95) y -1.42 (+/- 1.17)	0.146 (+/- 0.020) y 0.189 (+/- 0.055)	129.6 (+/- 4.1) a 147.7 (+/- 5.8)	Datación: Lectura Impresión de anillo internos de crecimiento en laminas de acetato. Análisis: Usando el método no lineal de mínimos cuadrados y el algoritmo de Gauss-Newton para estimar los parámetros.	No asumen error en modelo de crecimiento.
Campbell <i>et al.</i> , (2004).	<i>P. generosa</i> .	-	0.165 a 0.475	131 a 159	Datación: Lectura Impresión de anillo internos de crecimiento en laminas de acetato. Análisis: Estimaron parámetros de manera independiente usando método de máxima verosimilitud.	Fijaron $t_0 = 0$. Asumen un error aditivo.

Tabla IV (Continuación). Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy estimados para almejas de sífon en Nueva Zelanda y Argentina.

Referencia	Especie	Parámetros de crecimiento.			Métodos.	Observaciones.
		t_0 (años)	K (años ⁻¹)	L_{∞} (mm.)		
Breen <i>et al.</i> , (1991)	<i>P. zelandica</i> .	-3.8	0.16		Datación: Lectura Impresión de anillo internos de crecimiento en laminas de acetato. Análisis: usando el procedimiento no lineal de FISHPARM (Saila <i>et al.</i> 1988).	
Gribben y Creese (2005)	<i>P. zelandica</i> .	-1.67 -1.69 -3.8	0.25 0.29 0.16	115.5 103.6 116.5	Datación: Observaron las bandas de crecimiento en secciones delgadas de las conchas Análisis: usando el método no lineal de mínimos cuadrados	Calculó parámetros en tres localidades.
Morsán y Ciocco, (2004)	<i>P. abbreviata</i>	-1.5 -1.76 y - 65.97	0.211 0.183 0.030	101.32 106.5	Datación: Observaron las bandas de crecimiento en secciones delgadas de las conchas y mediante en análisis del incremento marginal determinaron la anualidad del patrón de crecimiento. Análisis: Usaron dos versiones del modelo de von Bertalanffy (clásico y doble). s. Estimaron los parámetros de los dos modelos con el método de máxima verosimilitud y mediante la prueba del cociente de verosimilitud determinaron que el modelo con el mejor ajuste fue el doble.	No asumen error en modelos de crecimiento.

Hay dos documentos científicos que abordan el crecimiento de *P. globosa* (Cortez-Lucero *et al.*, 2011; Cruz-Vásquez *et al.*, 2012). Ambos consideraron a la población de la parte central del Golfo de California. En ambos estudios la longitud asintótica fue de 122 mm y la tasa de crecimiento de 0.34. En el estudio realizado con *P. globosa* (Cortez-Lucero *et al.*, 2011) se demostró que la deposición de anillos de crecimiento interno en esta especie ocurre anualmente en el Golfo de California.

II.2. Área de Estudio.

Se estudiaron bancos de almeja *Panopea globosa* en dos áreas, la primera frente a las costas de Puerto Peñasco, Sonora (Figura 4) y la segunda frente a San Felipe, Baja California (Figura 5). Ambas se encuentran dentro del área comúnmente llamada Alto Golfo de California (AGC), el cual tiene características oceanográficas y biológicas que lo diferencian claramente del resto del Golfo de California (Álvarez-Borrego, 2010).

El AGC se ubica entre los 30°00' y 31°43' Latitud Norte y entre los 114°08' y 114°52' Longitud Oeste. Se caracteriza por tener profundidades menores a los 50 m en su mayor parte, sin embargo algunos sitios alcanzan hasta los 200 m de profundidad (Carriquiry *et al.*, 2001). En general es plano con pendientes discretas que no exceden los 5° desde la línea de costa hasta 15 m de profundidad. Los canales y bajos presentes en esta región tienen una dirección noroeste-sureste (Álvarez-Borrego, 2010).

Los vientos fluyen del Noroeste en el período invernal (velocidad promedio $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y del SE en verano (velocidad promedio $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Lavín *et al.*, 1997; Carriquiry y Sánchez, 1999). Estos vientos inducen una circulación superficial y a gran escala se observan giros estacionales ciclónicos, de junio a noviembre (verano), y anticiclónicos de noviembre a mayo (invierno), con velocidades promedio de $0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Lavín *et al.*, 1997; Marinone, 2003). Carrillo *et al.* (2002) mencionan que para el Norte del Golfo de California, durante sus periodos intensos, los giros cubren por entero la columna de agua, influyendo en la distribución de nutrientes y en las variables físicas.

En el AGC se presenta un amplio rango de mareas de $\sim 6 \text{ m}$, aunque puede incrementarse a más de 12 m en la boca del Río Colorado (Meckel, 1975; Cupul, 1994). El régimen de mareas semidiurnas produce corrientes muy fuertes con velocidades máximas de $300 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ al interior del estuario del Río Colorado y de $150 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ en la parte somera de la plataforma marina adyacente al delta (Thompson, 1968; Filloux, 1973; Meckel, 1975; Cupul, 1994). La alta evaporación durante todo el año ($1 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$) y el enfriamiento de las aguas superficiales en invierno producen fenómenos de inversión estuarina, induciendo corrientes de gravedad de $\sim 10 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Carriquiry *et al.*, 2001; Marinone, 2003), las cuales posteriormente se desplazan hacia el sur llenando a las partes profundas de las cuencas de Wagner, Delfín y Salsipuedes (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Lavín *et al.*, 1998). Estas corrientes son moduladas por el forzamiento de marea; debido a este fenómeno se produce una ligera estratificación durante las mareas muertas (Lavín *et al.*, 1998).

Existe una gran variabilidad de temperatura con valores mínimos de 8°C registrados en diciembre y máximos de 32°C registrados en agosto (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). La

salinidad mantiene en general el mismo gradiente a lo largo del tiempo, con valores aumentando hacia el noroeste (Lavín *et al.*, 1998).

El AGC presenta una alta productividad primaria (Gilbert y Allen, 1943; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) en contraste con otros mares semicerrados como el Mediterráneo y el Mar Rojo (Lavín *et al.*, 1995), debido a la alta disponibilidad de nutrientes en la zona eufótica originada por la circulación termohalina (Bray y Robles, 1991), mezcla vertical (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) y surgencias costeras principalmente en invierno y primavera (Badan-Dangon *et al.*, 1985; Álvarez-Borrego *et al.*, 1978).

III. HIPÓTESIS.

La tasa de crecimiento individual y la longitud asintótica de *Panopea globosa* del Alto Golfo de California serán mayores en esta zona debido a la mayor productividad primaria que en otras regiones del Golfo de California.

IV. OBJETIVOS

IV.1. Objetivo general

Determinar los parámetros de crecimiento individual de *Panopea globosa* en bancos del Alto Golfo de California.

IV.2. Objetivos particulares.

- 1.- Determinar estructura de tallas de la almeja de sifón *Panopea globosa*.
2. Determinar la estructura de edad de la almeja de sifón *Panopea globosa*.
- 3.- Describir el crecimiento individual de *Panopea globosa* en bancos de Puerto Peñasco, Sonora y San Felipe, Baja California.
- 4.- Establecer un modelo de crecimiento que mejor se ajuste a la almeja de sifón *Panopea globosa*.
- 5.- Estimar la biomasa de *Panopea globosa* en bancos de Puerto Peñasco, Sonora.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

V.1. Muestreo.

En Puerto Peñasco los muestreos se realizaron al amparo del permiso de fomento No. DGOPA.02938.270308.0672 de noviembre de 2008 a octubre de 2009. En San Felipe, B.C. fue al amparo del permiso de fomento No. 04976.220509.1463 de junio de 2009 a mayo de 2010.

V.1.1. Muestreo dependientes de la pesquería.

Este trabajo se llevó a cabo durante las mareas muertas, que en esta región duran aproximadamente una semana y se presentan alternadamente dos veces al mes. Se obtuvieron datos de tres fuentes: 1) peso de la captura total a través de los avisos de arribo, 2) número de organismos capturados por embarcación por día de pesca a través de bitácoras y 3) biometrías de una muestra de las capturas. Los organismos se pesaron vivos (con precisión de 0.1 g) con una balanza digital después de dejarlos algunas horas en un estanque de aclimatación. Se midieron (precisión de 0.1 mm) las valvas derecha a lo largo y ancho con un vernier (Figura 6). Cuando los organismos fueron sacrificados, se separó el tejido de las valvas y éstas últimas se dejaron secar para posteriormente tomar los datos de largo, ancho, alto y peso de la valva derecha. Todas las mediciones fueron registradas en bitácoras y capturadas en una base de datos. Los datos fueron resumidos y descritos a través de tablas y figuras.

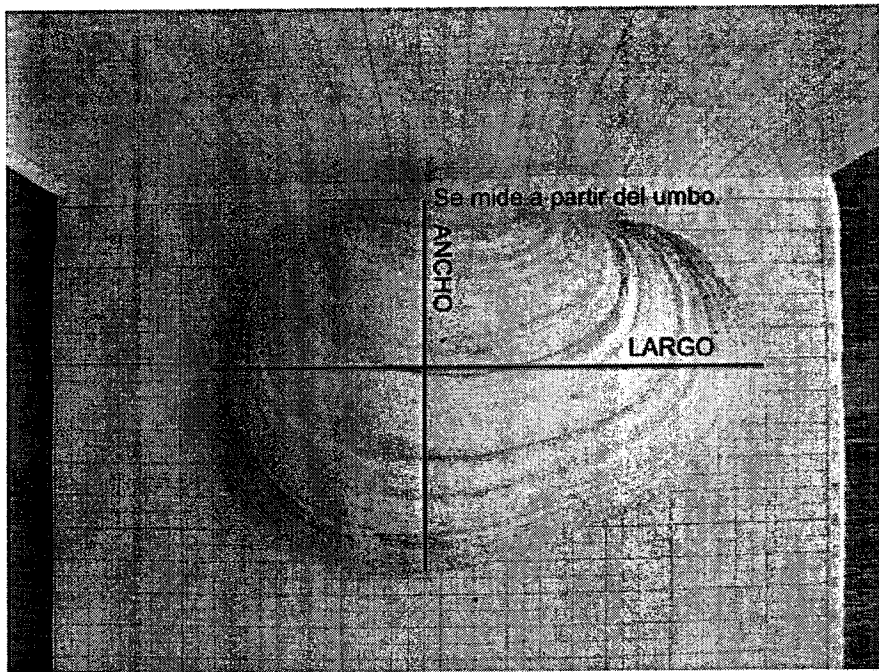


Figura 6. Longitudes básicas usadas para *Panopea globosa*.

V.1.2. Registro independientes de la pesquería.

Los muestreos se realizaron en bancos de Puerto Peñasco y San Felipe. Se utilizaron embarcaciones con motor fuera de borda y con un equipo de buceo semi-autónomo tipo Hookah (que consiste de un compresor conectado a un tanque conocido como madrina) del cual sale una manguera con un regulador de aire y boquilla. Con base a los estudio de fomento se han identificado áreas con diferentes densidades y tamaños de organismos. Se seleccionaron tres áreas que de acuerdo a la experiencia adquirida durante un año de observaciones, y se clasificaron como de alta y baja densidad. En cada área se colocaron siguiendo un diseño aleatorio estratificado, cinco líneas de 25x2 m (50 m²) delimitados con cinta fluorescente atada a barras de acero. Se registraron las coordenadas geográficas. Las almejas fueron desenterradas por buzos comerciales a lo largo de las líneas removiendo el

sedimento con chorros de agua expulsados a través de una manguera con un tubo de PVC en el extremo (conocido en Inglés como “stinger”) por una motobomba de 5.5 HP. Los buzos visualizan las marcas que dejan los sifones de las almejas en el sedimento para aplicar la inyección de agua y recolectar el organismo. También hay que considerar que al extraer una almeja se levanta el sedimento y esto impide localizar las marcas cercanas de otras almejas, por lo que el buzo se mueve a donde hay más visibilidad dejando con esta acción almejas sin extraer. A lo largo de una línea se ven menos almejas de las que en realidad hay y se extraen menos almejas de las que se ven. Para evitar esta subestimación en la densidad, cada línea seleccionada fue recorrida varias veces hasta que ya no fue posible extraer almejas. Los organismos eran etiquetados para identificarlos por la fecha, línea y número consecutivo de muestra. Se pesaban vivos y se sacrificarán para obtener la masa visceral (que contiene la gónada) y las conchas. Estas últimas se secaron por tres días para posteriormente medir con un vernier el largo y ancho de la valva derecha (longitudes a ser utilizadas en la descripción del crecimiento). Se registró el peso por separado de ambas valvas. Todo fue registrado en bitácoras de campo y laboratorio y posteriormente capturadas en bases de datos respectivas.

