



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

Programa de Estudios de Posgrado

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LAS  
POBLACIONES SUJETAS A PESCA ANTE LAS  
CONDICIONES AMBIENTALES EN EL ALTO GOLFO  
DE CALIFORNIA

TESIS

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

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

Presenta

**Alicia Verónica Camacho Pacheco**

La Paz, Baja California Sur, Noviembre de 2015.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10 horas del día 5 del Mes de noviembre del 2015, 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:

### "EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE LAS POBLACIONES SUJETAS A PESCA ANTE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA"

Presentada por la alumna:

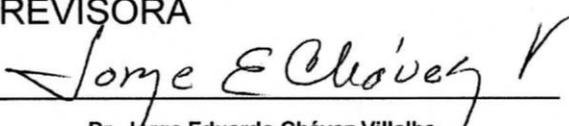
#### Alicia Verónica Camacho Pacheco

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

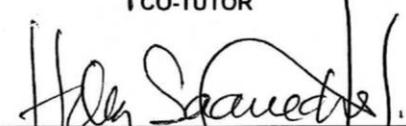
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

#### LA COMISIÓN REVISORA

  
Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega  
DIRECTOR DE TESIS

  
Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba  
CO-TUTOR

  
Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata  
CO-TUTOR

  
Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

**Director de Tesis**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

**Co- Tutor**

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

**Co- Tutor**

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata

Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas

**COMITÉ REVISOR DE TESIS**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata

**JURADO DE EXAMEN DE GRADO**

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba

Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata

**Suplente:**

Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga

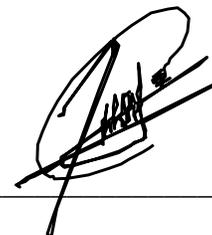
## Resumen

Algunos ecosistemas costeros han sido alterados por factores naturales o antropogénicos. Estas alteraciones generan impactos en el hábitat, en ocasiones de manera temporal y en otras irreversible. Ante estos factores las especies responden de alguna manera, sin embargo, no todas lo hacen igual. Se formuló la hipótesis, especies de ciclo de vida corto, como camarón, responderán de manera inmediata a un cambio ambiental y se reflejará en la abundancia en el mismo año o el siguiente. Sin embargo, en especies más longevas, su abundancia se reflejará en un lapso de tiempo mayor. El objetivo de este estudio fue establecer que las variaciones en la abundancia relativa de las poblaciones de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y almeja de sifón (*Panopea globosa*) en el Alto Golfo de California, se presenta como posible respuesta a los cambios ambientales. Los datos ambientales de Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila a (Clo-a) y datos de marea fueron obtenidos de diferentes fuentes así como también algunos índices ambientales como el Índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI), Series de Tiempo Bivariadas del ENOS (Bivariate ENOS Timeseries, BEST), Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation, PDO), Índice Oceánico del Niño (Oceanic Niño Index, ONI) e Índice Multivariado del ENOS (Multivariate ENSO Index, MEI). Todos los índices se han abreviado con sus siglas en inglés. Además, se obtuvieron datos pesqueros de cada una de las especies a estudiar y se determinó la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de camarón y curvina, en el caso de almeja de sifón se identificaron las clases anuales, todo esto como indicador de abundancia. Posteriormente, se llevaron a cabo los análisis de correlación entre los datos ambientales vs. capturas y CPUE de camarón y curvina, las correlaciones se hicieron con desfases de 0 hasta 5 años de la variable ambiental y se utilizaron promedios de la variable, tanto anuales como del periodo reproductivo de las especies. Al utilizar datos anuales de las variables ambientales se correlacionaron significativamente los índices SOI, BEST, MEI y PDO con las

capturas de camarón, a los 0 y 1 año de desfase, y al utilizar promedios del periodo reproductivo de camarón se encontró correlación a los 0 años con TSM, MEI y PDO. En el caso de curvina, se encontró una correlación significativa con la CPUE utilizando datos anuales del SOI, BEST y MEI. Al utilizar datos de captura vs. variables ambientales del periodo reproductivo de curvina golfinia se encontró una alta correlación significativa con el SOI, BEST, MEI y ONI a los 4 años de desfase. Para el caso de almeja de sifón, se observa que la reproducción de estos organismos se da en pulsos, al igual que los índices; eventos fuertes como El Niño coinciden con clases anuales fuertes de almeja, se obtuvo una correlación significativa de los índices MEI, SOI, BEST y ONI con las clases anuales que estuvieron presentes en El Niño 97/98. Por todo lo anterior, se confirma la hipótesis y concluimos que la abundancia de especies de vida corta como camarón se relacionan con las variables ambientales de tal manera que se ve reflejado en las capturas del mismo año y hasta uno posterior. La abundancia de especies de vida media, como curvina golfinia, se refleja a los 4 años posteriores de un cambio ambiental. Por último, las clases anuales de almeja de sifón se encuentran influenciadas por eventos climáticos intensos como El Niño, lo que tiene como resultado clases anuales fuertes o débiles.

Palabras claves: El Niño, Índices ambientales, Clases anuales, Desfase.

Vo.Bo. Director de Tesis:



---

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega.

## Abstract

Some coastal ecosystems have been altered by natural or anthropogenic factors. These changes generate impacts on habitats, sometimes temporarily and others irreversibly. Species respond to these factors, however, not all of them do it in the same manner. It has been hypothesized that species of short life cycle, such as shrimp, respond immediately to an environmental change, and it will be reflected in its abundance in the same year or the next. However, in long-life species, their abundance is reflected in a longer time span. The objective of this study was to establish that variations in the relative abundance of blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*), gulf corvina (*Cynoscion othonopterus*), and Cortes geoduck (*Panopea globosa*) populations in the Upper Gulf of California appear to be a possible response to environmental changes. Environmental data of sea surface temperature (SST), chlorophyll *a* (Clo-*a*) and tide data were obtained from different sources, as well as some climate indices such as Southern Oscillation Index (SOI), Bivariate ENOS Timeseries (BEST), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Oceanic Niño Index (ONI), and Multivariate ENSO Index (MEI). Moreover, fishery data were obtained from each of the species of study, and the Catch Per Unit of Effort (CPUE) of shrimp and gulf corvina, was determined; in the case of Cortes geoduck, year classes were identified; all of these factors were considered as indicators of abundance. Subsequently, the correlation analyses between environmental data vs. catches and CPUE of shrimp and corvina were performed; correlations were made with lags of 0-5 years of environmental variables, and the average variable was used, both for annual and reproductive periods of the species. While using annual data on environmental variables the indices SOI, BEST, MEI, and PDO correlated significantly with shrimp catches from 0 to 1 year lag: whereas averages of shrimp reproductive period, the correlation was found at 0 years with TSM, MEI, and PDO. In the case of gulf corvina, a significant

correlation was found with CPUE using annual data of SOI, BEST, and MEI. Using data from capture vs. environmental variables of the reproductive period of the gulf corvina were found at year 4 with a high significant correlation with SOI, BEST, MEI, and ONI. In the case of the Cortes geoduck, it was observed that the reproduction of these organisms is given in pulses same as with indexes; strong events such as El Niño coincide with strong year-classes of geoduck, obtaining a significant correlation between the indices MEI, SOI, BEST and ONI with the year-classes that were present in El Niño 97/98. The previous information confirms the hypothesis and concludes that species abundance of short-life species as shrimp are related with environmental variables, which reflected in the same year catches and up to one year later. Species abundance of half-life, as the gulf corvina, is reflected in the 4 subsequent years of an environmental change. Finally, the year-classes of the Cortes geoduck are influenced by intense weather events such as El Niño, resulting in strong or weak year-classes.

**Keywords:** El Niño, climate indices, year classes, lag.

## DEDICATORIA

*A mis padres Daniel Camacho y Esther Pacheco por estar siempre conmigo apoyándome y confiando en mí, pero sobre todo por su amor incondicional.*

*A mis hermanos Omar y Sergio, y mi hermana Karla, una gran mujer, por su apoyo gracias.*

*A mi abuelo José Pacheco que siempre nos ha brindado sus sabias palabras, y mi abuela Laura Alcantar que eternamente estará en mi corazón.*

*A mi tía Guadalupe Jáquez nunca dejaré de agradecerle tanto apoyo que me brindó, es una persona muy importante para mí.*

*A Demetrio Rodríguez por su amor, cariño, comprensión y gran apoyo, muchas gracias.*

*A mi hijo Gael Sebastián, llegaste en el momento justo para ser mi fuerza y motivación, sólo con tu mirada o una sonrisa alegras mi día.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado a través de la beca de maestría (No. 301976).

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría a través de la Dirección de Estudios de Posgrado.

A la Unidad Sonora, Campus Guaymas del CIBNOR, por el apoyo, amistad y compañerismo que me brindaron cada uno de los integrantes que la conforman.

Al Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Director del proyecto “Bases socioeconómicas y biológicas para la explotación sustentable de los recursos pesqueros del Alto Golfo de California” del cual se desprende este documento de tesis. Además de su apoyo y confianza al iniciar esta nueva etapa de mi vida, muchas gracias.

A mis Co-tutores Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata y Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba por su asesoría académica y revisión de mi tesis.

Al M. en C. Edgar Alcántara Razo, técnico titular de Laboratorio de Ecología Aplicada y Pesquerías, gracias por las enseñanzas que me brindaste desde el primer día que llegué a CIBNOR, y por la disposición y sugerencias brindadas hacia mi trabajo de tesis.

Al Dr. Ricardo García Morales por su apoyo en el procesamiento de los índices y material brindado, pero sobre todo por sus acertadas sugerencias que han enriquecido esta tesis.

A mis compañeros de posgrado, Edith, Demetrio, Claudia, Mayra, Fabiola, Michelle, Pablo, Erick, Héctor, Jesús, Nahieli, Gisela y Rolando, por las experiencias que vivimos y por brindarme su apoyo como grupo.

Finalmente, quiero agradecer sobre todo a mi Dios por ser el cimiento en cada paso de mi vida. Sin su bendición no serían posibles mis logros.

## CONTENIDO

	Página
Resumen.....	i
Abstract .....	iii
Dedicatoria .....	v
Agradecimientos .....	vi
Contenido .....	vii
Lista de Figuras .....	x
Lista de Tablas .....	xii
Glosario .....	xiv
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	4
2.1 Características del Golfo de California .....	4
2.2 Variabilidad ambiental .....	5
2.3 Relación ambiente-recurso .....	9
2.3.1 Camarón azul .....	10
2.3.2 Curvina golfina .....	12
2.3.3 Almeja de sifón .....	13
2.4 Descripción biológica de las especies .....	14
2.5 Pesquerías .....	19
3. Justificación .....	22
4. Hipótesis .....	23
5. Objetivos.....	24
6. Materiales y Métodos.....	25
6.1 Área de estudio.....	25
6.2 Obtención de índices ambientales.....	26
6.3 Datos de Temperatura Superficial del Mar .....	27
6.4 Datos de clorofila-a .....	27
6.5 Mareas.....	28
6.5.1 Pleamar, nivel medio y bajamar .....	28
6.5.2 Marea en cuarto lunar .....	29
6.5.3 Patrón de mareas .....	29
6.6 Obtención de datos pesqueros.....	29
6.7 Captura por Unidad de Esfuerzo.....	30
6.8 Ciclos reproductivos .....	30
6.9 Edad de madurez de curvina.....	31
6.10 Análisis de datos.....	31
7. Resultados .....	33
7.1 Ambiental.....	33
7.1.1 Temperatura Superficial del Mar .....	33
7.1.2 Clorofila-a .....	34
7.1.3 Patrón de mareas.....	36

7.1.4	Índices ambientales .....	39
7.2	Índices biológico-pesqueros.....	40
7.2.1	Camarón azul.....	40
7.2.2	Curvina Golfina .....	43
7.2.3	Almeja de sifón .....	46
7.3	Relación especie vs. variable ambiental .....	50
7.3.1	Relación de camarón azul vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales .....	50
7.3.2	Relación de curvina golfina vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales .....	53
7.3.3	Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina vs. marea.....	56
7.3.4	Relación de almeja de sifón vs. índices ambientales .....	59
7.4	Resumen .....	62
8.	Discusión .....	63
8.5	Camarón azul .....	63
8.6	Curvina golfina .....	68
8.7	Almeja de sifón .....	74
9.	Conclusiones .....	77
10.	Recomendaciones .....	78
11.	Literatura citada .....	79
	Anexo I .....	92

## LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Ciclo biológico de camarones Peneidos (tomado de Motoh, 1985).	16
Figura 2	Ubicación geográfica de las zonas de estudio (Golfo de Santa Clara y Puerto Peñasco en Sonora y San Felipe en B.C.).	26
Figura 3	Patrón de mareas del Golfo de Santa Clara, para el mes de marzo de 2013 señalando la pleamar, bajamar y nivel medio (N.M).	28
Figura 4	Patrón estacional de Temperatura Superficial del Mar (TSM) de 1990-2013 en el Golfo de Santa Clara.	33
Figura 5	Variación anual de la Temperatura Superficial del Mar del Golfo de Santa Clara en el periodo de 1990-2013.	34
Figura 6	Patrón estacional de clorofila <i>a</i> (Clo- <i>a</i> ) de 2003-2013 en el Golfo de Santa Clara.	35
Figura 7	Variación anual de clorofila <i>a</i> (Clo- <i>a</i> ) del Golfo de Santa Clara en el periodo de 2003-2013.	35
Figura 8	Patrón de mareas del mes de marzo de los años 1996-2013, para el Golfo de Santa Clara.	37
Figura 9	Patrón de mareas del mes de abril de los años 1996-2013, para el Golfo de Santa Clara.	38
Figura 10	Índices ambientales de enero de 1980 a diciembre de 2013. Índice de Oscilación del Sur (SOI), Series de Tiempo Bivariadas del ENOS (BEST), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), Índice Oceánico de El Niño (ONI) e Índice Multivariado del ENOS (MEI) 1980-2013.	39
Figura 11	Captura (a) y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (b) estacionales de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ) en el Golfo de Santa Clara durante 2009-2013.	40
Figura 12	Comportamiento de la captura (a) y la Captura por Unidad de Esfuerzo (b) de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ) en el Golfo de Santa Clara en el periodo 1991-2013.	41
Figura 13	Porcentaje mensual de hembras maduras de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ) en el Golfo de Santa Clara (Aragón-Noriega, 2007).	42
Figura 14	Promedio de capturas mensuales de 1991-2013 de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) en el Golfo de Santa Clara.	43
Figura 15	Capturas (a) y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (b) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) en el Golfo de Santa Clara durante el periodo 1991-2013.	44

Figura 16	Curva de madurez de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ), generada con la ecuación de Gherard <i>et al.</i> (2013).	45
Figura 17	Índice gonadosomático de la curvina golfina, ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) del Alto Golfo de California durante 1998. Tomado de Román-Rodríguez (2000).	46
Figura 18	Distribución de estructura de edad de almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ), señalando los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) en Puerto Peñasco, Sonora (Pérez-Valencia, 2013).	47
Figura 19	Distribución de estructura de edad de almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ), señalando los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) en San Felipe, Baja California (Pérez-Valencia, 2013).	48
Figura 20	Distribución de frecuencia de madurez de almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ) (Calderón-Aguilera <i>et al.</i> , 2010).	49
Figura 21	Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. a) pleamar, b) nivel medio y c) bajamar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.	57
Figura 22	Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. marea en cuarto lunar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.	58
Figura 23	Distribución de frecuencia de edad de almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ) de Puerto Peñasco vs. índices ambientales (Pérez-Valencia, 2013).	60

## LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla I	Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos anuales. El * indica que no se encontró correlación significativa, $r$ es la correlación y $p$ es la significancia de la correlación.	51
Tabla II	Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos del periodo reproductivo de camarón azul. El * indica que no se encontró correlación significativa, $r$ es la correlación y $p$ es la significancia de la correlación.	52
Tabla III	Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos anuales. El * indica que no se encontró correlación significativa, $r$ es la correlación y $p$ es la significancia de la correlación.	54
Tabla IV	Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos del periodo reproductivo de curvina golfina. El * indica que no se encontró correlación significativa, $r$ es la correlación y $p$ es la significancia de la correlación.	55
Tabla V	Correlación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. marea. a) CPUE-pleamar b) CPUE-nivel medio c) CPUE- bajamar.	58
Tabla VI	Correlación de la relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) vs. marea en cuarto lunar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.	59
Tabla VII	Correlación de la frecuencia de almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ) en Puerto Peñasco con los índices ambientales. Utilizando la frecuencia total, la de 2 a 11 años y la de 12 a 21 años. En negrita las que presentaron correlación significativa.	61

Tabla VIII	Influencia de Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila- <i>a</i> (Clo- <i>a</i> ) e índices ambientales en la abundancia de camarón azul ( <i>Litopenaeus stylirostris</i> ), curvina golfina ( <i>Cynoscion othonopterus</i> ) y almeja de sifón ( <i>Panopea globosa</i> ).	62
------------	---	----

## GLOSARIO

**AGC:** Alto Golfo de California, es una reserva natural protegida por el gobierno de México. Se encuentra entre los estados de Sonora y Baja California.

**Bajamar:** Nivel mínimo alcanzado por una marea vaciante en un día cualquiera.

**BEST:** Bivariate ENOS Timeseries, por sus siglas en inglés. Es un índice climático utilizado para medir la intensidad del evento de El Niño, combina los valores del SOI con los registros de SST en la región de El Niño 3.4.

**Clase anual:** Es la cantidad de nuevos individuos que cada año se reclutan o se integran a la población, también es llamada nueva cohorte.

**Clo-a:** Son una familia de pigmentos de color verde que se encuentran en la cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células (plantas y diversos grupos de protistas).

**Desfase:** Tiempo que se recorre una variable con respecto a otra en un determinado periodo.

**ENOS:** El Niño Oscilación del Sur, es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical con la atmósfera circundante.

**GC:** Golfo de California, es una extensión del océano Pacífico y se ubica entre la península de California y los estados de Sonora y Sinaloa, al noroeste de México.

**Marea:** El ascenso y descenso rítmico y alterado de la superficie del océano (o nivel del agua) y de los cuerpos de agua conectados con el océano, tales como: estuarios, golfos y canales, que ocurren dos veces al día sobre la mayor parte de la Tierra. Resulta de la atracción gravitacional de la Luna y en menor grado de la del Sol, actuando desigualmente sobre partes diferentes de la Tierra en rotación.

**MEI:** Índice Multivariado del ENSO, por sus siglas en inglés. Es un índice climático utilizado para medir la intensidad del evento de El Niño, incluye seis variables observadas en el Pacífico Tropical: presión del nivel del mar zonal y meridional, viento en la superficie, TSM, temperatura del aire en superficie y fracción de nubosidad total del cielo.

**Nivel medio de la marea:** Plano equidistante entre la altura media de las pleamares y la altura media de las bajamares, durante un largo periodo de observaciones. Tiende a confundirse con el nivel medio del mar, pero no coinciden.

**ONI:** Índice Oceánico de El Niño, por sus siglas en inglés. Es un índice climático utilizado para medir la intensidad del evento de El Niño, representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano Pacífico.

**PDO:** Oscilación Decadal del Pacífico, por sus siglas en inglés. Es un índice climático utilizado para medir la intensidad del evento de El Niño, se compone de las anomalías anuales y mensuales de TSM en el Pacífico Norte.

**Pleamar:** Nivel máximo alcanzado por una marea creciente. Este nivel puede ser efecto exclusivo de mareas periódicas que pueden sumarse a éstas los efectos de condiciones meteorológicas prevalecientes.

**SOI:** Índice de Oscilación del Sur, por sus siglas en inglés. Es un índice climático utilizado para medir la intensidad del evento de El Niño, contiene datos estandarizados de la variabilidad de la presión atmosférica entre Tahití y Darwin.

**TSM:** Temperatura Superficial del Mar es la temperatura en la superficie.

## 1. INTRODUCCIÓN

Algunos ecosistemas costeros han sido alterados por factores naturales o antropogénicos, entre ellos cambios en temperatura, salinidad, productividad primaria, precipitación o aportes continentales y evaporación (Valdez-Muñoz, 2010; Espino-Barr, 2000). Estas alteraciones generan impactos en el hábitat, en ocasiones de manera temporal y en otras irreversible. Un ejemplo de cambio permanente es el ecosistema marino del Alto Golfo de California (AGC). Esta zona presenta características particulares como gran diversidad biológica y alto grado de endemismo.

El AGC ha sido severamente modificado a consecuencia de la actividad humana por la retención del agua del Río Colorado y por sobrepesca. Como consecuencia ha incrementado la salinidad y se ha visto disminuida la abundancia de especies de importancia biológica como la vaquita marina (*Phocoena sinus*, Norris y McFarland, 1958), o de importancia comercial como totoaba (*Totoaba macdonaldi* Gilbert, 1890), camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*, Stimpson, 1871) y camarón café (*Penaeus californiensis*, Holmes 1900), curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*, Jordan y Gilbert, 1882), chano norteño (*Micropogonias megalops*, Gilbert, 1890) y sierra (*Scomberomorus sierra*, Jordan y Starks, 1895) (Valdez-Muñoz *et al.*, 2010).

Especies con distintos ciclos de vida responden de manera distinta ante cambios en las condiciones ambientales; estas afectaciones se reflejan fundamentalmente en la magnitud del reclutamiento biológico (Longhurst, 2002). Es de esperarse que en una especie con ciclo de vida corto exhiba en su abundancia una respuesta en un corto periodo si se presenta un cambio ambiental. Sin embargo, para una especie de ciclo de vida largo el cambio en su abundancia se reflejará en un mayor lapso de tiempo. Cuando el ambiente afecta el reclutamiento en especies con ciclo de vida largo, debido a la existencia de organismos de diferentes clases

de edad el número de reclutas afectados es relativamente menor que en el caso de una especie con sólo una clase anual.

De las muchas especies que habitan en el AGC, tres permiten ejemplificar el efecto de cambios ambientales. El camarón azul tiene un ciclo de vida corto; la curvina golfina es de ciclo de vida mediano; y la almeja de sifón (*Panopea globosa*, Dall, 1898) es de ciclo de vida largo.