V.2. Descripción del crecimiento individual.

V.2.1. Impresión de anillos de crecimiento.

Para poder contar los anillos periódicos de crecimiento en *Panopea globosa* se usó la técnica aplicada por primera vez por Shaul y Goodwin (1982) denominada en Inglés “acetate peel” (AP), la cual implica contar los incrementos anuales a partir de una impresión en acetato de los anillos internos de crecimiento. Aunque han sido usadas otras

técnicas para evidenciar y contar los incrementos periódicos en *Panopea* (Andersen, 1971; Morsán y Ciocco, 2004; Gribben y Creese, 2005), se decidió emplear en la presente investigación la técnica de AP porque permite observar mejor las primeras marcas de crecimiento y en especial los incrementos marginales, que son particularmente difíciles de distinguir por medio de otras técnicas debido a que se encuentran muy compactados (Shaul y Goodwin, 1984). Además, la técnica de AP es utilizada en estimaciones rutinarias de edad de *Panopea generosa* (Bureau *et al.*, 2002; Bureau *et al.*, 2003) y ha sido revisada por McArthur *et al.* (2008) y validada por Ropes (1987) y Black *et al.* (2008).

Las valvas derechas de organismos previamente pesados y medidos se cortaron transversalmente por el umbo usando para ello una sierra rotatoria con hoja de diamante enfriada con agua. La superficie cortada se pulió con lijas húmedas de grano fino coladas en un plato giratorio. La superficie pulida fue tratada con algunas gotas de ácido clorhídrico al 1% (para revelar los anillos de crecimiento) y después de aproximadamente 1 minuto se enjuagó con agua destilada. Para hacer la impresión de los anillos se colocó de 2-3 gotas de acetona sobre la superficie pulida y una pequeña lamina de acetil celulosa (acetato). El acetato se presionó sobre una superficie plana y blanda para quitar las burbujas de aire remanentes entre el acetato y la superficie pulida. Los acetatos se colocaron en portaobjetos después de ser retirados con cuidado de las conchas.

V.2.2. Lectura de anillos de crecimiento.

El conteo de anillos de crecimiento se realizó con el uso de un microscopio. Cada acetato fue interpretado por dos lectores. Para obtener una medida cuantitativa de la precisión se calculó el índice del error porcentual promedio (EPP) para cada uno de los dos lectores. El lector que tuvo el menor EPP se consideró el más preciso (Beamispain y Fournier, 1981; Campana, 2001).

$$EPP_j = 100\% \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right]$$

Donde:

N es el número de almejas.

X_{ij} es la i -ésima determinación de edad para la j -ésima almeja.

X_j es la edad media estimada para la j -ésima almeja.

R es el número de veces que se determinó la edad de cada almeja.

Ambos lectores recibieron entrenamiento en dos ocasiones para estandarizar los criterios para interpretar los incrementos. El entrenamiento fue proporcionado por expertos del Fisheries and Oceans Canada Fish Ageing Laboratory, Pacific Biological Station at Nanaimo, British Columbia, Canada. Las edades estimadas se anotaron en bitácoras de laboratorio y se capturaron en bases de datos. Se obtuvo la estructura de edad de los bancos muestreados de Puerto Peñasco y San Felipe.

V.2.3. Comprobación de la anualidad de los incrementos periódicos.

Es necesario demostrar que las bandas de crecimiento contadas corresponden a incrementos anuales (Campana, 2001). Aunque Shaul y Goodwin (1982) realizaron esta comprobación para *P. generosa*, esto no se ha hecho para *P. globosa* del AGC. La técnica de “crossdating” o datación cruzada (DC) fue desarrollada para estudiar la edad de árboles, pero también ha sido utilizada con éxito para obtener lecturas exactas de edad en organismos longevos como peces y bivalvos (Black *et al.*, 2005; Black *et al.*, 2008). Se basa en la tendencia del crecimiento de los organismos de un lugar determinado de sincronizarse con la variabilidad ambiental, de tal forma que incrementos prominentemente amplios o angostos se repiten consistentemente en conchas de un mismo sitio. Dichos incrementos se les conoce como años firma (AF) (del término en Ingles “signature years”). Los AF se identifican visualmente durante el conteo de los incrementos de verano y se clasifican en amplio o angosto con relación a los anillos a cada uno de los lados.

Se identificaron estos años marca para determinar la anualidad de los incrementos de crecimiento. El razonamiento es el siguiente (Figura 7): si en una concha con un cierto número de anillos x se observa un AF (amplio o angosto) en una posición p contando del margen exterior en dirección al origen, y si en una concha recolectada un año después con un número de anillos $x+1$ se observa el mismo AF en una posición $p+1$, entonces concluimos que los anillos de incremento tienen una periodicidad anual en *P. globosa*.

Los AF se identificaron a partir de las impresiones en acetatos de los anillos internos de conchas recolectadas durante 2007, 2008 y 2009 en Puerto Peñasco, Son. y se elaboró una tabla con aquellos que cumplieron con la condición anteriormente descrita.

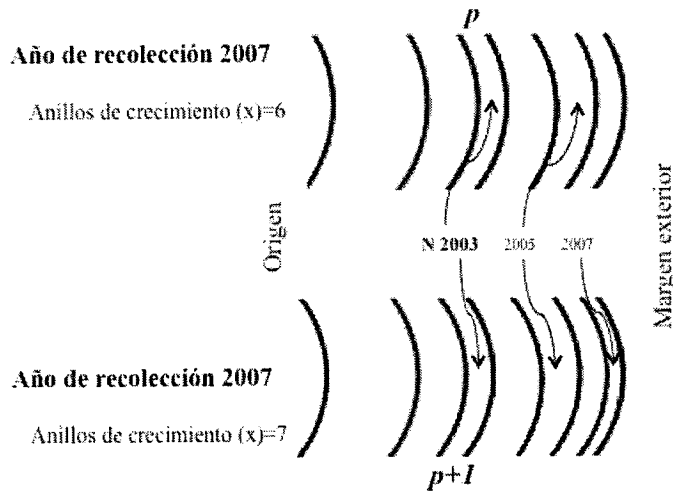


Figura 7. Representación grafica del razonamiento que se sigue para determinar mediante el uso de los Años Firma, la anualidad de los incrementos en el crecimiento de *Panopea globosa*.

V.2.4. Selección del modelo e inferencias sobre el crecimiento.

La estimación de los parámetros de crecimiento se abordó con un enfoque basado en la teoría de la información (Schnute y Groot, 1992; Anderson, 2003; Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008; Sewell, 2008). Bajo este enfoque el análisis de datos es un proceso integrado que involucra:

- *Seleccionar a priori de un grupo de modelos.*- Ante la necesidad de ajustar un modelo de forma óptima a un conjunto de datos, es mejor seleccionar dicho modelo a partir de un grupo de modelos candidatos (incluidos con base a las características

de la especie bajo estudio) en lugar de asumir que existe el mejor modelo y usarlo ajustándolo a los datos.

- *Seleccionar el mejor modelo.* Hay dos categorías de métodos para seleccionar entre modelos candidatos, los empíricos (R^2 -Ajustada, Bootstrap, validación cruzada, etc.) y los hipotéticos (Cp de Mallows, criterio de información de desviación, predictor final del error, etc.). Entre estos últimos se encuentra el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en Inglés). La teoría que soporta este criterio esta basada en una cantidad llamada "Información Kullback-Leibler" (escrita como la función $I(f, g)$ (Kullback y Leibler 1951). La información K-L es la información (I) que se pierde cuando un modelo (g) es usado para aproximarse a la realidad completa (f). El fin es encontrar el modelo que pierda la menor información en relación a la realidad completa. La información K-L también se puede conceptualizar como una distancia. EL AIC es un estimador simple, asintótico y no desviado de la distancia K-L desarrollado por Akaike (1973) que selecciona el mejor modelo basado en el principio de parsimonia, esto significa que ante dos modelos que se ajustan igual a los datos, se prefiere el más simple (menor número de parámetros, menor número de supuestos); el modelo con el menor AIC es el que se debe seleccionar. Al calcular el valor de AIC se establece un equilibrio entre la complejidad del modelo y la bondad de ajuste del modelo; es decir, penaliza a un modelo en proporción al número de parámetros. Esto implica que el modelo seleccionado se caracterizará por asegurar que tiene la complejidad y la bondad de ajuste optimas.
- *Estimar los parámetros y su precisión.* Esto se hace a través de un proceso llamado Inferencia Multimodelo que se aplica cuando los datos apoyan a más de un modelo

candidato, es decir, cuando la diferencia entre el AIC de un modelo candidato y el AIC menor, es a su vez menor a 2. El proceso implica el promediar los parámetros de los modelos apoyados por los datos, en lugar de solo estimar los parámetros del mejor modelo. Esto es una ventaja ya que se llega a inferencias robustas.

Se seleccionó un conjunto de modelos candidatos que se ajustaron a los datos de longitud a la edad de *Panopea globosa*. Los modelos incluyen al modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB), el modelo de Gompertz, modelo logístico (Ricker 1975) el caso 1 del modelo desarrollado por Schnute (1981) y el modelo de Schnute y Richards (1990).

Los modelos de crecimiento se describen a continuación:

El MCVB que se representa por la ecuación:

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

El modelo logístico:

$$L(t) = L_{\infty} (1 + e^{-k_2(t-t_1)})^{-1}$$

El modelo de Gompertz descrito por la ecuación:

$$L(t) = L_{\infty} e^{(-\frac{1}{k_3}) e^{-k_3(t-t_2)}}$$

El modelo de Schnute y Richards (1990) descrito por la siguiente ecuación:

$$L(t) = L_{\infty} (1 + \delta e^{k_4 t^{\gamma}})^{1/\gamma}$$

Para todos estos modelos los parámetros evaluados se describen como:

$L(t)$ longitud a la edad t

t edad a la longitud $L(t)$

L_{∞} longitud promedio de un organismo muy viejo (Longitud asintótica)

k determina la rapidez para alcanzar L_{∞} (Parámetro de curvatura)

t_0 edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero.

k_2 tasa relativa de crecimiento

t_1 punto de inflexión de la curva sigmoidea

t_2 es $\frac{L_{\infty} \lambda}{K_3}$

λ es la tasa de crecimiento relativa inicial teórica a la edad cero (unidades de año⁻¹)

k_3 es la tasa de decaimiento exponencial de la tasa de crecimiento relativa (unidades de año⁻¹)

δ, ν, γ son parámetros adimensionales

k_4 tiene unidades de año⁻¹

El modelo de Schnute adquiere cuatro formas matemáticas. En este estudio usamos el caso

1 del modelo cuando $\lambda \neq 0, \rho \neq 0,$

$$L(t) = \left[l^\rho + (\delta^\rho - l^\rho) \frac{1 - \exp^{-\lambda(t - \tau_1)}}{1 - \exp^{-\lambda(\tau_2 - \tau_1)}} \right]^{\frac{1}{\rho}}$$

$T1$ es la menor edad en el set de datos.

$T2$ es la mayor edad en el set de datos.

λ es una tasa constante relativa de la tasa relativa de crecimiento. Es un parámetro a estimar.

ρ es una tasa de incremento relativa de la tasa relativa de crecimiento. Es un parámetro a estimar.

y_1 tamaño a la edad $T1$. Es un parámetro a estimar.

y_2 tamaño a la edad $T2$. Es un parámetro a estimar.

Para el modelo de Schnute que no calcula el parámetro L_∞ en su estimación directa se debe aplicar la siguiente ecuación

$$L_{\tau_2} = \left[\frac{\exp^{\lambda \tau_2} \delta^\rho - \exp^{\lambda \tau_1} l^\rho}{\exp^{\lambda \tau_2} - \exp^{\lambda \tau_1}} \right]^{\frac{1}{\rho}}$$

Según lo propuesto por Schnute (1981) y cuyos parámetros ya fueron definidos líneas arriba.

Los datos se ajustaron a cada uno de los diferentes modelos de crecimiento antes mencionados con la función de máxima verosimilitud con el algoritmo de Newton (Haddon 2001).

$$LL = \frac{n}{2} [\ln 2\pi + 2 \ln \sigma + 1] \quad \text{considerando} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_{obs} - L_{esp})^2}{n}}$$

La selección del modelo se hizo a través de una forma corregida del AIC (Hurvich y Tsai, 1989; Shono, 2000; Burnham y Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008; Sewell 2008). Se asume que las desviaciones están normalmente distribuidas con varianza constante. El modelo con el menor valor de AIC_c ($AIC_{c, \min}$) fue el seleccionado como el mejor.

$$AIC_c = AIC + (2k(k+1))/(n-k-1)$$

$$AIC = 2LL + (2k)$$

Donde:

LL es la es la verosimilitud logarítmica negativa.

n es el número de observaciones.

k es el número de parámetros en el modelo

Se calcularon para todos los modelos las diferencias entre AIC_c

$$\Delta_i = AIC_{c,i} - AIC_{c,\min}$$

los modelos con

$\Delta_i > 10$ no están apoyados por los datos y ya no se deben considerar.