El camarón azul es muy susceptible a los cambios ambientales. Aragón-Noriega (2000) menciona que los factores ambientales afectan su abundancia y que el grado de influencia varía de acuerdo con la etapa de desarrollo. Puede vivir hasta dos años, por lo que ante un cambio ambiental drástico mostrará variabilidad en su abundancia en el mismo año o un año posterior. La curvina golfina tiene un ciclo de vida medio, ya que puede llegar a vivir hasta ocho años (Gherard *et al.*, 2013). Para esta especie se conoce poco sobre su relación con el ambiente. Los organismos llegan al AGC con las mareas vivas durante cuatro meses con la finalidad de desovar. La almeja de sifón es una especie que puede vivir más de 100 años. Para esta especie, en la costa de Sonora, un evento climático importante que muestra un efecto sobre su crecimiento es El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Cruz-Vásquez, 2012).

Aunque muchas variables ambientales tienen relación con las especies, en este trabajo se estudiaron sólo la Temperatura Superficial del Mar (TSM), la clorofila *a* (Clo-*a*) y las mareas como las más representativas. La TSM comúnmente influye en la biología de los organismos; la Clo-*a* tiene una fuerte influencia directa o indirecta en la alimentación de todas las especies ya que representa la entrada de energía al ecosistema; la marea es de singular importancia en el ecosistema marino del AGC (Hiriart-Le-Bert, 2009), ya que gracias a las fluctuaciones de marea se genera mayor productividad primaria, además de ser el precursor de las migraciones que realizan algunas especies como la curvina en el AGC.

En el caso del estudio del fenómeno El Niño, algunas variables ambientales se pueden agrupar para construir índices ambientales que incluyen, por ejemplo: la

presión atmosférica, el patrón de los vientos y la temperatura. En el presente trabajo se llevó a cabo un análisis de la posible relación que tienen las tres especies arriba mencionadas con los siguientes índices ambientales: Índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI), series de tiempo bivariadas del ENOS (Bivariate ENOS Timeseries, BEST), Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation, PDO), Índice Oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI) e Índice Multivariado del ENOS (Multivariate ENSO Index, MEI) todos por sus siglas en inglés.

Generalmente los índices datan de 1948 a la fecha, lo cual es favorable al trabajar con organismos muy longevos como la almeja de sifón.

En el presente estudio se investigó el efecto de las condiciones ambientales en tres especies (camarón azul, curvina golfina y almeja de sifón) del Alto Golfo de California con longevidades contrastantes. Se partió de la premisa de que una clase anual débil deberá ser producto de condiciones ambientales desfavorables y una clase anual fuerte debió generarse en condiciones ambientales favorables.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Características del Alto Golfo de California

El Golfo de California (GC) es un mar marginal que tiene comunicación con el Océano Pacífico a través de una boca de 222 km de ancho. Tiene una longitud de aproximadamente 1,203 km y anchura media de 92 km. En su extremo norte se encuentra la desembocadura del Río Colorado (Roden y Emilsson, 1979; Zavala *et al.*, 2005). La forma de embudo del Golfo de California y la pendiente gradual del fondo marino en el extremo norte, crea extensas zonas intermareales de hasta cinco kilómetros de ancho y amplitud de mareas de hasta nueve metros, las cuales provocan intensa mezcla vertical (Reyes y Lavín, 1997; Sullivan y Bustamante, 1999). El extremo norte del GC conocido como Alto Golfo de California (AGC), está delimitado desde el delta del Río Colorado hasta Bahía San Francisquito, en Baja California y el extremo sur de Isla Tiburón, en Sonora (Brusca *et al.*, 2005). El AGC se caracteriza por presentar salinidad superficial alta que varía entre 34.8 ups hasta 36 ups en el sur y TSM que oscila de 10 °C a 32 °C en invierno y verano respectivamente (Sverdrup, 1941).

En el AGC se encuentra la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (RBAGCDRC) decretada en junio de 1993 (Diario Oficial, 1993). Esta reserva se ubica entre los paralelos 31°00' - 32°10' de latitud Norte y 113°30' - 115°15' de longitud Oeste y posee una superficie de 934 mil 756 hectáreas. La declaratoria como Reserva de la Biosfera fue debido a que es un área trascendente en la reproducción, crianza y desarrollo de especies, tanto de importancia para la conservación (vaquita y totoaba), como de importancia económica como el camarón y especies de escama (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Aragón-Noriega, 2000; Cisneros-Mata *et al.*, 1995).

## 2.2 Variabilidad ambiental

Actualmente, muchos ecosistemas han sido alterados a consecuencia del crecimiento poblacional y desarrollo urbano. El AGC no es la excepción a pesar de estar decretado como Reserva. En la actualidad, el delta está totalmente expuesto a fuerzas hidrodinámicas. La intervención humana en las cuencas hidrológicas alta y baja del Río Colorado virtualmente ha eliminado las descargas de agua y suministros de sedimentos a la boca y delta del río (Carriquiry y Sánchez, 1999), generando cambios en la dinámica y en general en el sistema ecológico de la región.

Durante los primeros años del siglo pasado, los flujos primaverales del Río Colorado provocaban un incremento significativo en la reproducción y crianza de la biota marina. Con la gran disminución del flujo del río, sus periodos espaciados, las altas tasas de evaporación y baja precipitación, generaron características anti-estuarinas (Álvarez-Borrogo y Galindo-Bect, 1974).

En las últimas décadas el estudio de la variabilidad climática y sus efectos sobre los recursos naturales ha tomado cada vez mayor importancia. Se han desarrollado tecnologías que facilitan el monitoreo de los ecosistemas, como ha sido la oceanografía por satélite que inició a finales de la década de 1970. El Océano Pacífico fue de las primeras regiones en ser estudiadas con esta herramienta. Con estas herramientas no sólo se han identificado procesos físicos de mesoescala como altas concentraciones de biomasa fitoplanctónica en las zonas de surgencias, sino procesos interanuales como el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Longhurst *et al.*, 1995; Pérez-Arvizu, 2013).

El ENOS es de gran importancia por su impacto en el clima y por ende en los recursos naturales. Es una fluctuación interanual en el Pacífico tropical-subtropical que afecta globalmente al sistema océano-atmósfera y se manifiesta en las costas americanas como un calentamiento (El Niño) o enfriamiento (La Niña) anormal de sus aguas. Presenta una periodicidad no regular de entre dos y siete años en

variables físicas (Fiedler, 2002), y de cinco años en variables biológicas de la costa del Pacífico nororiental (Lluch-Belda *et al.*, 2005). Para una mayor comprensión de cómo se desarrollan los eventos ENOS a lo largo del Océano Pacífico Ecuatorial, se han definido cuatro regiones de acción. De Oeste a Este las regiones son: El Niño 4, El Niño 3, El Niño 3.4 y El Niño 1+2. Las regiones 4 y 3 se encuentran ubicadas en el lado occidental del Pacífico. La región 3.4 es una subregión comprendida entre El Niño 4 y 3 y representa un buen indicador de la correlación entre TSM y el IOS. La región 1+2 abarca las costas de Perú, Ecuador e Islas Galápagos (INOCAR, 2014). Para estas regiones existen varios índices que evalúan la intensidad del fenómeno, entre éstos: SOI, BEST, PDO, ONI y MEI.

El Índice de Oscilación del Sur (SOI) contiene datos estandarizados de la variabilidad de la presión atmosférica entre Tahití y Darwin (NOAA, 2014). Este índice es una medida de las fluctuaciones a gran escala en la presión del aire que se produce entre el Pacífico Tropical Occidental y Oriental (es decir, el estado de la Oscilación del Sur) durante los episodios El Niño y La Niña. La fase negativa del SOI representa la presión del aire debajo de lo normal en Tahití y por encima de lo normal en Darwin. Periodos prolongados de valores negativos (positivos) del SOI coinciden con aguas cálidas (frías) anormales en todo el Pacífico Oriental Tropical, típico de los episodios de El Niño (La Niña).

El índice BEST (Bivariate ENSO Timeseries) fue diseñado para proveer una serie histórica larga de los eventos ENOS. Combinando los valores del SOI con los registros de SST en la región de El Niño 3.4 se integran los procesos atmosféricos y oceánicos en un sólo indicador (NOAA, 2014).

El índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) es definido como el principal componente en las anomalías anuales y mensuales de TSM en el Pacífico Norte (al norte de los 20°N) (Mantua y Hare, 2002), teniendo cambios de fases negativas a fases positivas con duración de 20 a 30 años aproximadamente. En paralelo con el fenómeno ENOS, las fases extremas del PDO se han clasificado ya sea en

caliente o frío, según la definición de anomalías de la temperatura del océano en el noroeste y el Océano Pacífico Tropical. Cuando la TSM tiene anomalías frías en el Pacífico Norte y cálidas en la costa del Pacífico, y cuando la presión del nivel del mar es inferior a la media en el Pacífico Norte, el PDO tiene un valor positivo. Cuando los patrones de anomalías del clima se invierten mostrando anomalías de TSM cálidas a lo largo de la costa de América del Norte y TSM frías en la costa del Pacífico, o por encima de la presión promedio del nivel del mar en el Pacífico Norte, el PDO tiene un valor negativo (NOAA, 2014).

El Índice Oceánico de El Niño (ONI) representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano Pacífico (NOAA, 2014). La temperatura superficial del océano que se registra en la región El Niño 3.4 es de las más importantes para medir el fenómeno climático. Se compone de tres fases: El Niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a  $+0.5$  °C durante tres meses continuos; la Niña, caracterizada por valores negativos del ONI menores o iguales a  $-0.5$  °C, durante tres meses continuos; y la fase Neutra que presenta valores del ONI entre  $-0.5$  °C y  $+0.5$  °C.

Por último, el Índice Multivariado ENOS (MEI) representa los componentes principales de seis variables observadas en el Pacífico Tropical: presión del nivel del mar zonal y meridional, viento en la superficie, TSM, temperatura del aire en superficie y fracción de nubosidad total del cielo. Los valores positivos/negativos del MEI representan la fase caliente/fría o El Niño/La Niña (Wolter y Timlin, 1998).

A continuación se mencionan algunas investigaciones importantes referentes a la variabilidad ambiental del Golfo de California y en particular del AGC:

Bernstein (1982) fue de los primeros en validar datos de TSM obtenidos por radiómetros avanzados de muy alta resolución y compararlos con datos *in situ* medidos por barcos y boyas. Esto permitió un mejor entendimiento de la variabilidad del clima oceánico a escala regional y global. La variabilidad estacional de la TSM es dominada ampliamente por el ciclo anual con amplitudes

aumentando al interior del Golfo de California, mientras que sus valores mínimos se presentan en la región de las grandes islas y la zona norte asociados a la fuerte mezcla vertical. Los valores mínimos de TSM ( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se presentan en enero y febrero, y los máximos ( $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en agosto-septiembre (Sverdrup, 1941; Robinson, 1973; Soto-Mardones *et al.*, 1999). Gaxiola-Castro *et al.* (2008) mencionan que la alta productividad primaria en el golfo se presenta en invierno y primavera. Está asociada con dos procesos físicos: forzamiento del viento en invierno paralelo a la costa induciendo surgencias y enriquecimiento de aguas superficiales en el margen continental (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), y mezcla por marea en la región de las grandes islas que induce la formación de filamentos de agua superficial relativamente fría y rica en nutrientes.

Santamaría del Ángel *et al.* (1994) realizaron una regionalización del Golfo de California utilizando imágenes de clorofilas a través del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) y concluyeron que en la mayor parte, principalmente en el norte, durante el invierno las concentraciones de pigmentos son altas como respuesta al proceso de surgencias y en la entrada (al sur de los  $25^{\circ}\text{N}$ ) reportaron concentraciones bajas. Reportaron altas concentraciones para la región de las islas Ángel de la Guarda y Tiburón, en la parte superior del golfo cerca de la boca del Río Colorado y en un estrecho de la costa continental. También se apreció una variación estacional de clorofila, con máximo entre noviembre-mayo (invierno) y mínimo en junio-octubre (verano). La diferencia en concentración de clorofila a lo largo del Golfo fue muy marcada en las dos estaciones climáticas, registrándose en invierno valores  $>10\text{ mg m}^{-3}$  y en verano  $<0.1\text{ mg m}^{-3}$ . Kahru *et al.* (2004), en escala de días, considerando una serie de tiempo de seis años de 1997 a 2003 de imágenes de sensores de OCTS (Ocean Color Temperature Scanner), Sea WiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) calcularon la productividad primaria neta con el Modelo de Producción Vertical Generalizado (VGPM, por sus siglas en inglés). Concluyeron que la clorofila estaba dominada por una señal anual en casi todo el Golfo de

California, a excepción de la región de las grandes islas, donde dominaba una señal semi-anual. La variabilidad anual fue dominante en el periodo 1997-1998 por El Niño, seguido de condiciones La Niña. Concluyeron que la producción primaria neta disminuye entre 30 y 40% en la parte sur del Golfo de California, mientras que en la parte central y norte el efecto es menos evidente.

### **2.3 Relación ambiente-recurso**

El ambiente tiene gran influencia tanto en el desarrollo de las operaciones de pesca como en el estado de las poblaciones. Todas las especies tienen condiciones óptimas bajo las cuales pueden desarrollarse mejor, y aun cuando no todas las condiciones del ambiente sean las óptimas, cada población tratará de ubicarse en ambientes con condiciones dentro de límites tolerables que favorezcan su desarrollo. Cambios en alguna de las condiciones, como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, dirección y fuerza de los vientos, corrientes, cantidad y calidad de material orgánico en suspensión, estructura del terreno, etc., pueden alterar positiva o negativamente el tamaño y el balance dinámico de las poblaciones. Los cambios de temperatura pueden tener repercusiones directas en la abundancia y biomasa porque la fisiología de los individuos sufre estrés, lo que los obliga a desplazarse o provoca su muerte (Barange y Perry, 2009).

Las poblaciones están constituidas por individuos de distintas edades. Al agrupar a los individuos de acuerdo con el año de su nacimiento o de acuerdo con el año en que se reclutaron a la población podremos encontrar tantos grupos de edad como años pueda sobrevivir la especie. Así, si por ejemplo para una especie con longevidad o edad máxima es  $t_{\lambda} = 6$  años, es de esperarse que esté constituida hasta por seis grupos de edad, cada uno de los cuales corresponderá a una clase anual. La población está compuesta por una o más clases anuales de forma que así como cada año hay una clase anual que se extingue y desaparece, cada año

aparece una nueva clase anual compuesta por individuos jóvenes. Esta nueva clase anual se verá influenciada por las variables ambientales, si estas le benefician, la clase anual será fuerte, de lo contrario la clase anual será débil, y por consecuencia la abundancia de la especie sería baja.

### **2.3.1 Camarón azul**

En el camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) podemos encontrar hasta dos clases anuales ya que la longevidad de la especie es de menos de dos años. En los dos o menos años de su ciclo de vida los camarones de una población se encuentran a expensas de las variables ambientales, que les influyen en distinto grado dependiendo de la etapa de desarrollo (Aragón-Noriega, 2000). La variable que más ha sido relacionada con el camarón es la temperatura. Robertson *et al.* (1991) establecieron que la temperatura óptima para camarón azul es de 27-29 °C. En condiciones de laboratorio es posible el desove en un rango de 23-29 °C. Aragón-Noriega y Alcántara-Razo (2005) reportaron la influencia de la TSM en el periodo reproductivo del camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*). En su estudio realizado en tres áreas (Puerto Peñasco, Guaymas y Mazatlán), concluyeron que las aguas más calientes y con baja variabilidad ambiental aumentan la frecuencia de la reproducción, y el camarón café llega más pequeño a la talla de madurez. En el caso de camarón azul, Aragón-Noriega (2007), observó que en aguas más cálidas (Mazatlán) el periodo reproductivo fue de siete meses, mientras que en Guaymas y Puerto Peñasco fue de cinco y cuatro meses respectivamente. Su conclusión fue que aguas más cálidas y con menor variabilidad estacional permiten al camarón azul reproducirse por un período de tiempo más prolongado.

Al igual que el camarón, otras especies de ciclo de vida corto exhiben cambios ante las condiciones ambientales. Por ejemplo Chávez-Ortiz y Castro-Ortiz (2008) mencionan que el cambio climático está causando un efecto positivo en la biomasa de sardina en la cuenca del Pacífico oriental. Mencionan además que un

impacto negativo provocado por la intensidad de pesca que obligue a una reducción en el tamaño de la población sería poco probable. Concluyen que la sobreexplotación juega un papel importante para agotar los recursos, pero con mayor frecuencia el papel principal se debe al clima.

Por otro lado, Nevárez-Martínez *et al.* (2008), reportaron que el calamar gigante (longevidad menor a dos años) no está influenciado por la temperatura, pero encontraron una relación directa entre la abundancia de calamar y sardina Monterrey (*Sardinops sagax*) en el Golfo de California. Concluyen que la disminución de calamar en 1997/98 fue provocada por movimiento migratorio de la sardina, presa potencial observando que el calamar se presenta en un amplio intervalo de temperaturas. García-Morales (2012) reporta que cuando la sardina se enfrenta a un cambio brusco de temperatura se desplaza hacia el norte en busca de mejores condiciones. Con relación al calamar, González-Máynez *et al.* (2013) reportaron que la abundancia del calamar gigante es mayor cuando se presentan valores medios de abundancia de sardina Monterrey y valores altos de TSM para el mes de junio de 2005. Concluyen que existe una relación no lineal entre la distribución del calamar gigante y las variables ambientales en el Golfo de California.

Para el camarón azul, Garduño y Calderón (1994) proponen que la TSM es una señal de disponibilidad de alimento en la parte sur del Golfo y especulan que ésta es el detonante del desove porque el camarón azul al igual que otras especies, es migratorio. Ante esto, Aragón-Noriega (2007) reporta que es difícil la asociación de la disponibilidad de alimento con la actividad reproductiva; sin embargo, menciona que la temperatura es un factor de control más importante durante el desove cuando se compara con la disponibilidad de alimento.

### 2.3.2 Curvina golfina

Para curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) no existen muchos estudios que reporten la relación con las variables ambientales. Se conoce que llega al AGC con las mareas altas, con base en lo que los pescadores han observado. Pérez-Arvizu (2009) reportó que en años cuando se registran temperaturas bajas (22.5 a 22.9 °C) en el AGC, la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina tiene notables incrementos. El coeficiente de correlación que él encontró es muy bajo y no es significativo. El mismo autor realizó un análisis de Clo-a vs. CPUE de curvina golfina, donde encontró una alta correlación positiva (0.83); además hizo el desfase de un año, y la correlación aumentó a 0.93. Este estudio se basó en datos para siete años.

En el caso de otros organismos Arias-Olaiz (2007) encontró una relación inversamente proporcional entre el MEI y la CPUE del pez vela (*Istiophorus platypterus*). El autor reporta que a valores del MEI mayores a 1, la CPUE de pez vela disminuyó y para valores menores de -1 la CPUE se incrementó. El pez vela tiene una distribución oceánica, encontrándose en el Océano Pacífico Oriental (OPO) a lo largo de la costa entre México y Ecuador, con un límite norte en el área de la boca del Golfo de California (Urosaki y Bayliff, 1999). Otra especie que se encuentra muy vulnerable ante eventos como El Niño, es el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*). Al igual que el pez vela, este organismo cambió su distribución durante el evento de El Niño 1997/98, desplazándose lejos de la costa del Pacífico mexicano, con las mayores abundancias al oeste y noroeste de las Islas Revillagigedo (López-Sánchez, 2004). Espino-Barr (2000) reportó que en la costa de Colima el evento que más perjudica a la pesca es La Niña debido a que se reduce el acceso del pescador a las especies; por el contrario con el evento El Niño las poblaciones parecen acercarse más a las costas, se hacen más accesibles al pescador y son más vulnerables. Para las especies de peces que estudió (*Lutjanus peru*, *L. guttatus*, *L. argentiventris*, *Caranx caballus*, *C. caninus*, *Anisotremus interruptus* y *Paranthias colonus*), encontró que con los eventos El

Niño las especies estudiadas incrementan su talla y abundancia; en cambio, debido a La Niña disminuye su abundancia y algunas desaparecen de la zona.

Una especie que es muy parecida a curvina golfina es la *Totoaba macdonaldi*, quien también es un pez endémico al Golfo de California, considerado el de mayor tamaño de la familia de los sciánidos. Al igual que la curvina, realiza migraciones anuales, pero de dos tipos: una con el probable objeto de huir de las aguas cálidas durante los meses de verano en las aguas litorales del golfo y las impulsa a refugiarse en aguas más profundas y frías. Otra, la más importante motiva que la especie sea considerada como anádroma lo que hace que cada año se dirija a la desembocadura del Río Colorado para reproducirse (Berdegué, 1955). El mismo autor indicó que el periodo reproductivo de la totoaba inicia a finales de febrero, extendiéndose hasta principios de junio, mientras que Barrera-Guevara (1992) describe un periodo reproductivo de enero a mayo.

### **2.3.3 Almeja de sifón**

Algunos de los pocos estudios que hay de almeja de sifón (*Panopea globosa*) se han enfocado al conocimiento de su ciclo reproductivo. Aragón-Noriega *et al.* (2012) reportaron que el pico reproductivo de *P. globosa* es entre enero y febrero, cuando la TSM se encuentra aproximadamente a los 18 °C. Un estudio comparativo de los ciclos reproductivos de *P. globosa* de México con *P. generosa* de Canadá y *P. zelandica* de Nueva Zelanda, mostró que la temperatura del agua es un factor clave para el éxito reproductivo de las almejas de este género (Arámbula-Pujol *et al.*, 2008). Cruz-Vásquez (2012) menciona que el evento climático más importante que tiene un efecto sobre el crecimiento de la almeja *P. globosa* de la costa de Sonora es El Niño.

La almeja de sifón fue estudiada en el AGC para buscar una asociación de su periodo reproductivo con variables ambientales (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010).

Se encontró que la actividad reproductiva fue provocada por una disminución fuerte de temperatura cuatro meses antes de la máxima capacidad reproductiva. El desarrollo larval coincide con condiciones favorables, como fue predicho por Cushing (1982) en su hipótesis del “Match-Mismatch”.

## **2.4 Descripción biológica de las especies**

### **Camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*)**

Los camarones son artrópodos pertenecientes a la clase Crustácea. Son organismos mandibulados con apéndices birrámeos articulados con dos pares de antenas, branquias, caparazón y de hábitos acuáticos. Poseen un gran potencial reproductivo ya que las hembras pueden desovar hasta un millón de huevecillos (Barnes, 1993).