$\Delta_i < 2$ están apoyados por los datos.

$4 < \Delta_i < 7$ están apoyados considerablemente menos por los datos.

Para cada modelo se calculó la plausibilidad (el peso de la evidencia a favor del modelo i) a través del “peso de Akaike” según la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^4 \exp(-0.5\Delta_k)}$$

Siguiendo un enfoque de Inferencia Multimodelo, se determinó el modelo “promedio” a través de promediar los parámetros de los modelos candidatos y usando los correspondientes W_i para ponderar.

$$\bar{L}_\infty = \sum_{i=1}^4 w_i \hat{L}_{\infty,i}$$

$$\bar{k} = \sum_{i=1}^4 w_i \hat{k}_i$$

$$\bar{t}_0 = \sum_{i=1}^4 w_i t_{0,i}$$

Se calculó el error estándar y el intervalos de confianza al 95 % de cada parámetro por modelo candidato.

$$\hat{L}_{\infty} = \pm t_{d.f.,0.975} E.Std.(\hat{L}_{\infty})$$

$$\hat{k} = \pm t_{d.f.,0.975} E.Std.(\hat{k})$$

$$\hat{t}_0 = \pm t_{d.f.,0.975} E.Std.(\hat{t}_0)$$

donde,

$$E.Std.(\bar{L}_{\infty}) = \sum_{i=1}^4 w_i (\text{var}(\hat{L}_{\infty,i} | g_i) + (\hat{L}_{\infty,i} - \bar{L}_{\infty})^2)^{1/2}$$

$$E.Std.(\bar{k}) = \sum_{i=1}^4 w_i (\text{var}(\hat{k}_i | g_i) + (\hat{k}_i - \bar{k}_i)^2)^{1/2}$$

$$E.Std.(\bar{t}_0) = \sum_{i=1}^4 w_i (\text{var}(\hat{t}_{0,i} | g_i) + (\hat{t}_{0,i} - \bar{t}_0)^2)^{1/2}$$

V.3. Estimación de Biomasa.

Se analizó la estructura de tallas de almeja de sifón utilizando el modelo de talla de captura a la talla de Sullivan (Sullivan *et al.*, 1990). El modelo describe la explotación y crecimiento de los individuos en la población en términos de la longitud y de dos relaciones básicas, la primera relaciona la captura a la longitud con la abundancia y la segunda caracteriza el cambio en número a la longitud de un tiempo al siguiente:

$$C_{l,t} = \mu_{l,t} N_{l,t}$$

Donde $C_{l,t}$ representa la captura a la longitud l al tiempo t , μ es la tasa de explotación y N la abundancia en número de organismos. La tasa de explotación representa la proporción de individuos que mueren debido a la mortalidad por pesca (F), de tal forma que dicha tasa puede ser expresada como:

$$\mu_{l,t} = \frac{F_{l,t}}{Z_{l,t}} (1 - e^{-z_{l,t}})$$

Donde $F_{l,t}$ y $Z_{l,t}$ están en unidades de $1/\Delta_t$, el valor de z representa la mortalidad total. La mortalidad por pesca es una función del esfuerzo de pesca y de la selectividad, suponiendo que la mortalidad por pesca es separable mediante un coeficiente de selectividad específico a la longitud (s_l) y una mortalidad por pesca (f_t) al tiempo t expresado como:

$$F_{l,t} = s_l f_t$$

El coeficiente de selectividad es la fracción de individuos de la clase de longitud l sujetos al efecto total de la mortalidad por pesca, esto se representa por una ecuación logística:

$$s_l = \frac{1}{1 - \alpha_s e^{\beta_s l}}$$

En éste caso los parámetros α y β son constantes de ajuste, los valores s_l deben re escalarse al valor más grande de s_l para asegurar que los valores de las tasas de mortalidad por pesca estén bien definidas.

La relación entre el número de individuos ($N_{l,t+1}$) y el número ($N_{l,t}$) presente en un tiempo posterior t' es descrito por los individuos a la longitud que sobreviven y crecen al siguiente periodo. Si el crecimiento es despreciable para los individuos de la talla l en el tiempo t , entonces el número total de individuos en la longitud l sobrevivirán al inicio del periodo y t' se reduce solo por mortalidad, la ecuación se expresa entonces:

$$N_{l,t+1} = N_{l,t} e^{-z_{l,t}}$$

El modelo de Sullivan se apoya en una matriz de Leslie que supone una distribución gama:

$$g(x | \alpha_l, \beta) = \frac{1}{\beta^{\alpha_l} \Gamma(\alpha_l)} x^{\alpha_l - 1} e^{-x/\beta}$$

Donde x representa Δ_l , es decir, el incremento en crecimiento dado que un individuo estaba originalmente en la clase de longitud l . El valor de Δ_l se estima a partir de la ecuación de Bertalanffy, donde $\Delta_l = L_{l-1} - L_l$. El cambio medio en longitud está dado por $\overline{\Delta_l} = \alpha_l \beta^2 = \beta \overline{\Delta_l}$, así el valor de $\overline{\Delta_l} = (L_{\alpha} - 1)(1 - e^{-k})$. El valor de β es también un coeficiente de variación que es usado para incorporar la variabilidad del crecimiento individual en la población. Así, la proporción de individuos creciendo de una clase de longitud l a la clase de longitud l' puede encontrarse integrando el rango de longitudes de acuerdo con lo siguiente:

$$P_{l'} = \int g(x | \alpha_l, \beta) dx$$

En esta ecuación cualquier individuo más grande que la longitud media L_{α} se asume que permanece y sobrevive en la última clase de longitud. Con las probabilidades estimadas de $P_{l,t}$, el número de individuos $N_{l',t}$ de la clase de longitud l' en el inicio del siguiente tiempo t' es expresado como:

$$N_{l',t} = \sum_l P_{l,t} N_{l,t} e^{-z_{l,t}} \dots$$

Cuando el reclutamiento ($R_{l',t}$) es incorporado a la ecuación, la nueva expresión es:

$$N_{l',t} = \sum_l P_{l,t} N_{l,t} e^{-z_{l,t}} + R_{l',t}$$

La selectividad específica a la edad se combina con el reclutamiento a la población para reflejar la entrada efectiva de individuos en la captura, en todo caso, a partir de un

reclutamiento inicial (R_o) se estima la proporción de reclutas a cada intervalo de longitud ($P_{l,t}$) ya que se asume que el reclutamiento sucede dentro de un determinado intervalo de tallas, así el valor de $P_{l,t}$ se estima a partir de una distribución gama similar a la ecuación siete. Se expresa el modelo de reclutamiento a la talla $R_{l,t}$ como:

$$R_{l,t} = R_o P_{l,t}$$

El modelo que describe la transición del número de individuos en una clase de longitud l al tiempo t hacia la longitud l' al tiempo t' se describe con la siguiente notación matricial:

$$\begin{bmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_{n,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,2} 0 & 0 \\ P_{1,2} P_{2,2} & 0 \\ & P_{l,t} \\ & & P_{l,l} 0 \\ P_{1,n} & & P_{n,m} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S_{1,l} 0 & 0 \\ 0 S_{2,l} & 0 \\ & S_{3,l} \\ & & S_{l,l} 0 \\ P_{1,n} & & S_{n,l} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} N_{1,l} \\ N_{2,l} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_{n,l} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_{1,l} \\ R_{2,l} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{n,l} \end{bmatrix}$$

La captura se estima a partir de la siguiente ecuación matricial:

$$\begin{bmatrix} C_{1,l} \\ C_{2,l} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n,l} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{1,l} 0 & 0 \\ 0 \mu_{2,l} & 0 \\ & \mu_{3,l} \\ & & \mu_{l,l} 0 \\ 0 & & \mu_{n,l} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} N_{1,l} \\ N_{2,l} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_{n,l} \end{bmatrix}$$

Los parámetros del modelo se calcularon a partir de una función objetivo del tipo de diferencia cuadrática (DC):

$$DC = \sum_{l,t} (C'_{l,t} - C_{l,t})^2$$

En este algoritmo se confrontan los valores estimados de la captura representados por $C'_{l,t}$ contra la captura observada $C_{l,t}$. Los parámetros a estimar son reclutamiento inicial, coeficiente β de la ecuación gama de crecimiento individual, y los números iniciales de la población al tiempo t .

VI. RESULTADOS.

VI.1. Avisos de Arribo, Bitácoras de pesca y Biometrías.

La Tabla V describe la información obtenida de los avisos de arribo y las bitácoras de pesca en Puerto Peñasco. En total hubo 102 días de pesca durante la vigencia del permiso de fomento, lo que significa que las tres embarcaciones autorizadas realizaron 306 viajes de pesca. El total de la captura fue de 112,514 kg. Con base a las bitácoras de pesca (una por embarcación por día de pesca) se obtuvo el número de almejas capturadas por mes. En total se extrajeron 80,306 almejas. Cada panga capturó en promedio 367.7 kg (262.6 almejas) por día de pesca.

Tabla V. Resumen de los avisos de arribo y bitácoras de pesca que registraron las capturas amparadas por el permiso de fomento DGOPA.02938.270308.0672 en Puerto Peñasco, Son.

Año	Mes	Numero de avisos de arribo	Dias efectivos de pesca	Embarcaciones utilizadas	Captura (Kg)	Captura (# de almejas)
2008	Noviembre	4	9	3	9374	6695
	Diciembre	3	7	3	7980	5699
2009	Enero	3	7	3	7486	5345
	Febrero	4	9	3	8746	6246
	Marzo	5	10	3	10206	7289
	Abril	6	8	3	9829	7021
	Mayo	6	11	3	9805	7003
	Junio	2	4	3	3780	2700
	Julio	4	7	3	7980	5700
	Agosto	4	10	3	11031	7878
	Septiembre	7	14	3	15330	10950
	Octubre	4	6	3	10970	7836
TOTALES		52	102		112,514	80,362

La Tabla VI describe parcialmente la información obtenida de los avisos de arribo y las bitácoras de pesca en San Felipe. Con base en las bitácoras de pesca (una por embarcación por día de pesca) se obtuvo el número de almejas capturadas por mes. En total se extrajeron 166,977 almejas.

Tabla VI. Resumen de los avisos de arribo y bitácoras de pesca que registraron las capturas amparadas por el permiso de fomento DGOPA.02938.270308.0672 en San Felipe, B.C.

Año	Mes	Numero de avisos de arribo	Días efectivos de pesca	Embarcaciones utilizadas	Captura (Kg)	Captura (# de almejas)
2009	Junio	9	9	4	10439.9	14330
	Julio	12	12	4	14532	18095
	Agosto	6	10	4	8454.89	15124
	Septiembre	5	10	4	12201.71	21188
	Octubre	FC	FC	FC	FC	18841
	Noviembre	FC	FC	FC	FC	25321
	Diciembre	FC	FC	FC	FC	12630
2010	Enero	FC	FC	FC	FC	15614
	Febrero	FC	FC	FC	FC	23256
	Marzo	FC	FC	FC	FC	2478
	Abril	FC	FC	FC	FC	-
	Mayo	FC	FC	FC	FC	-
	TOTALES	32	41	16	45,629	166,877

En total se obtuvieron 1,629 mediciones del peso vivo y 1,755 mediciones del largo de la valva derecha en Puerto Peñasco. En San Felipe se obtuvieron un total de 2,170 mediciones tanto del peso vivo como del largo de la valva derecha. La Tabla VII muestra las estadísticas que describen el tamaño de *P. globosa*. En promedio las almejas de Puerto Peñasco tienen un peso vivo (1,333 g) y un largo (160 mm) y son mayores que las almejas

capturadas en San Felipe. El valor máximo del peso vivo (2,610 g) y la longitud máxima (210 mm) también fue registrada en Puerto Peñasco.

La Figura 8, Figura 9 y Tabla VIII muestran que en Puerto Peñasco el intervalo de 1,200-1,399 g fue el de mayor frecuencia de almejas (moda) y el 80% de almejas estuvo entre los 1000-1799 g. En SFE el intervalo de 800-999 g presentó la mayor frecuencia de almejas (moda) y el 92.6% de almejas estuvo entre los 600-1,399 g.

Tabla VII. Valores promedio, intervalo de confianza (95%) y valor max-min del peso y la longitud de *Panopea globosa* medidos a partir de muestreos de las capturas realizadas en Puerto Peñasco y San Felipe.

	Puerto Peñasco		San Felipe	
	Peso vivo (g) n=1629	Largo valva derecha (mm) n=1755	Peso vivo (g) n=2170	Largo valva derecha (mm) n=2170
Promedio	1,333	160	785	132
IC 95%	15	1		
n Máximo	2,610	210	785	132
n Mínimo	114	60	785	132

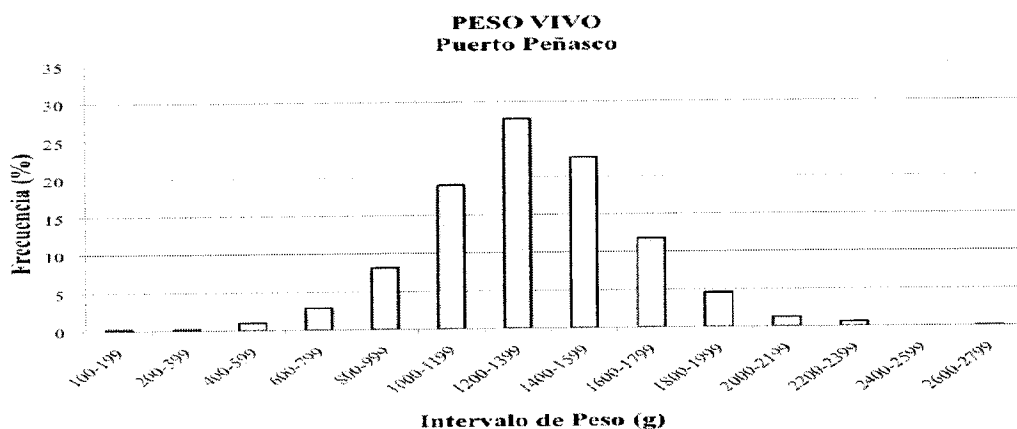


Figura 8. Histograma de los intervalos de peso vivo de la almeja *Panopea globosa* medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.

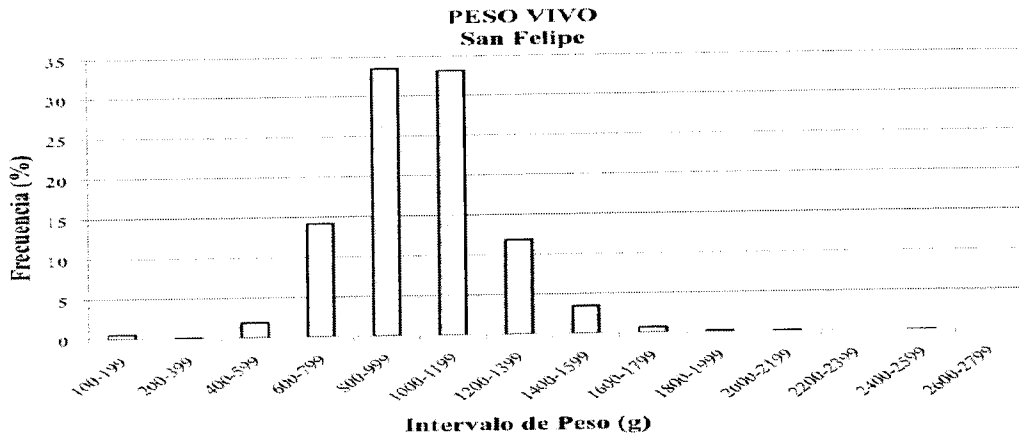


Figura 9. Histograma de los intervalos de peso vivo de la almeja *Panopea globosa* medida a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.

La Figura 10, Figura 11, Tabla IX muestran que en Puerto Peñasco el intervalo de 160-169 mm presentó la mayor frecuencia de almejas (moda) y el 81.3% de almejas estuvo entre los 140-179 mm. En San Felipe el intervalo de 140-149 mm presentó la mayor frecuencia almejas (moda) y el 83.3% de almejas estuvo entre los 130-159 mm.

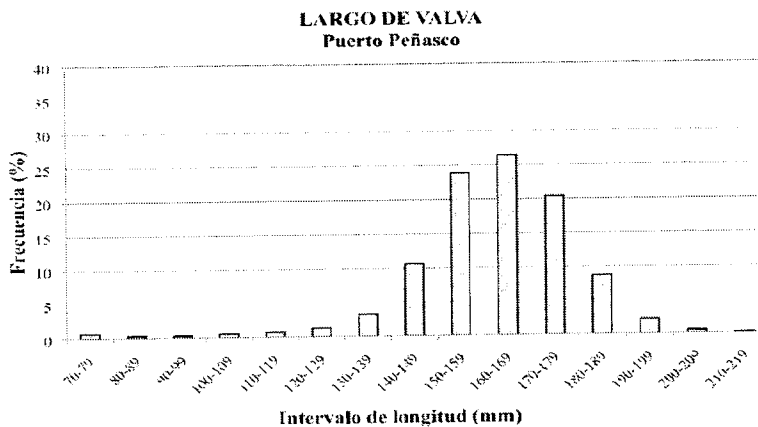


Figura 10. Histograma de los intervalos de la longitud de la valva de la almeja *Panopea globosa* medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.

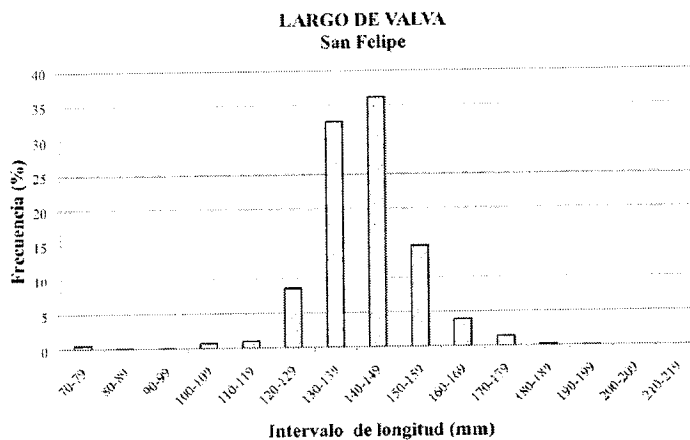


Figura 11. Histograma de los intervalos de la longitud de la valva de la almeja *Panopea globosa* medida a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.

Tabla VIII. Intervalos del peso de la almeja *Panopea globosa* medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en Puerto Peñasco.

Intervalo de peso (g)	Puerto Peñasco		San Felipe	
	Freq.	%	Freq.	%
100-199	3	0.2	12	0.6
200-399	3	0.2	2	0.1
400-599	16	1	42	1.9
500-799	47	2.9	308	14.2
800-999	132	8.1	727	33.5
1000-1199	310	19	720	33
1200-1399	451	27.7	258	11.9
1400-1599	368	22.6	76	3.5
1600-1799	192	11.8	16	0.7
1800-1999	75	4.6	5	0.2
2000-2399	21	1.3	3	0.1
2200-2399	10	0.6	0	0
2400-2599	0	0	1	0
2600-2799	1	0.1	0	0
Total	1629	100	2170	100

Tabla IX. Intervalos del peso de la almeja *Panopea globosa* medido a partir de una muestra de las capturas realizadas en San Felipe.

Intervalo de talla (mm)	Puerto Peñasco		San Felipe	
	Freq.	%	Freq.	%
70-79	12	0.7	11	1
80-89	6	0.3	1	0.0
90-99	6	0.3	1	0.0
100-109	10	0.6	16	0.7
110-119	13	0.7	23	1.1
120-129	23	1.3	187	8.6
130-139	57	3.2	707	32.6
140-149	186	10.6	783	36.1
150-159	419	23.9	317	14.6
160-169	464	26.4	86	4.0
170-179	358	20.4	32	1.5
180-189	153	8.7	5	0.2
190-199	38	2.2	1	0.0
200-209	8	0.5	0	0
210-219	2	0.1	0	0
Total	1755	100	2170	100

VI.2. Descripción del desarrollo individual.

VI.2.1. Edad.

En total se determinó la edad de 157 almejas de Puerto Peñasco y 176 almejas de San Felipe. En Puerto Peñasco la longevidad máxima fue de 34 años y el promedio de la edad fue de 11 años. En San Felipe la edad máxima fue de 60 años y el promedio de 22 años. La concha más joven se presentó en Puerto Peñasco con 7 años. Las longitudes de las valvas utilizadas fue en promedio de 146 mm y 148 mm en Puerto Peñasco y San Felipe respectivamente (Tabla X).

Tabla X. Descripción del número de anillos de crecimiento y largo de valvas de almeja *Panopea globosa* de Puerto Peñasco y San Felipe.

	Puerto Peñasco		San Felipe	
	Anillos de crecimiento n=157	Largo (mm) n=157	Anillos de crecimiento n=176	Largo (mm) n=176
Promedio	11	146	22	148
IC 95%	1	3	1	6
n Máximo	34	198	60	182
n Mínimo	2	85	7	16

La Tabla XI muestra los intervalos de edad. En Puerto Peñasco la moda estuvo en el intervalo de 11-15 años mientras que en San Felipe estuvo en el de 21-25 años. La Figura 12 y Figura 13 muestran la distribución de estructura de la estructura de la edad de *P. globosa* en Puerto Peñasco y San Felipe respectivamente.

Tabla XI. Frecuencia de edad por intervalos de almeja *Panopea globosa* de Puerto Peñasco y San Felipe.

Intervalo de Edad	Puerto Peñasco		San Felipe	
	Freq.	%	Freq.	%
1-5	24	15.3	0	0
6-10	36	22.9	1	0.6
11-15	65	41	2	1.1
16-20	27	17.2	11	6.3
21-25	4	2.5	158	89.8
26-30	0	0	0	0
31-35	1	0.6	0	0
36-40	0	0	2	1.1
41-45	0	0	1	1
46-50	0	0	0	0
51-55	0	0	0	0
56-60	0	0	1	1
61-65	0	0	0	0
Total	157	100	176	100

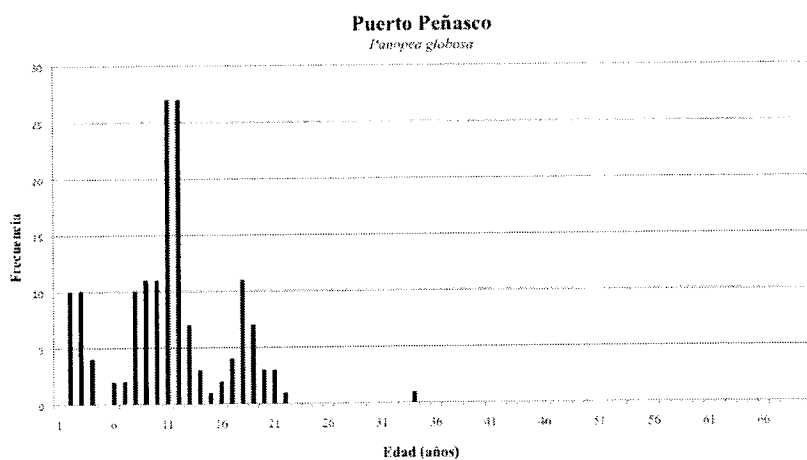


Figura 12. Distribución de estructura de edad de *Panopea globosa* en Puerto Peñasco.

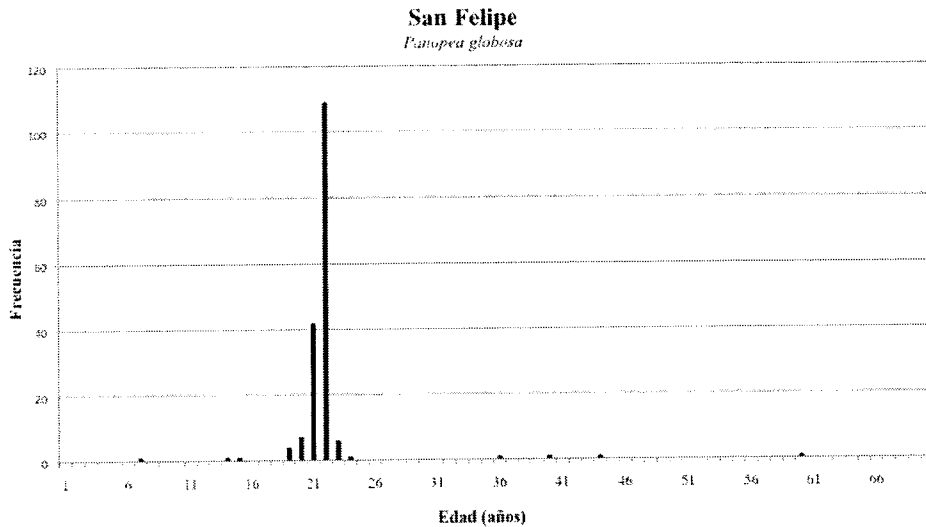


Figura 13. Distribución de estructura de edad de *Panopea globosa* en San Felipe.