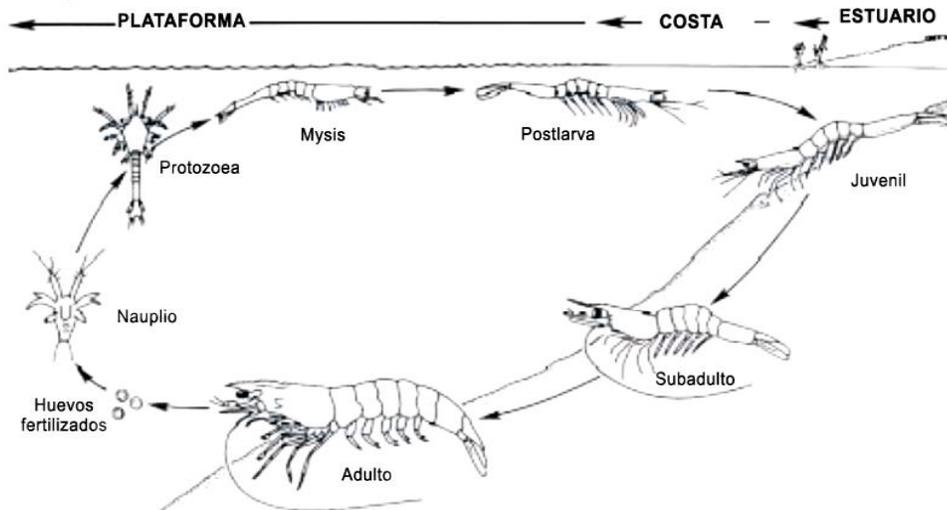
El término camarón incluye varias especies de diferentes familias; en México las más importantes desde el punto de vista comercial son las que pertenecen a la familia Penaeidea (Gracia, 1992). En el Pacífico mexicano se explotan cuatro especies de camarones peneidos, azul (*Litopenaeus stylirostris*), blanco (*L. vannamei*), café (*Farfantepenaeus californiensis*) y cristalino (*F. brevirostris*). En el Alto Golfo de California particularmente, sólo son dos las especies de mayor importancia comercial, el camarón café y el azul; el azul el que más volumen de captura presenta y es la especie objeto del presente estudio.

El camarón azul se distribuye desde Punta Abreojos, Baja California, México hasta Tumbes, Perú. Es la segunda especie de mayor abundancia en la porción central y norte del Golfo de California y la dominante en las lagunas, estuarios y bahías ubicados desde el norte de Mazatlán hasta el delta del Río Colorado (Hendricks, 1996; Pérez-Arvizu, 2009).

Su distribución batimétrica está asociada a la reproducción, de tal forma que se tiene un rango que va desde los ocho hasta los 47 m de profundidad. Para *L. stylirostris* y *F. californiensis* se reporta que conforme el grado de madurez se incrementa, se inicia una separación por profundidad, pasando el camarón azul a ocupar estratos más someros. Por el contrario, el camarón café se mueve a los estratos más profundos (Magallón-Barajas y Jaquemin, 1976; Alcántara-Razo, 2005).

El ciclo biológico del camarón se desarrolla tanto en altamar como en las lagunas litorales. La reproducción ocurre en mar abierto principalmente en primavera y verano. Los machos poseen un par de testículos y almacenan los espermatozoides en una bolsa llamada espermatóforo. En el primer par de patas posteriores o pleópodos tienen un órgano copulador, el petasma, que es una estructura dura y alargada y con la cual transfieren el espermatóforo a la hembra. El aparato reproductor de la hembra está constituido por un par de ovarios comunicado con los poros genitales localizados en la región ventral. Posee además una estructura externa llamada télico, con la que reciben el espermatóforo del macho durante la cópula. Después de cierto tiempo, las hembras expulsan los gametos femeninos y son fecundados por los gametos masculinos alojados en el espermatóforo. Cada hembra libera entre 500 mil y un millón de óvulos (Orbe y Arias, 1987; Pérez-Gastélum, 2002). Al principio los huevos flotan libremente en el agua, pero después descienden al fondo; la división del huevo ocurre inmediatamente y después de pocas horas comienzan a esbozarse los apéndices. Como se muestra en la Figura 1, los estadios básicos del desarrollo del camarón son nauplio, protozoa y misis. El estadio de nauplio comprende de 5 a 6 subestadios, el de protozoa y misis tres. Después del estadio de misis, de aproximadamente 4.3 mm de longitud, el camarón se transforma en una postlarva de 5 mm que emigra a las zonas costeras, en el siguiente estadio, el camarón cambia sus hábitos pelágicos y se conoce como juvenil (Holtzman, 1999). El juvenil se desarrolla en las lagunas costeras y zonas estuarinas someras donde

abundan la vegetación y el detritus con los cuales se alimentan. Cuando los juveniles se convierten en pre-adulto de una talla aproximada de 10 cm, regresan al mar donde alcanzan una talla adulta (aproximadamente 17 cm) y se reproducen (Orbe y Arias, 1987; Pérez-Gastélum, 2002).



**Figura 1.** Ciclo biológico de camarones Peneidos (tomado de Motosh, 1985).

El camarón es de rápido crecimiento y vida corta, el crecimiento es en etapas, pues es un organismo que representa mudas de su caparazón, el cual es secretado por la epidermis y está compuesto por quitina, proteína y carbonato de calcio. El organismo desprende poco a poco el tegumento viejo y finalmente adquiere un mayor tamaño. Este es un periodo muy peligroso, pues puede ser atacado fácilmente por peces o por otros mismos camarones. Algunas horas después de la muda la cutícula se endurece y le vuelve la protección contra los depredadores.

En su etapa pre-adulta, los camarones asociados al fondo marino y es cuando son accesibles a la pesquería. Aproximadamente al año de edad alcanzan la madurez sexual y se reproducen. Pueden llegar a vivir hasta dos años, aunque gran parte de los individuos es capturado al año de edad (Pérez-Gastélum, 2002).

### **Curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*)**

La curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) es una especie endémica al Alto Golfo de California con hábitos demersales y un amplio espectro trófico. Pertenece a la familia de los sciánidos, conocidas comúnmente como curvinas, corvinas o roncadors.

De acuerdo con la literatura alcanza una longitud máxima de 92 cm (Román-Rodríguez, 2000). Es un pez diádromo, que se asocia a fondos arenoso y suaves del Alto Golfo, y depende en gran medida de los ambientes salobres y oligohalinos del Río Colorado para reproducirse (Álvarez de Williams, 1998). Los juveniles se asocian a la zona de marismas, praderas de pastos marinos y zonas rocosas al sur de la zona de crianza. Una de las características principales de esta especie es que realiza un circuito migratorio en el Alto Golfo de California hacia los lugares de desove, en el Delta del Río Colorado (Chao y Musick, 1977). A su llegada, inicia un proceso de maduración y alimentación (Román-Rodríguez, 1990), de tal forma que durante los meses de febrero y abril se observa un gran porcentaje de individuos maduros o madurando. A partir de finales de marzo se observa que la maduración es completada en toda la población, obteniéndose un pico de desove en abril, principalmente en los canales del Delta del Río Colorado. Posteriormente migran hacia el sur por la costa de Baja California, probablemente buscando áreas de protección contra depredadores; los adultos frecuentan aguas más profundas del Alto Golfo de California (Acosta-Valenzuela, 2008).

### **Almeja de sifón (*Panopea globosa*).**

La almeja de sifón *Panopea* spp. es considerada como uno de los bivalvos excavadores más grandes del mundo (Anderson, 1971). Se conoce comúnmente como almeja de sifón, chiluda, trompa de elefante y en inglés es llamada “geoduck”.

El género *Panopea* representa a uno de los más grandes bivalvos que viven enterrados, llega a alcanzar una longitud mayor de 0.25 m de concha y su sifón un metro de longitud (Goodwin y Pease, 1987). Viven enterradas hasta a 1 m de profundidad en sustratos arenosos y fangosos, desde la zona intermareal baja hasta a profundidades de 110 m. Una vez que la almeja se entierra permanece en el mismo lugar hasta 168 años (Bureau *et al.*, 2002). Se consideran entre las especies más longevas, por lo que sus tasas de reclutamiento y mortalidad son presumiblemente bajas (Orensanz *et al.*, 2000).

A nivel mundial se tienen reportadas cinco especies de almeja de sifón. En México se encuentran dos especies, *P. generosa* que se localiza en el Océano Pacífico y *P. globosa* en el Golfo de California. Ambas especies son muy similares, sin embargo, *P. globosa* (Dall, 1898) presenta concha delgada y frágil con forma cuadrática redondeada en ambos extremos, en diferentes intensidades de gris, de claro a oscuro, valvas entre abiertas y presenta seno paleal más amplio que el de *P. generosa* lo que las hace diferenciarse (Keen, 1971).

Como la mayoría de los bivalvos, presenta fecundación externa con siete estadios de vida, siguiendo del huevo fertilizado tres estadios de larva, estadio postlarval, estadio juvenil y adulto (Goodwin y Pease, 1989). El estadio larval en condiciones naturales puede durar aproximadamente entre 40 y 50 días. Después ocurre el asentamiento y las postlarvas permanecen algunas semanas en la superficie del sedimento (Orensanz *et al.*, 2000), mismas que se alimentan de los depósitos superficiales hasta su metamorfosis. Entonces se desarrollan los sifones y los juveniles comienzan a excavar en el sedimento, empezando así su crecimiento

con alimento en suspensión (Orenzans *et al.*, 2000). En las costas del Pacífico noroeste se ha reportado que alcanzan la madurez sexual en tres años cuando los organismos se encuentran en sitios con alimento y temperatura óptima (12-14 °C) (Goodwin y Pease, 1989).

## **2.5 Pesquerías**

Las pesquerías del AGC han evolucionado en cuanto a la captura de especies primero con la totoaba y tiburón, después con el auge del camarón, posteriormente con la curvina y jaiba, y no hasta hace mucho, con almeja de sifón.

Los pescadores del AGC identifican a las pesquerías de camarón azul y curvina golfina como las dos más importantes, la primera por ser la de mayor valor económico, tanto regional, nacional e internacional, y la segunda por el mayor volumen de captura (Rodríguez-Quiroz, 2008).

En el AGC, a mediados de la década de 1940 la explotación de la población de la totoaba era la principal actividad; tras la caída de esta pesquería el esfuerzo de la pesca se dio sobre el camarón (Cisneros-Mata *et al.*, 1995). Las capturas de éste crustáceo pasaron de 690 t en 1930 a 51,766 t en 1980. A finales de la década de 1980 decae la pesca de camarón afectando directamente la economía regional y de las cooperativas, por lo que se tuvieron que encontrar nuevas oportunidades de pesca, particularmente en lo que respecta a la captura de especies de escama. A partir de esta etapa las embarcaciones se adaptaron a las nuevas circunstancias y se empezaron a capturar especies de peces (Valdez-Gardea, 2001) como el chano y la sierra, que no son económicamente atractivas como el camarón, pero que se encuentran en abundancia en la región. Desde entonces, los recursos pesqueros en el AGC soportaron un excesivo esfuerzo pesquero y por lo tanto una constante presión social, debido a su valor en el mercado.

En 1995 la captura de camarón se formalizó por parte del sector de ribera y hasta la fecha se realiza en embarcaciones de fibra de vidrio y con motor fuera de borda, utilizando el arte de pesca autorizado para esta zona. Además, los pescadores empezaron a alternar la pesca deportiva con la comercial durante el año, sobre todo en las comunidades de San Felipe y Puerto Peñasco.