VI.2.2. Crecimiento.

Se ajustaron los cinco modelos a los datos de longitud a la edad de *P. globosa* para muestras de Puerto Peñasco y San Felipe. Para el caso de Puerto Peñasco las líneas de ajuste de los cinco modelos se sobreponen por lo que es difícil visualizarlas por separado (Figura 14). El en caso de San Felipe Figura 15, las líneas de ajuste de los modelos de Gompertz y Logístico quedan muy por debajo de las otras tres líneas, pero aun así en este caso todas las curvas ajustadas se pueden ver separadas y sin sobre posición importante como en el caso de las muestras de Puerto Peñasco.

Los parámetros de crecimiento para las almejas recolectas en Puerto Peñasco se presentan en la tabla XII se observa que el valor más bajo de la longitud asintótica se obtuvo con el modelo Logístico y fue de 162.2 mm y el valor más alto fue de 169.8 mm y se obtuvo con el modelo de Schnute caso 1. En la tabla XIII se observan los valores de los parámetros de crecimiento para las almejas recolectas en San Felipe. En este caso el valor más alto de la

longitud asintótica se obtuvo con el modelo de Schnute y Richards, y fue de 244.9 mm. El menor fue de 145.1 con dos; modelos Gompertz y Logístico.

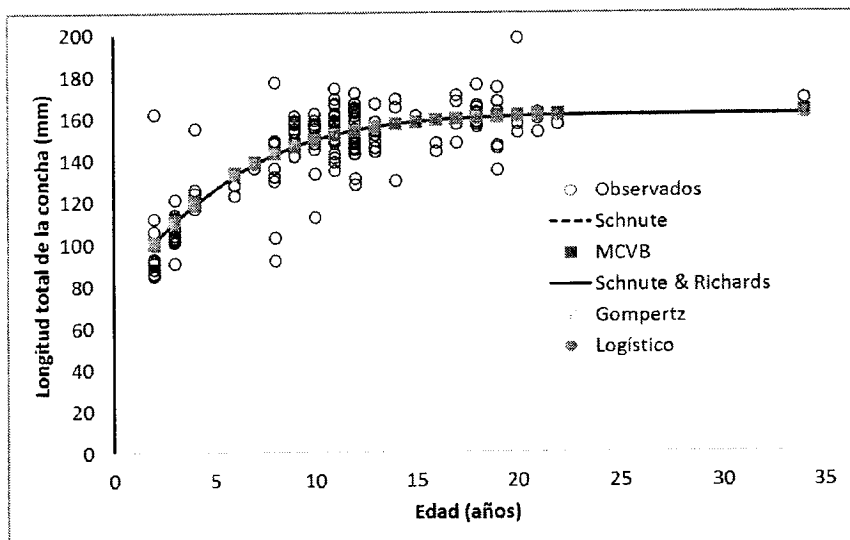


Figura 14. Curvas de crecimiento generadas para los cinco modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de *Panopea globosa* de Puerto Peñasco.

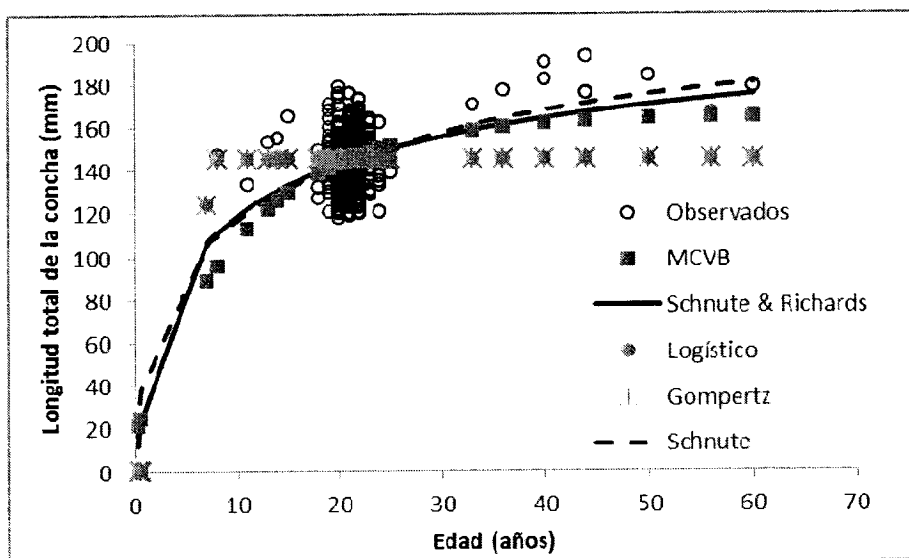


Figura 15. Curvas de crecimiento generadas para los cinco modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de *Panopea globosa* de San Felipe.

Tabla XII. Parámetros estimados para el ajuste de los cinco modelos de crecimiento individual a datos de longitud a la edad para *Panopea globosa* de Puerto Peñasco.

MCVB	Logístico	Gompertz	Schnute	Schnute y Richards
$L_{\infty}= 163.8$	$L_{\infty} 162.2$	$L_{\infty}= 162.9$	$L_{\infty}= 169.8$	$L_{\infty} = 169.7$
$k= 0.171$	$k= 0.230$	$K= 0.200$	$\iota= 66.015$	$\delta= -4.938$
$t_0= -3.65$	$t= -0.36$	$\tau 3= 5.35$	$\delta= 102.65$	$k2= 14.801$
		$\lambda= -0.696$	$\lambda= 0.1553$	$\gamma = 0.0508$
			$\rho= 1.101$	$v= 2.00$

Tabla XIII. Parámetros estimados para el ajuste de los cinco modelos de crecimiento individual a datos de longitud a la edad para *Panopea globosa* de San Felipe.

MCVB	Logístico	Gompertz	Schnute	Schnute y Richards
$L_{\infty}= 165.0$	$L_{\infty} 145.1$	$L_{\infty}= 145.1$	$L_{\infty}= 213.6$	$L_{\infty} = 244.9$
$k= 0.094$	$k= 10.67$	$K= 13.5$	$\iota= 16.47$	$\delta= -4.349$
$t_0= -1.20$	$t= 6.83$	$\tau 3= 6.86$	$\delta= 180.907$	$k2= 10.44$
		$\lambda= -0.001$	$\lambda= 0.022$	$\gamma = 0.0365$
			$\rho= 3.070$	$v= 0.00007$

VI.2.3. Selección del modelo e inferencias sobre el crecimiento.

Los análisis para seleccionar el modelo con mejor ajuste entre los modelos candidatos se hizo a través de una forma corregida del AIC (AIC_c). El valor menor de AIC_c indica el mejor modelo, que en este caso para Puerto Peñasco (Tabla XIV) fue el Logístico con una ponderación de Akaike del 92%. La longitud asintótica promedio fue de 162.51 ± 0.05 mm. El resto de los modelos presentan una ponderación muy baja a pesar de que las curvas generadas siguen una trayectoria similar. En el caso de las almejas de San Felipe (Tabla XV) el modelo que obtuvo el menor valor de Akaike fue el de Schnute casol y su ponderación es redondeada a 100% dejando al resto de modelos con bajo o nulo soporte. La longitud asintótica promedio fue de 213.63 ± 4.13 mm.

Tabla XIV. Valores de AIC, Δ_i , W_i y L_∞ obtenidos de los modelos ajustados con los datos “crudos” de longitud a la edad, para *Panopea globosa* de Puerto Peñasco.

Modelos	k	AIC	Δ_i	W_i	L_r	E.E.	95%IC menor	95% IC mayor
Logístico	3	1251.65	0.00	0.92	162.50	2.47	157.62	167.38
MCBV	3	1257.81	6.16	0.04	163.41	2.63	158.22	168.60
Schnute	4	1259.75	8.10	0.02	162.04	2.53	157.05	167.03
Gompertz	3	1259.77	8.12	0.02	161.80	2.48	156.90	166.70
Schnute y Richards	5	1261.89	10.24	0.01	162.02	2.54	157.01	167.03
Promedio					162.52	0.02	162.47	162.57

E.E. es el error estándar, IC es el intervalo de confianza

VI.3. Estimación de Biomasa.

VI.3.1. Esfuerzo pesquero utilizado para estimar biomasa.

Se realizaron un total de 487 buceos (duración promedio de 2:39 hrs.) a lo largo de 102 días de pesca. Lo que significa que en promedio se realizaron en promedio 4.77 buceos por día. Cada día se utilizaron 3 pangas, lo que equivale a 1.59 buceos por panga por día. Se realizaron un total de 306 viajes de pesca (102 días por tres pangas por día) se capturaron un total de 80362 almejas con un peso total de 112514 kg (Tabla XVI).

Tabla XV. Valores de AIC, Δ_i , W_i y L_∞ obtenidos de los modelos ajustados con los datos “crudos” de longitud a la edad, para *Panopea globosa* de San Felipe.

Modelos	k	AIC	Δ_i	W_i	L_r	E.E.	95%IC menor	95% IC mayor
Schnute	4	4038.27	0.00	1.00	213.56	2.04	209.54	217.58
Schnute y Richards	5	4050.60	12.33	0.00	244.90	31.34	183.32	306.48
MCBV	3	4074.59	36.32	0.00	165.07	48.60	69.58	260.56
Gompertz	3	4176.51	138.24	0.00	145.10	68.57	10.39	279.81
Logístico	3	4176.51	138.24	0.00	145.10	68.57	10.39	279.81
Promedio					213.63	2.11	209.49	217.76

E.E. es el error estándar, IC es el intervalo de confianza

Tabla XVI. Resumen de fechas, días efectivos de pesca y captura realizadas en el banco de Puerto Peñasco con base a los avisos de arribo.

Folio	Período que Ampara			Días efectivos de pesca	Embarcaciones Utilizadas	Peso (kg)	Número de almejas
	Año (aa)	Mes (mm)	Día (dd)				
708247	08	11	1,2,3	3	3	1,540	1,500
708248	08	11	15,16,17	3	3	1,010	2,150
708310	08	11	18,19	2	3	2,100	1,500
708311	08	11	20,21	2	3	2,724	1,945
708340	08	12	1,2	2	3	2,885	2,060
708341	08	12	4,5,6	3	3	2,380	2,364
708356	08	12	20,22	2	3	1,785	1,275
708364	09	11	4,5,6	3	3	2,744	1,960
708369	09	11	18,19,20	3	3	2,936	2,083
708314	09	11	21,22	2	3	1,823	1,102
708322	09	12	2,3,4	3	3	2,912	2,100
708332	09	12	5	1	3	937	600
708429	09	12	20	1	3	812	700
708519	09	12	16,17,18,19	4	3	4,085	2,917
708540	09	13	2	1	3	1,260	900
708572	09	13	3,4,5	3	3	3,108	2,320
708541	09	13	16,17,18	3	3	2,980	2,128
708542	09	13	19,20	2	3	1,965	1,404
708617	09	13	21	1	3	893	637
708618	09	14	1,2	2	3	1,812	1,366
708619	09	14	4	1	3	2,100	1,500
708634	09	14	13,14	2	3	1,197	835
708620	09	14	17	1	3	1,260	900
708641	09	14	18	1	3	2,100	1,500
708653	09	14	20	1	3	1,260	900
708654	09	15	20	1	3	1,050	750
708670	09	15	1,2	2	3	2,100	1,500
708659	09	15	12,13,14	3	3	2,105	1,503
708690	09	15	15,16,17	3	3	2,450	1,750
708691	09	15	28	1	3	1,050	750
708692	09	15	29	1	3	1,050	750
708693	09	16	30,31	2	3	1,890	1,350
708651	09	16	15,16	2	3	1,890	1,350
708635	09	17	1,2,3	3	3	3,780	2,700
708636	09	17	13	1	3	1,050	750
708651	09	17	17	1	3	1,050	750
708860	09	17	22,28	2	3	2,100	1,500
708891	09	18	29,30,31	3	3	3,030	2,178
708834	09	18	12,13,14	3	3	3,361	2,400
827850	09	18	14,15	2	3	2,520	1,800
827937	09	18	23,24	2	3	2,100	1,500
827938	09	19	25,29	2	3	2,730	1,950
827920	09	19	8,9	2	3	2,520	1,800
827910	09	19	10	1	3	1,260	900
827954	09	19	11,12	2	3	2,520	1,800
827975	09	19	30,21,22	3	3	1,260	900
827976	09	19	23,24,25	3	3	3,780	2,700
827977	09	19	26	1	3	1,260	900
827978	09	20	7,8	2	3	3,780	2,700
828017	09	20	12	1	3	1,260	900
828071	09	20	21,22	2	3	4,001	2,858
828072	09	20	23	1	3	1,029	7378
TOTAL				102		11 2514	80362

VI.3.2. Biomasa estimada en Puerto Peñasco.

Se usó la captura total (80362 almejas) para determinar la captura total a la talla de acuerdo a la frecuencia de tallas obtenida a partir de los muestreos (Tabla XVII). Dicha frecuencia fue analizada utilizando el método de análisis de tallas de Sullivan para ajustar el

modelo a la captura observada según la talla (Tabla XVII). La Tabla XVIII indica el valor de los parámetros que permitieron dicho ajuste. Los resultados sugieren que la biomasa total calculada fue de 25,992 toneladas lo cual se aprecia gráficamente en la Figura 16. Los parámetros obtenidos son los que permiten un buen ajuste del modelo de Sullivan a los datos observados, tal como se muestra en la Figura 17.

Tabla XVII. Frecuencia de tallas extrapolada a la captura total con base a la distribución de frecuencias obtenidas a través del muestreo de las capturas.

Talla	Frecuencia nominal	Frecuencia porcentual
90-99	1267	1.6
100-109	483	0.6
110-119	543	0.7
120-129	1146	1.4
130-139	3017	3.8
140-149	9834	12.2
150-159	21116	26.3
160-169	21176	26.4
170-179	14721	18.3
180-189	5249	6.5
190-199	1448	1.8
200-209	362	0.5

Tabla XVIII. Valores de los parámetros obtenidos mediante el análisis de estructura de tallas de Sullivan.

Parametro	Valor estimado
Beta crecimiento=	0.954423143
k=	0.327313779
Linf=	205
M=	0.675534189
F/Z=	0.5
ALFA=	17.86305487
BETA=	5.395572617
R ₀ =	287,193,121

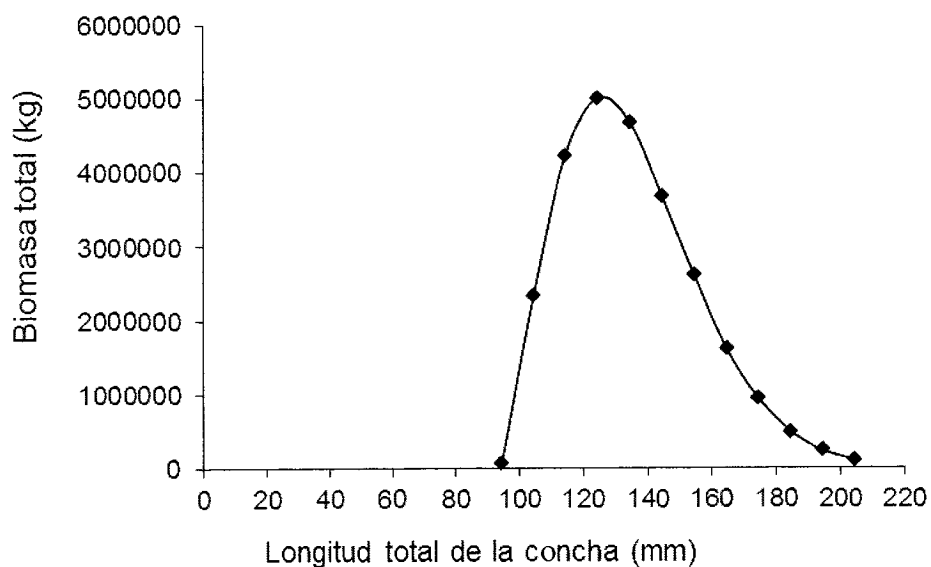


Figura 16. Biomasa total estimada por tallas de acuerdo a los parámetros descritos en la Tabla XVIII.

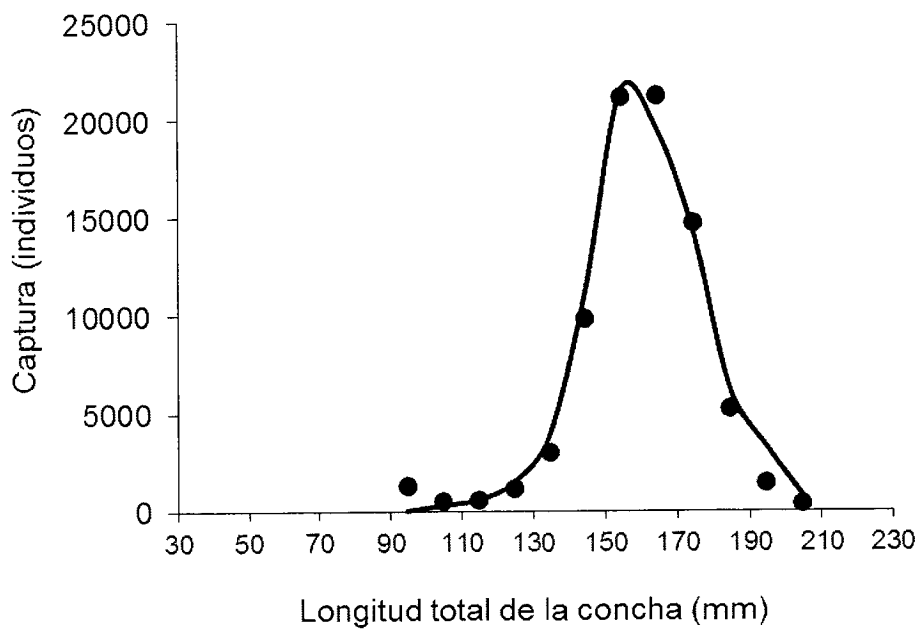


Figura 17. Modelo (línea) ajustado a los datos observados (puntos) de captura a la talla. Los parámetros fueron estimados mediante el análisis de tallas de Sullivan (Sullivan *et al.*, 1990).

VII. DISCUSIÓN.

VII.1 Distribución de pesos y tallas.

Las almejas de Puerto Peñasco son más largas y más pesadas en promedio que las de San Felipe. Estudios han encontrado también variabilidad en cuanto al peso y la talla entre bancos y entre regiones (Goodwin, 1976; Goodwin y Pease, 1991; Hand y Bureau, 2000; Bureau, *et al.*, 2002) y han mencionado que estas diferencias seguramente están relacionadas con factores ambientales locales, a la latitud y a efectos de la pesca, pero se han enfrentado a la dificultad de poder determinar en qué medida contribuye cada uno de los factores, ya que muchos de los estudios se hicieron en banco sujetos a aprovechamiento. En la presente investigación podemos asegurar que las diferencias observadas se deben sólo a factores ambientales, ya que las muestras son las primeras obtenidas de bancos que hasta el año de 2007 no habían sido explotados.

VII.2 Edad.

El presente estudio inició con la determinación de edad de la almeja de sifón *P. globosa* de la parte norte del Golfo de California. El método consistió, como se mencionó anteriormente, en contar los anillos o bandas de crecimiento internos que se reflejan en las conchas. En *P. globosa* los anillos internos de crecimiento de la concha se muestran como una región angosta y opaca formada en el invierno y otra región amplia y translúcida que se forma de primavera a otoño. Los estudios que se han realizado en otras almejas (Morsán y Ciocco, 2004) sugieren que los patrones translúcidos son determinados por la actividad metabólica asociada con cambios en las temperaturas del fondo marino. En este sentido

Shaul y Goodwin (1982) explicaron que la línea de crecimiento que se forma en *P. generosa* es por la disolución del carbonato de calcio debido al metabolismo anaeróbico durante su periodo de inactividad en la época de invierno. La almeja de sifón (Shaul y Goodwin, 1982) del hemisferio norte, así como la del hemisferio sur *P. abbrevita* (Morsán y Ciocco, 2004), retraen su sifón permaneciendo en una aparente condición de inactividad. Lo importante de analizar este comportamiento en verano es por las consecuencias que para el crecimiento implica. Este comportamiento inducido por las bajas temperaturas y por la disponibilidad de alimento debe reflejarse en la tasa metabólica. En un estudio realizado con *P. globosa* (Cortez-Lucero *et al.*, 2011) se demostró que la deposición de anillos de crecimiento interno en esta especie ocurre anualmente en el Golfo de California.

La técnica de contar los anillos de crecimiento para la estimación de la edad de almeja de sifón en el mundo fue validado por Shaul y Goodwin (1982), siendo utilizada para determinar la edad de *P. generosa* en la Columbia Británica (Bureau *et al.*, 2002; 2003) y en Washington (Goodwin y Shaul, 1984), para *P. zelandica* en Nueva Zelanda (Breen *et al.*, 1991), y para *P. abbreviata* en Argentina (Morsán y Ciocco, 2004). La lectura de anillos ha sido reforzada mediante técnicas de datación cruzada, primero desarrollado por medio de dendrocronología, que busca patrones de crecimiento sincrónico de una población objeto de muestreo y utiliza años "firma" (AF) de una referencia cruzada entre los especímenes de una muestra (Black, 2009). En las almejas analizadas del Golfo de California se encontró que esta técnica puede ser utilizada para las lecturas de anillos y representa una buena medida de crecimiento anual. Los llamados AF se reflejan en las almejas porque algún evento climático favorable o desfavorable se ha presentado en la zona donde el organismo se encuentra. El Niño Oscilación del Sur (ENOS) ocurrido en 1983-

1984 parece tener un efecto favorable para *P. generosa* de Baja California (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010b) y puede ser la explicación de que el grupo de 21 años fue el más representado en la zona de San Felipe, lo que sugiere mecanismos más complejos que explican la variabilidad del reclutamiento. Estas observaciones indican que en la almeja de sifón el crecimiento es más rápido durante el periodo cálido, condiciones propias de la fase positiva del ENOS.

En total se realizaron 157 impresiones de anillos a partir de almejas de PPE y 176 impresiones a partir de conchas de SFE. La edad promedio también fue diferente entre Puerto Peñasco y San Felipe. Pero en este caso en San Felipe se presentó la edad promedio mayor (22 años) y la máxima longevidad (60 años). Al igual que en el caso del peso y la longitud, los estudios han reportado variabilidad entre bancos y entre regiones (Goodwin, 1976; Goodwin y Pease, 1991; Hand y Bureau, 2000; Bureau *et al.*, 2002). Hay muchos ejemplos de *P. generosa* con edad superior a 100 años (Goodwin, 1976; Shaul y Goodwin, 1982; Sloan y Robinson, 1984; Campbell y Ming, 2003). En este estudio, el organismo más longevo fue un organismo de 60 en la parte de San Felipe. Este valor se encuentra muy por debajo a los reportados Sloan y Robinson (1984) quienes encontraron individuos de 107 años de edad en machos y de 89 años de edad en hembras. Para las costas mexicanas en donde se encuentra presente *P. generosa* el organismo más longevo encontrado fue de 96 años (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010b). Para la especie motivo de este estudio la información publicada sobre edad en la parte Central del Golfo de California registraron 27 años como el más longevo (Cortez-Lucero *et al.*, 2011). Quizás la explicación a esto pueda ser la fuerte presión de barcos arrastreros de aquella zona a diferencia de que en AGC es una zona protegida. Esto en lo respecta a las almejas de sifón del hemisferio sur *P.*

abreviatta de Argentina (Morsán *et al.*, 2010) y *P. zelandica* de Nueva Zelanda (Gribben y Creese, 2005), se han encontrado organismos de 84 y 85 años de edad como los más longevos, respectivamente, igualmente más longevos que los encontrados en este estudio.

Tanto en Puerto Peñasco como en San Felipe los organismos estudiados fueron recolectados por buzos comerciales, los cuales se basan en las marcas que dejan los sifones en el sedimento para ubicar a las almejas y extraerlas. Es posible que por este motivo se tengan bajas proporciones de organismos chicos y jóvenes, en el entendido de que las almejas pequeñas no dejan marcas tan conspicuas, siendo por lo tanto menos vulnerables a la pesca. Sin embargo, lo anterior no explica las diferencias entre la estructura de edad de ambas localidades. Mientras en Puerto Peñasco se capturan almejas principalmente entre las clases de edad de 6-21 años, en San Felipe están entre las clases de edad de los 21 y 22 años. Esto puede estar indicando que el reclutamiento es menos variable en Puerto Peñasco y que se han presentado pulsos de reclutamiento entre 1996 y 1997. En San Felipe la fuerza de las clases de edad de 21 y 22 años son muy fuertes, lo que estaría indicando fuertes pulsos de reclutamiento entre 1985 y 1986. De nuevo, estos fuertes pulsos de reclutamiento han sido observados en bancos de *P. generosa* (Bureau *et al.*, 2002; Bureau *et al.*, 2003) y los han asociando tanto a procesos denso dependientes como denso independientes (Bureau *et al.*, 2002; Bureau *et al.*, 2003; Orensanz *et al.*, 2004).