El pescador en el AGC ha experimentado una diversidad de cambios en el modo de pescar durante el tiempo. A partir de la entrada en vigor de la Reserva, algunas modificaciones se han venido realizando en las artes de pesca para hacer la actividad sustentable.

La pesquería de la curvina se efectúa principalmente en las aguas someras de la parte norte del AGC y canales de la desembocadura del Delta del Río Colorado (Acosta-Valenzuela, 2008), área localizada al noroeste de la costa de Sonora y noreste de la costa de Baja California. Su aprovechamiento lo llevan a cabo miembros de la etnia Cucapá y pescadores del Golfo de Santa Clara, San Felipe, y organizaciones pesqueras del Bajo Río Colorado en Baja California y Sonora. Su principal concentración ocurre en la zona núcleo de la RBAGCDRC durante la migración anual para reproducirse.

Durante el periodo de 1917 a 1940, este recurso junto con la totoaba, representó una importante pesquería en el AGC. Paulatinamente, la curvina golfina dejó de migrar al AGC en la década de 1960. Actualmente, en el AGC, dentro de la pesquería de escama marina, la curvina golfina es la segunda especie con mayor producción (Román-Rodríguez, 2000). La producción de este recurso resurgió a partir de 1992, cuando se obtuvo una captura de 3.9 t; en 1994 se capturaron 219.5 t y la producción continuó aumentando de tal manera que para el periodo de 1998 a 2001, la producción osciló entre las 2,889 y 3,748 t. La máxima producción histórica reportada fue en el 2002, con 5,952 t; a partir de ahí, empezó a disminuir hasta las 2,200 t en el año 2005, y en los años subsecuentes volvió a aumentar la producción, en el 2013 hubo una de captura 3,263 t. (Botello *et al.*, 2010; Castro *et al.*, 2013). En el 2014 disminuyó a 2496 t y en el 2015 fue de 1057 t.

La almeja de sifón o *Panopea* spp. se ha convertido en uno de los recursos pesqueros emergentes más rentables del noroeste de México, generando diversos beneficios como son: la producción de alimento, generación de empleo y de divisas por la venta del producto de alto valor comercial. La pesca en México se ha concentrado en dos especies: *Panopea generosa* en la costa del Pacífico de Baja California y *P. globosa* en el Golfo de California, iniciando su pesca comercial en 2002 y en 2007 respectivamente, y desde entonces se ha logrado una producción estimada para ambas especies que ha aumentado de 49 t a 2,000 t anuales para el periodo 2010 a 2012 (Aragón-Noriega *et al.*, 2012). La producción mexicana ha superado los volúmenes de pesca de Washington (Estados Unidos) y Columbia Británica (Canadá), donde se desarrolla esta pesquería desde los años 1970 y 1976 respectivamente. Los ingresos estimados son de 30 a 35 millones dólares americanos, razón por la cual México está a punto de convertirse en un contribuyente importante a la producción mundial de *Panopea* spp. (Aragón-Noriega *et al.*, 2012).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las especies comercialmente explotadas presentan fluctuaciones en las capturas que muchas veces son atribuibles a la presión pesquera. Sin embargo, las condiciones ambientales son las que determinan en gran medida la abundancia de los organismos en sus diferentes estadios, lo cual se refleja en las capturas. Los nuevos individuos que se reclutan o se integran a la población constituyen una nueva clase anual, la cual estará influenciada por condiciones ambientales positivas o negativas ya sea de manera natural o artificial. Por lo tanto los efectos, serán evidentes en un lapso de tiempo relacionado con la longevidad de la especie. A pesar de que se cuenta con diversos estudios sobre la relación de los organismos con el ambiente, es necesario continuar estudiando la respuesta que tienen las especies ante las variables ambientales, sobre todo cuando se refiere a especies de importancia comercial como el camarón azul, la curvina golfina y la almeja de sifón en el Alto Golfo de California. Estas especies presentan distinto ciclo de vida por lo tanto se puede inferir que no reaccionan de la misma manera, esto hace a este estudio interesante para brindar conocimiento del cómo las condiciones ambientales (Temperatura Superficial del Mar [TSM], clorofila *a* [Clo-*a*] e Índices ambientales) de un año podrían afectar las capturas posteriores de cualquiera de las especies. Además este trabajo generará información útil para mejorar las normas establecidas para el manejo pesquero de las especies de importancia económica en el Alto Golfo de California.

#### **4. HIPÓTESIS**

Las especies de ciclo de vida corto, como el camarón, responderán de manera inmediata a un cambio ambiental que se reflejará en la abundancia en el mismo año o el siguiente; en especies más longevas, el efecto en su abundancia se reflejará en un lapso de tiempo mayor.

## 5. OBJETIVOS

### General

Establecer que las variaciones en la abundancia relativa de las poblaciones de camarón azul, curvina golfina y almeja de sifón en el Alto Golfo de California, se presentan como posible respuesta a los cambios ambientales.

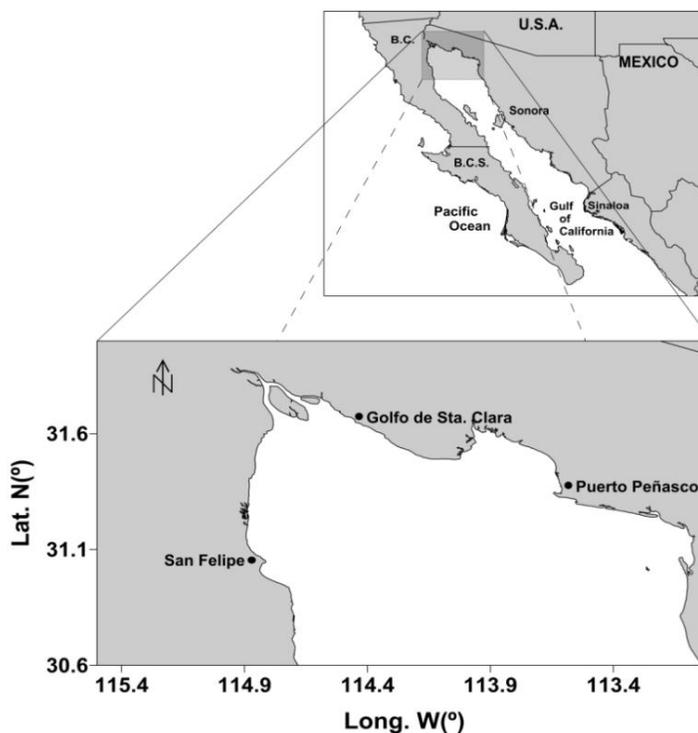
### Específicos

- Analizar la variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*; Clo-*a*).
- Describir presencia e intensidad de fenómenos de El Niño.
- Analizar la variabilidad de índices ambientales.
- Describir el patrón de mareas mensual para el área de estudio.
- Analizar la abundancia relativa de camarón azul, curvina golfina y almeja de sifón en el Alto Golfo de California.
- Relacionar la abundancia relativa de las especies bajo estudio y las variables ambientales.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio.

El Alto Golfo de California posee una forma casi triangular y se ubica entre los 31-32°N y entre los 112-115°W (Figura 2). Al este se encuentra el estado de Sonora y al oeste el estado de Baja California; la costa está conformada por grandes marismas lodosas (Lepley *et al.*, 1975). El clima es más continental que oceánico, existen variaciones diurnas y anuales de temperatura; la influencia de agua dulce por los aportes del Río Colorado se ha reducido por la construcción de grandes presas como la Hoover en Estados Unidos y la Derivadora Morelos en México. A pesar de la precipitación anual media de 60 mm, la tasa de evaporación promedio para el AGC es de 0.9 m año<sup>-1</sup> (Lavín y Organista, 1988). Para el caso del estudio de camarón azul y curvina golfinia se seleccionó el Golfo de Santa Clara como área de estudio. Y para almeja de sifón se seleccionó Puerto Peñasco y San Felipe.



**Figura 2.** Ubicación geográfica de la zona de estudio (Golfo de Santa Clara y Puerto Peñasco en Sonora y San Felipe en B.C.).

## 6.2 Obtención de índices ambientales

Se eligieron algunos índices ambientales con el fin de entender la naturaleza y la intensidad de los impactos sobre las poblaciones de camarón azul, curvina golfina y almeja de sifón. Se obtuvieron datos mensuales de los siguientes índices: índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI), Series de tiempo bivariadas del ENOS (Bivariate ENOS Timeseries, BEST), Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation, PDO), Índice Oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI) e Índice Multivariado del ENOS (Multivariate ENSO Index, MEI), por sus siglas en inglés, para el periodo de 1980-2013. Los datos se encuentran en la página de la NOAA (2014).

Para cada índice se tomaron los promedios mensuales del periodo reproductivo de las especies objeto de estudio (camarón azul de mayo a agosto, curvina golfina de febrero a mayo y almeja de octubre a febrero) así como también los promedios de todo el año.

### **6.3 Datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM)**

Los datos de TSM fueron tomados del COADS (Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set, por sus siglas en inglés), generados y proporcionados por el NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center. La interpolación óptima (OI) del análisis de TSM es producido semanalmente en un cuadro de un grado. El análisis utiliza datos in situ y TSM satelital. El análisis de OI se describe en Reynolds *et al.* (2002). Los datos se obtuvieron para el área de pesca del Golfo de Santa Clara (31.5°N-114.5°W).

### **6.4 Datos de clorofila a (Clo-a)**

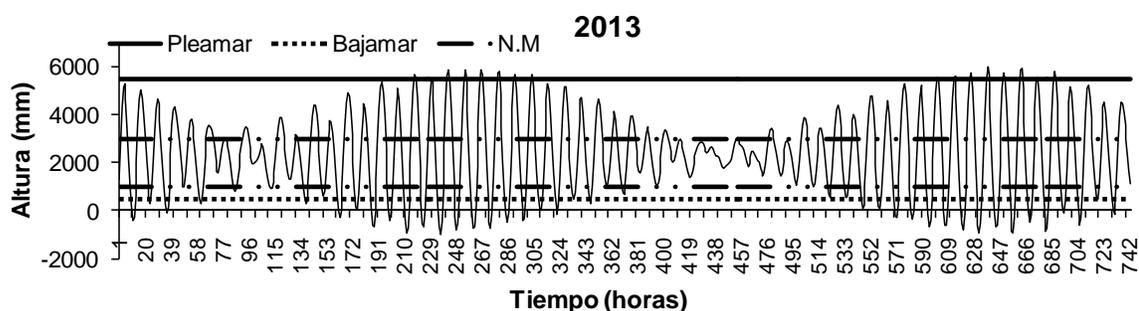
Se caracterizó la variabilidad ambiental del área de pesca del Golfo de Santa Clara utilizando información de Clo-a mediante composiciones mensuales generadas a partir de imágenes satelitales del sensor MODIS-AQUA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), de la página de la NASA (2015), con una resolución espacial de 4 km. La extracción de datos de las imágenes se llevó a cabo mediante el software WIM® (Windows Image Manager). La información obtenida de las imágenes de satélite se analizó en el software Microsoft Office Excel®.

## 6.5 Mareas

Para los datos de las mareas se utilizó el Software MAR V1.0® 2011, propiedad de CICESE, con el cual se extrae la información de las mareas del periodo de estudio. Los datos se extrajeron en periodos de cada hora para 1990-2013, utilizando la bajamar media inferior (BMI) como nivel de referencia. Se llevaron a cabo varios análisis con el fin de encontrar si existía alguna relación entre abundancia y el comportamiento de la marea.

### 6.5.1 Pleamar, nivel medio y bajamar

Se seleccionaron las pleamares (valores mayores de 5500 mm), las bajamares (valores inferiores a 500 mm) y niveles medios (valores entre 3000 y 1000 mm) (Figura 3), de los meses durante los cuales se efectúa la captura de curvina golfina.



**Figura 3.** Patrón de marea del Golfo de Santa Clara para el mes de marzo de 2013 señalando pleamar, bajamar y nivel medio (N.M.).

### **6.5.2 Marea en cuarto lunar**

Se seleccionaron solamente los datos de marea de los tres días anteriores (cuando la luna se encontraba en cuarto menguante o creciente) al primer día de captura de curvina golfina (ver anexo 1).

### **6.5.3 Patrón de mareas**

Con el fin de mostrar el comportamiento de las mareas interanualmente se obtuvo el patrón de marea de los meses de marzo y abril, en este caso a partir de la pesquería consolidada de curvina golfina (1996-2013).

## **6.6 Obtención de datos pesqueros**

La información de las pesquerías ribereñas de camarón azul y curvina golfina para el periodo de 1990-2013, se obtuvo de las bases de datos que se encuentran disponibles en la oficina de pesca, dependiente de CONAPESCA-SAGARPA, localizada en el Golfo de Santa Clara. Se utilizó la captura total en toneladas como indicador indirecto de abundancia relativa (para camarón azul y curvina golfina).

Los datos de almeja de sifón fueron analizados previamente en el trabajo de tesis: "Edad y crecimiento de la almeja de sifón *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California, México" (Pérez-Valencia, 2013). En Puerto Peñasco, Sonora, los muestreos se realizaron al amparo del permiso de pesca 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 pesca de fomento No.04976.220509.1463 de junio de 2009 a mayo de 2010.

## 6.7 Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE)

La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) mensual de camarón azul y curvina golfina se determinó de la siguiente manera:

$$\text{CPUE} = \text{ton/emb/días}$$

Donde:

ton = toneladas

emb = embarcaciones

En el caso de camarón azul fue en el periodo de 2009 al 2013 y para curvina golfina se determinó en los años 2009-2011 y 2013, ya que no se disponía de los datos de días de captura para el año 2012.

También se determinó la CPUE anual mediante la fórmula:

$$\text{Camarón azul} \quad \text{CPUE} = \text{ton/emb}$$

$$\text{Curvina golfina} \quad \text{CPUE} = \text{ton/emb/días}$$

En esta parte la CPUE de camarón azul abarcó el periodo de 1995 al 2013, y el de curvina fue de 1998 al 2013.

## 6.8 Ciclos reproductivos

Los ciclos reproductivos de las tres especies objeto de estudio fueron obtenidas de la literatura científica disponible. Básicamente son estudios realizados durante todo el año, utilizando el índice gonadosomático, análisis macroscópico de gónadas, análisis histológico estándar que en algunos casos incluyó mediciones

de ovocitos. Todo esto con la finalidad de trabajar con el periodo de desove, y tomando datos de las variables ambientales del mismo periodo.

## 6.9 Edad de madurez de curvina golfina

Con el propósito de generar la curva de madurez se utilizó la ecuación de Gherard *et al.* (2013) para obtener los valores de proporción de hembras maduras a diferentes edades, con el objetivo de determinar a qué edad se presenta el 100% de madurez.

$$P_m = \left( 1 + e^{-r \left( A_{Smid} - 2.29 \right)} \right) - 1 \quad (1)$$

Donde:

$P_m$  = proporción madura

$A_{Smid}$  = representa el 50% de la población madura.

$r$  = constante de ajuste

El dato obtenido fue para fundamentar el desfase en los datos de cada una de las variables ambientales, en los análisis de correlación.

## 6.10 Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis de correlación cruzada entre la abundancia de camarón azul y curvina golfina vs. las variables ambientales (TSM, Clo-a e índices

ambientales). Esta parte se realizó en el software PAST® (PAleontological STatistics).

En el caso de las mareas se realizó un análisis de correlación de Pearson ( $p < 0.05$ ), donde se utilizaron los pleamares, bajamares, niveles medios (Figura 3) y los promedios de marea de tres días anteriores al primer día de captura vs. la CPUE de curvina golfina.

Para la almeja de sifón también se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson ( $p < 0.05$ ) en el software Excel® donde se utilizaron las frecuencias de las clases anuales contra los datos de cada uno de los índices.

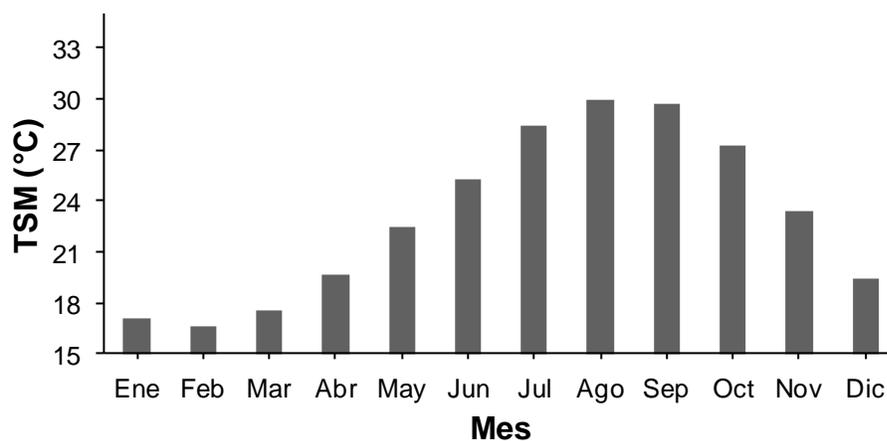
## 7. RESULTADOS

### 7.1 Ambiente

Se describe a continuación el comportamiento anual y estacional de las variables ambientales incluidas dentro del presente estudio: TSM, Clo-a, mareas e Índices ambientales (SOI, BEST, PDO, ONI y MEI).

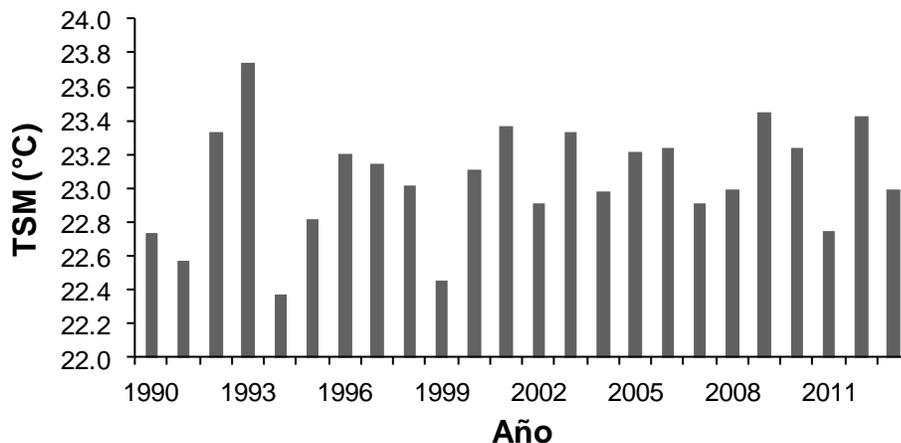
#### 7.1.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

El comportamiento estacional de TSM en el Golfo de Santa Clara tuvo fluctuaciones desde los 16.56 °C en febrero y hasta los 29.9 °C en agosto (Figura 4). En agosto y septiembre se tuvieron las temperaturas más elevadas, dato muy importante para las capturas y reproducción de los organismos.



**Figura 4.** Patrón estacional de Temperatura Superficial del Mar (TSM) de 1990-2013 en el Golfo de Santa Clara.

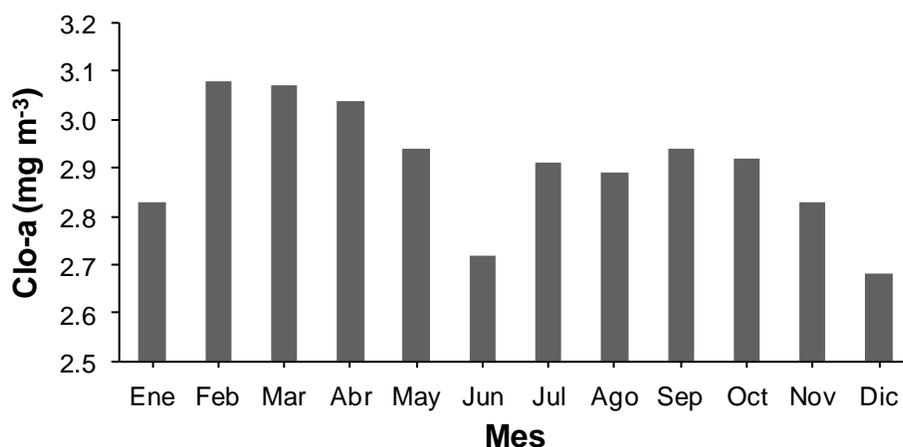
El promedio de la TSM anual para el Golfo de Santa Clara osciló de 22.38 a 23.75 °C (Figura 5). En 1994 se registró la temperatura más baja, el siguiente año fue 1999 con 22.5 °C. La mayor temperatura registrada fue en 1993, siguiendo 2009 y 2012 con 23.4 °C ambos años.



**Figura 5.** Variación anual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del Golfo de Santa Clara en el periodo de 1990-2013.

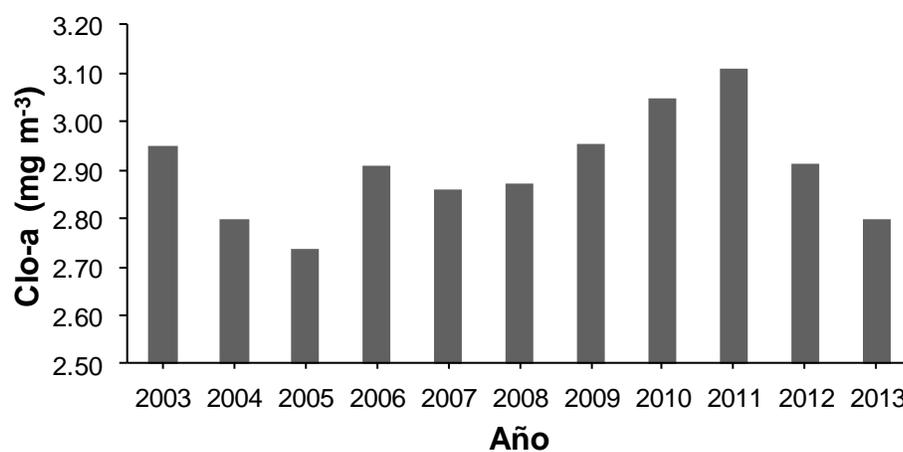
### 7.1.2 Clorofila a (Clo-a)

El comportamiento de los datos de Clo-a presentaron fluctuaciones de 2.6 a 3.1 mg m<sup>3</sup>. En el mes de diciembre se presentaron las menores concentraciones, siguiendo de junio y enero con 2.72 y 2.83 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. Las mayores concentraciones estuvieron presentes en febrero, marzo y abril (Figura 6).