VII.3. Crecimiento.

Aunque las poblaciones de *Panopea globosa* del Golfo de California son el objeto de una pesquería que crece rápidamente, y la comprensión de los parámetros de crecimiento

de la población se hace necesaria para desarrollar estrategias de aprovechamiento sostenibles, hay un sólo documento científico que aborda este tema (Cortez-Lucero *et al.*, 2011). El mismo se limitó a la utilización del modelo de crecimiento de von Bertalanffy VBGM. Por lo tanto, la importancia del presente estudio radica en el uso de la inferencia múlti-modelo y la aplicación de la teoría de la información de Akaike, que es un nuevo paradigma en el estudio de pesquerías para evaluar el crecimiento de *P. globosa* del AGC.

En el AGC, la longitud asintótica máxima estimada fue de 244.9 mm de longitud total de la concha y se obtuvo con el modelo de Schnute y Richards. Esta longitud asintótica está fuera del intervalo encontrado para *P. generosa* en la Columbia Británica que fue reportado de 129 a 147 mm (Bureau, 2002, 2003; Campbell y Ming, 2003) y la encontrada en el estado de Washington que fue de 132 a 173 mm (Hoffmann *et al.*, 2000). Así como también para la península de Baja California, donde Calderón Aguilera *et al.* (2010b) calcularon la longitud asintótica para *P. generosa* en 135 mm longitud de concha. La longitud asintótica de *P. globosa* también es más grande que la de otras especies de almeja de sifón del hemisferio sur: 106 mm de longitud total de la concha para *P. abbreviata* (Morsan y Ciocco, 2004) y 116 mm para *P. zelandica* (Gribben y Creese, 2005).

VII.4. Selección del modelo de crecimiento.

Otro objetivo de este estudio fue probar diferentes modelos, utilizando la teoría de la información para ajustar el mejor modelo y para determinar la longitud asintótica con la mayor y mejor información posible. En estudios anteriores, los parámetros de crecimiento de otras especies de almeja de sifón se calcularon utilizando un algoritmo basado en el

método de mínimos cuadrados (Hoffmann *et al.*, 2000; Bureau *et al.*, 2002; 2003; Campbell y Ming, 2003; Calderón-Aguilera *et al.*, 2010b). En este estudio, en su lugar se utilizó como criterio la máxima verosimilitud, encontrando que el uso de ésta representa una mejor solución para estimar adecuadamente los parámetros de los modelos de crecimiento individual tal como lo propuso Katsanevakis (2006) para otros modelos, pero en general la máxima verosimilitud es una prueba más robusta.

Selección de modelo basado en la teoría de la información ha sido recomendado como una alternativa mejor y más robusta que los enfoques tradicionales (Katsanevakis, 2006; Cerdaneres *et al.*, 2011). La ventaja de utilizar el AIC es que los modelos probados pueden ordenarse jerárquicamente según su ajuste a los datos, y que pueden obtenerse los parámetros promedio para un modelo, en este caso de crecimiento individual. Sin embargo, el parámetro promedio deseado (por ejemplo, longitud asintótica), se estima obteniendo la ponderación de Akaike (Burnham y Anderson 2002); es decir, la contribución de cada parámetro es ponderada antes de obtener la media del parámetro deseado (Tablas XIII y XIV).

En este estudio, se compararon los modelos de crecimiento von Bertalanffy (VBGM), Logístico, Schnute Caso 1, Schnute y Richards, 1990 y Gompertz. Según el AIC, se encontró el modelo logístico como el mejor para el caso de Puerto Peñasco, mientras que el modelo menos compatible fue el modelo Schnute y Richards (Tabla XIII). Para el caso de San Felipe el modelo con menor AIC fue el de Schnute y el de Gompertz y Logístico los de mas alto AIC. Aunque el VBGM es el modelo más estudiado y más comúnmente aplicado entre todos modelos de longitud a la edad, su uso como el único modelo de crecimiento no está bien soportado en ninguno de los dos casos (Tablas XIII y XIV). Con

respecto a otros estudios usando los AIC, Baer *et al.* (2011) concluyó que el VBGM no es el modelo óptimo para calcular el crecimiento del Lenguado (*Psetta maxima*). Resultados similares fueron encontrados por Flores *et al.* (2010) en el erizo de mar (*Loxechinus albus*). Está claro que este nuevo enfoque estadístico basado en la teoría de la información se ha vuelto cada vez más popular en la inferencia matemática, pero es muy reciente en estudios biológico-pesqueros, donde ha sido usado por menos de una década. A pesar de ello, Mundry (2011) sugiere usarlo con precaución en estudios de Ecología y propone una mezcla de la utilización de pruebas de hipótesis nula y criterios de teoría de información en circunstancias específicas. Por lo tanto, se espera que en los estudios pesqueros, el uso de los AIC se convierta en una herramienta común en la selección de modelos, pero todavía se pueden utilizar pruebas de hipótesis nula con suficiente justificación.

Con base al cálculo del AICc para cada uno de los modelos candidatos y a lo que Burnham y Anderson (2002) mencionan deben descartarse para describir el crecimiento aquellos modelos que tienen un $\Delta_i > 10$. Para el caso de San Felipe el resto de cuatro modelos presentan ese valor. En Puerto Peñasco es un caso similar pero el MCVB tiene un valor $\Delta_i = 6.16$. A partir del valor de W_i Burnham y Anderson (2002) sugieren que se pueden promediar los modelos con un valor inferior a 80%. Con base en esto se puede concluir que los parámetros que mejor describen el crecimiento de *Panopea globosa* en Puerto Peñasco son los del modelo Logístico y en San Felipe los del modelo de Schnute sin necesidad de obtener promedios. De cualquier forma como se observa en las Tablas XIII y XIV se obtuvo el promedio para cada conjunto de datos y se observa que el promedio es muy similar al del modelo ganador.

VII.4. Estimación de Biomasa.

Basándose en la experiencia de países que han enfrentado problemas de sobreexplotación de recursos pesqueros, se sugiere el sistema de cuotas, como una alternativa para el recurso de la almeja de sifón del alto golfo. Sin embargo, para fijar la cuota de captura permisible es necesario evaluar la biomasa sobre la cual se aplicará la cuota de explotación. La necesidad de expresar la evaluación de un modo cuantitativo se resuelve mediante el uso de modelos que nos permiten ajustar la información disponible a las posibles concepciones sobre el comportamiento dinámico de las poblaciones explotadas

Dependiendo de la información disponible se aplican distintos modelos para evaluar el stock, aunque dos son los fundamentales: los modelos globales y los modelos estructurados por edades. Los modelos globales, también conocidos como modelos de producción excedentaria o modelos de biomasa dinámica (Hilborn y Walters, 1992; Prager, 1994), plantean que la población responde globalmente a la explotación; son modelos con una baja dependencia de información ya que con una serie temporal de capturas totales y esfuerzos es suficiente. Sin embargo, la capacidad productiva de una población explotada, que incluye el crecimiento, la madurez, la fecundidad, la mortalidad, el reclutamiento, depende de su estructura de edades con lo cual los modelos estructurados por edades representan mejor esta realidad a costa de una información más exigente ya que es necesario conocer la estructura por edades de, al menos, las capturas. Los modelos estructurados por edad son preferibles sobre los modelos globales. Por esa razón en la presente investigación se ha aplicado el modelo de Sullivan *et al.* (1990) y se ha representado de una mejor y mas aceptable forma la biomasa de almeja de sifón del alto Golfo de California.

Aunque la información disponible permitió hacer una evaluación de la biomasa del recurso almeja de sifón del alto golfo, aún existen vacíos de información que pueden ser útiles abordar en evaluaciones futuras. Hay que señalar que la base de datos no dispone de registros históricos, en comparación con las bases de datos disponibles para otras pesquerías porque aún no se inicia la pesca de manera comercial en la zona y sobre este recurso. Pero como más importante vacío de información es el escaso conocimiento de los procesos biológicos de esta especie.

Se ha delimitado el contorno de un banco para la explotación de almeja de sifón mediante la combinación del conocimiento empírico de los pescadores en la zona de pesca y la tecnología de posición satelital en una zona que, para el recurso almeja de sifón, es un área virgen. Además la evaluación de la biomasa mediante el uso de un modelo estructurado por edad hace más robusta determinación de la biomasa virgen sobre la cual se recomendará la cuota de captura en del banco. Finalmente es importante señalar que de acuerdo a la biomasa determinada y al horizonte de manejo (50 años) establecido en la administración de esta pesquería se puede garantizar que un sector de la sociedad denominado de los mas vulnerables (pescadores) tengan empleo y disminuyan la presión sobre otros recursos que por sus técnicas de pesca impactan en organismos con importancia para la conservación como es la vaquita marina.

VIII. LITERATURA CITADA

- Akaike, H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In: Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory (eds B.N. Petrov and F. Csaki). Akademiai Kiado, Budapest, pp. 267–281.
- Álvarez, L. G., F. Suárez-Vidal, R. Mendoza-Borunda y M. González-Escobar. 2009. Bathymetry and active geological structure in the Upper Gulf of California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 61(1), 129-141.
- Álvarez, L. y Jones S. 2002. Factors influencing suspended sediment flux in the Upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, 747–759.
- Alvarez-Borrego, S., Alberto-Rivera, J. A., Gaxiola-Castro, G., Acosta-Ruiz, M. J., Schwartzlose, R. A. 1978. Nutrientes en el Golfo de California: *Ciencias Marinas*, 5, 53–71.
- Álvarez-Borrego, S., Flores, B. y Galindo, B. 1974. Hidrología del Alto Golfo de California, II. Condiciones durante invierno, primavera y verano, *Ciencias Marinas* 1, 21–36.
- Alvarez-Borrego, S., Flores-Báez, B. P., Galindo-Bect, L. A. 1975. Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante Invierno, Primavera y Verano: *Ciencias Marinas*, 2, 21–36.
- Álvarez-Borrego, S., Lara-Lara, J. R., 1991. The Physical Environment and Primary Productivity of the Gulf of California, en Dauphin, J. P., Simoneit, B. R. (eds.), *The*

Gulf and Peninsular Province of the Californias: Gulf and Peninsular Province of the Californias AAPG Memoir, 47, 555–567.

Alvarez-Borrego, S., Schwartzlose, R. A. 1979. Masas de agua del Golfo de California: Ciencias Marinas, 6, 43–61

Andersen, A. M., Jr. 1971. Spawning, growth and spatial distribution of the geoduck clam, *Panope generosa* (Gould) in Hood Canal, Washington. PhD Diss., U. of Washington, 133pp.

Anderson D. 2003. Some background on why people in the empirical sciences may want to better understand the information-theoretic methods. www.cnr.colostate.edu/~anderson

Andre, C., P. R. Jonsson, y M. Lindegarth. 1993. Predation on settling bivalve larvae by benthic suspension feeders: The role of hydrodynamics and larval behavior. Marine Ecology Progress Series 97:183-192.

Aragón-Noriega, E. A., J. Chávez-Villalba, P. E. Gribben, E. Alcántara-Razo, A. N. Maeda-Martínez, E. M. Arámbula-Pujol, A. R. García-Juárez y R. Maldonado-Amparo. 2007. Morphometric Relationships, Gametogenic Development and Spawning of the Geoduck Clam *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) in the Central Gulf of California. Journal of Shellfish Research 26 (2): 423-431.

Arámbula Pujol, E. M. 2006. Ciclo Reproductivo de la Almeja de Sifón *Panopea globosa* en la Playa de Sol, Empalme, Sonora México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 56 pp.

- Badan-Dangon A., D. J. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta* 8, 13-22.
- Beamish, R. J. y Fournier D. A. 1981. A Method for comparing the precision of a set of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 982-983.
- Black, A. B., D. C. Gillespie, S. E. McLellan y C. M. Hand. 2008. Establishing highly accurate production-age data using the tree-ring technique of crossdating: a case study for Pacific geoduck (*Panopea generosa*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 2572-2578.
- Black, B. A., George W. Boehlert, y Mary M. Yoklavich. 2005. Using tree-ring crossdating techniques to validate annual growth increments in long-lived fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62(10): 2277-2284.
- Botsford, L. W. y Hobbs, R. C. 1995. Recent advances in the understanding of cyclic behavior of Dungeness crab (*Cancer magister*) populations. *ICE Mar. Sci. Symp.* 199:157-166.
- Bradbury A., B Sizemore, D Rothaus, y Ulrich M. 2000. Stock Assessment of Subtidal Geoduck Clams (*Panopea generosa*) in Washington. Marine Resources Unit Fish Management Division Fish Program.
- Bray, N.A. y J. M. Robles. 1991. Physical Oceanography of the Gulf of California. The Gulf and Peninsular Province of the California. Memoir of the American association of Petroleum geologists.

- Breen, P. y T. Shields. 1983. Age and size structure in five populations of geoduck clams (*Panopea generosa*) in British Columbia. Can. Tech. Rep. of Fish and Aquat. Sci. No. 1169. 62 p.
- Breen, P., A. C. Gabriel y T. Tyson. 1991. Preliminary estimates of age, mortality, growth, and reproduction in the hiatellid clam *Panopea zelandica* in New Zealand. N. Z. J. Mar. Freshwater Res. 25:231–237.
- Bureau D., Hajas, W., Hand, C. M., Dovey, G. 2003. Age, size, structure and growth parameters of geoducks (*Panopea abrupta*, Conrad 1849) from seven locations in British Columbia sampled in 2001 and 2002. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No.2494.
- Bureau, D., W. Hajas, N. W. Surry, C. M. Hand, G. Dovey, and A. Campbell. 2002. Age, size structure, and growth parameters of geoducks (*Panopea generosa* Conrad, 1849) from 34 locations in British Columbia sampled between 1993 and 2000. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2413.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach, 2nd ed. Springer, New York.
- Calderon-Aguilera L. E., Aragón-Noriega E. A., Reyes-Bonilla H, Paniagua-Chavez C. G., Romo-Curiel A. E., Moreno-Rivera V. M. 2010a. Reproduction of the Cortes geoduck *Panopea globosa* (Bivalvia:Hiatellidae) and its relationship with temperature and ocean productivity. J. Shellfish Res. 29:131-141.
- Calderón-Aguilera L.E., Aragón-Noriega E.A., Hand C.M., Moreno-Rivera V.M. 2010b. Morphometric relationships, age, growth and mortality of the geoduck clam

Panopea generosa, along the Pacific coast of Baja California, Mexico. *J. Shellfish Res.* 29(2): 319-326

Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59: 197-242.

Campbell, A. y M. D. Ming. 2003. Maturity and growth of the Pacific geoduck clam, *Panopea generosa*, in Southern British Columbia, Canada. *J. Shellfish Res.* 22:85–90.

Campbell, A., Yeung, C. W., G. Dovey y Z. Zang. 2004. Population biology of the Pacific geoduck clam, *Panopea generosa*, in experimental plots southern British Columbia, Canada. *J of Shell. Res.* Vol. 23: 661-673 p.

Carbajal, N., Souza, A. y Durazo, R. 1997. A numerical study of the ex-ROFI of the Colorado River. *Journal of Marine Systmatic* 12, 17–33.

Carrillo, L., Lavín, M. F., Palacios-Hernández, E., 2002. Seasonal Evolution of the Geostrophic Circulation in the Northern Gulf of California: Estuarine Coastal and Shelf Science, 54, 157–173.

Carriquiry, J. y A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California alter nearly a Century of discharge loss. *Marine Geology* 158, 125–145.

- Carriquiry, J., Sánchez A., y V. F. Camacho-Ibar. 2001. Sedimentation in the northern Gulf of California after cessation of the Colorado River discharge. *Sedimentary Geology* 144, 37–62.
- Cortez-Lucero, G., J. A. Arreola-Lizárraga, J. Chávez-Villalba y E. A. Aragón-Noriega 2011. Edad, crecimiento y mortalidad de la almeja de sifón, *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) en la región central del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Mar. y Oceanog.* 46(3):453-462.
- Cupul, M. 1994. Flujos de sedimentos en suspensión y nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado. MSc Thesis. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. México.
- Filloux, J. 1973. Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California. *Nature* 243, 217–221.
- Fyfe, A. 1984. The effect of conspecific association on growth and dispersion of the geoduck clam, *Panopea generosa*. M.S. Thesis. Simon Fraser University. Vancouver, B.C. 110 p.
- Gilbert, J. Y. y W.E. Allen. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by W. Scripps in 1933 and 1940. *Journal of Marine Research* 5, 89-110.
- González-Peláez, S. S., Leyva-Valencia, I., Pérez-Valencia, S. A. y Lluch-Cota, D.B. Distribution and Morphological differentiation of geoduck clams *Panopea generosa* and *P. globosa* in Pacific coast of Mexico. *Aquaculture* 2010 1-5 de marzo 2010. San Diego, California, EUA. Poster:

- Goodwin, C. 1976. Observations on spawning and growth of subtidal geoduck (*Panopea generosa* Gould). Proc. Natl. Shellfisheries Assoc. No. 65: 49-58 p.
- Goodwin, C. y B. Pease. 1989. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest) Pacific geoduck clam. U.S. Fish. Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(11.120). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL82-4. 14 p.
- Goodwin, C. y B. Pease. 1991. Geoduck, *Panopea generosa* (Conrad, 1849), size, density and quality as related to various environmental parameters in Puget Sound, Washington. Journal of Shellfish Research 10: 65-77.
- Goodwin, C. y W. Shaul. 1984. Age, Recruitment and growth of the geoduck clam (*Panopea generosa*, Gould) in Puget Sound, Washington. Citado en: Goodwin, C.L. y B. Pease. 1989.
- Goodwin, C., Shaul, W. y C. Budd. 1979: Larval development of the geoduck clam (*Panopea generosa*, Gould). Proc. of the Nat. Shellf. Assoc. No.69: 73-76 p.
- Hand, C.M. Vaughan, B. G. and Heizar, S. 1998. Quota options and recommendations for the 199 and 2000 geoduck clam fisheries. Canadian Stock Assessment Secretariat, Res. Doc. 98/146, 52 pages.
- Harbo *et al.*, 1983 R.M. Harbo, B.E. Adkins, P.A. Breen and K. Hobbs, Age and size in market samples of geoduck clams (*Panopea generosa*), Can. MS Rep. Fish. Aquat. Sci. 1174 (1983), p. 77.

- Hoffmann A., A. Bradbury and C. L. 2000 Goodwin Modeling geoduck, *Panopea generosa* (Conrad, 1849) population dynamics. I. Growth, pp. 57-62.
- Hurvich, C.M. and Tsai, C.L. (1989) Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika* 76,297–307.
- INAPESCA. 2007. Programa de Investigación para el Seguimiento de la Pesquería de Almeja Generosa (*Panopea* spp.), Prospección y Evaluación de Nuevas Arreas de Aprovechamiento. Dirección General de Investigación Pesquera en el Pacífico Norte, SAGARPA-CONAPESCA. 16 pp.
- Jamison, D., Heggen, R. And Lukes, J. 1984. Underwater video in a regional benthos survey. Proc. Pacific Congress on Marine Technology, Marine Technology Society, Honolulu (Hawaii).
- Katsanevakis, S. and Maravelias D. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9: 178-187.
- Katsanevaskis, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81: 229-235.
- King, J. 1986: Juvenile feeding ontogeny of the geoduck *Panopea generosa* (Bivalvia: Saxicavacea), and comparative ontogeny and evolution of feeding. Unpublished MSc thesis, University of Victoria, British Columbia. 281 p.
- Kullback, S., and R. A. Leibler. 1951. On information and sufficiency. *Annals of Mathematical Statistics* 22, 79-86.

- Lavín, M. F., Gaxiola-Castro, G., Robles, J. M., Richter, K., 1995. Winter water masses and nutrients in the northern Gulf of California: *Journal of Geophysical Research*, 100, 8587–8605.
- Lavín, M. y A. Badan-Dangon. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California. *Contribuciones a la Oceanografía Física de México*, Lavin, M. F. (Ed.), Monografía UGM No. 5.
- Lavin, M. y Sánchez, S. 1999. On how the Colorado River affected the hydrography of the upper Gulf of California: *Continental Shelf Research* 19, 1545–1560.
- Lavin, M., Godínez, V. y L. Álvarez. 1998. Inverse-estuarine features of the upper Gulf of California, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47, 769–795.
- Leyva Valencia I., Cruz Hernández P., González Peláez S. S., Pérez Valencia S. A. y Lluich Cota D. B. 2010. XII Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés. 2-5 de Marzo de 2010. Guaymas Sonora. Poster: La morfometría geométrica para discriminar entre dos especies del género *Panopea* el noroeste de México.
- Marinone, S. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 108, 3325. doi: 10.1029/2002JC001720.
- McArthur, J., R. Khan and D.C. Gillespie. 2008. A guide to processing geoduck shells for age determination using the acetate peel method. DRAFT. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No xxxx.

- Meckel, L. 1975. Holocene sand bodies in the Colorado delta area, northern Gulf of California. En: Broussard, M. C. (Ed.), *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geological Society, TX, 239–265 pp.
- Millán-Nuñez, R., E. Santamarina-del ángel, R. Cajal-Moreno y O. A. Boracio. 1999. El delta del Río Colorado: Un ecosistema con alta productividad pirmaria. *Ciencias Marinas* 25(4), 509-524.
- Morsán, E. y N. Ciocco 2004. Age and growth model for the southern geoduck, *Panopea abbreviata*, off Puerto Lobos (Patagonia, Argentina). *Fish. Res.* 69 (3): 343-348 p.
- Noakes, D.J. and A. Campbell. 1992. Use of Geoduck Clams to Indicate Changes in the Marine Environment of Ladysmith Harbour, British Columbia. *Environmetrics*. 3(1): 81-97.
- Noakes, D.J. 1992. On growth and mortality of geoduck clams (*Panopea abrupta*) (or how fast do all duck go to heaven?). *Can MS Rep. Fish. Aquat. Scie.* 2169: 22-34.
- O'Connor, Ma. I., Bruno, J.F., Gaines S. D., Halpem B. S., Lester, S.E., Kinlan, B. P. and Weiss, M. 2007. Temperature control of larval dispersal and the implications for marine ecology, evolution, and conservation. *PNAS* 104 (4): 1266-1271.
- Orensanz, J. M., Parma, A.M. y Hall, M.A. 1998. The analysis of concentration and crowding in shellfish research. In G. S. Jamieson and Al Campbell, eds., *Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrates Stocks Assessment and Management*. *Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 125: 143-157.

- Orensanz, J., Hilborn R. y A. Parma. 2000. Harvesting Methuselah's clams—is the geoduck fishery sustainable, or just apparently so? *Can. Stock Assess. Secr. Res. Doc. No. 2000/175*.
- Orensanz, J.M., C.M. Hand, A.M. Parma, J. Valero, and R. Hilborn. 2004. Precaution in the harvest of Methuselah's clams —the difficulty of getting timely feedback from slow-paced dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 1355–1372.
- Pennington, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. *Fishery Bulletin* 94: 498-505.
- Ropes, J. 1987. Preparation of Acetate peels of valves from the Ocean Quahog, *Arctica islandica* for age determination. Technical report NMFS 50.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1128-1140.
- Schnute, J. Groot K. 1992. Statistical analysis of animal orientation data. *Anim. Behav.* 43: 15-33.
- Sewell M. 2008. Model Selection. Department of Computer Science University College London.
- Shaul, W. y C. L. Goodwin. 1982. Geoduck (*Panope generosa*: BIVALVIA) age determined by internal growth lines in the shell. *Can. J. Fish. Aquat. Sci. No.* 39: 632-636.
- Shono, H., 2000. Efficiency of the finite correction of Akaike's information criteria. *Fish. Sci.* 66, 608–610.

- Sloan, N. y S. M. Robinson. 1984. Age and gonad development in the geoduck clam *Panopea generosa* (Conrad) from southern British Columbia, Canada. *J. of Shell. Res.* 4 (2):131-137.
- Stensrud, D.J., Gall, R.L., Norquist, M.K., 1997. Surges over de Gulf of California during the Mexican Monsoon. *Mon. Weath. Rev.* 125, 417-437.
- Sullivan, P.J., Han-Lin, L. y Gallicci, V.F. 1990. A catch at length analysis that incorporates a stochastic model of growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 47:184-198.
- Thompson, R. 1969. The Northern Gulf of California: A sinopsis based on available information. Bathymetry and sedimentation. En: *Environmental impact of brine effluents on Gulf of California* (Thompson, D. A., Mead, A. R. y J. R. Schreiber, Eds.). US Department of the Interior, Research and Development Progress Report No. 387.
- Vadopalas B., T. W. Pietsch y C. S. Friedman. 2010. The proper name for the geoduck: resurrection of *Panopea generosa* Gould, 1850, from the synonymy of *Panopea generosa* (Conrad, 1849) (Bivalvia: Myoida: Hiatellidae). *Malacologia*, 52(1): 169–173.
- Zwarts, L. y J. Wanink. 1989. Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. *Marine Biology* 100:227-240.