**Figura 6.** Patrón estacional de clorofila *a* (Clo-*a*) de 2003-2013 en el Golfo de Santa Clara.

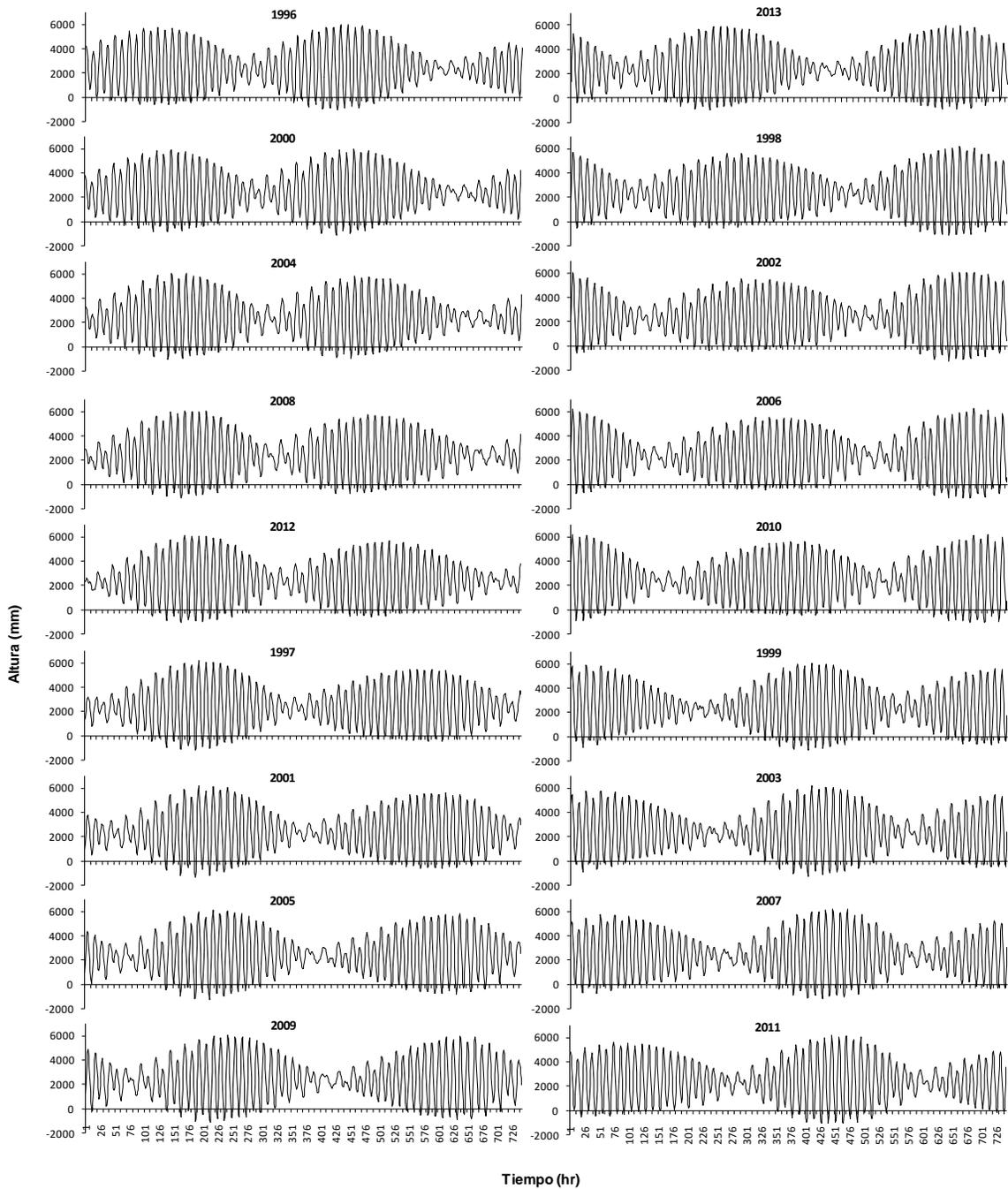
Se muestra la variación anual de Clo-*a* del periodo 2003-2013. En el 2005 se presentaron las menores concentraciones de Clo-*a* con 2.74 mg m<sup>-3</sup>, las mayores fueron en el 2011 con 3.11 mg m<sup>-3</sup> (Figura 7).



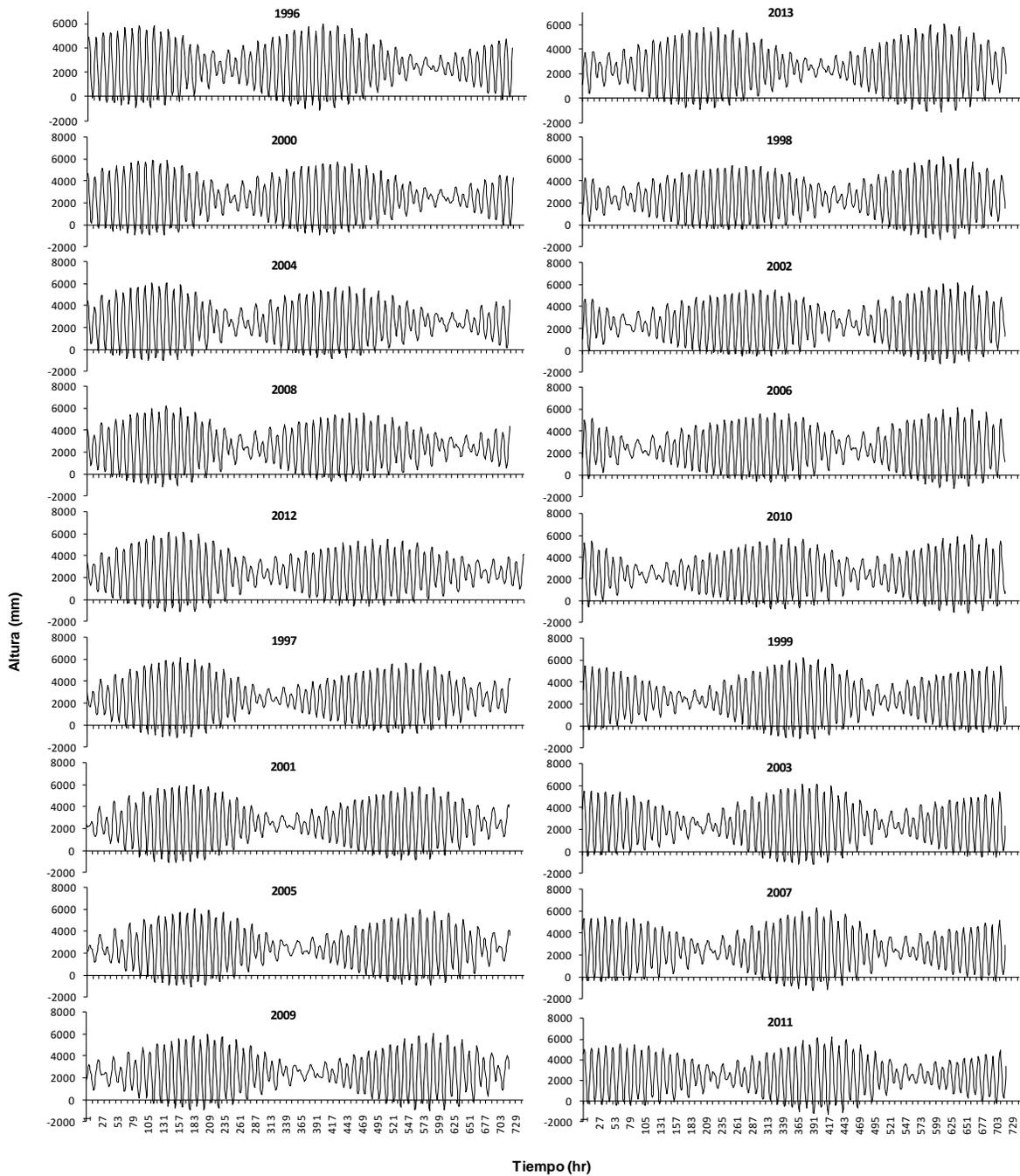
**Figura 7.** Variación anual de clorofila *a* (Clo-*a*) del Golfo de Santa Clara en el periodo de 2003-2013.

### **7.1.3 Patrón de mareas**

Se obtuvo el patrón de mareas para los meses de marzo (Figura 8) y abril (Figura 9) de los años 1996-2013. En ambos casos, la marea presentó un patrón en su comportamiento el cual se observa con un desfase de cada cuatro años.



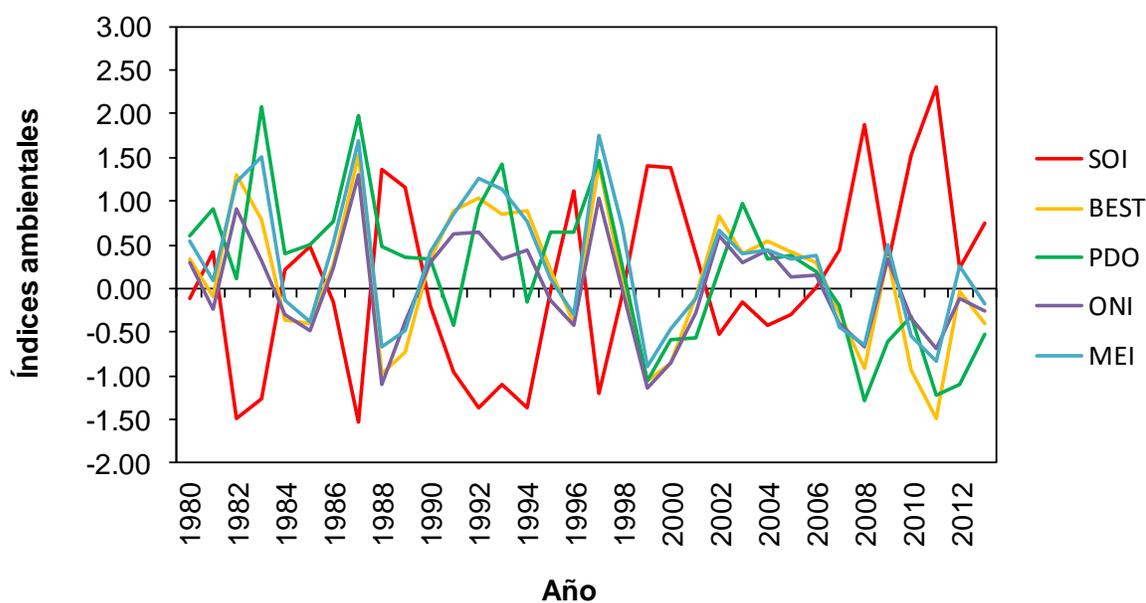
**Figura 8.** Patrón de mareas del mes de marzo de los años 1996-2013, para el Golfo de Santa Clara.



**Figura 9.** Patrón de mareas del mes de abril de los años 1996-2013, para el Golfo de Santa Clara.

### 7.1.4 Índices ambientales

Cada uno de los índices analizados involucra distintas variables; a pesar de ésto, la mayoría presenta la misma tendencia, con excepción del SOI. Cuando el SOI presenta anomalías positivas los demás índices presentan anomalías negativas en diferente magnitud (Figura 10).



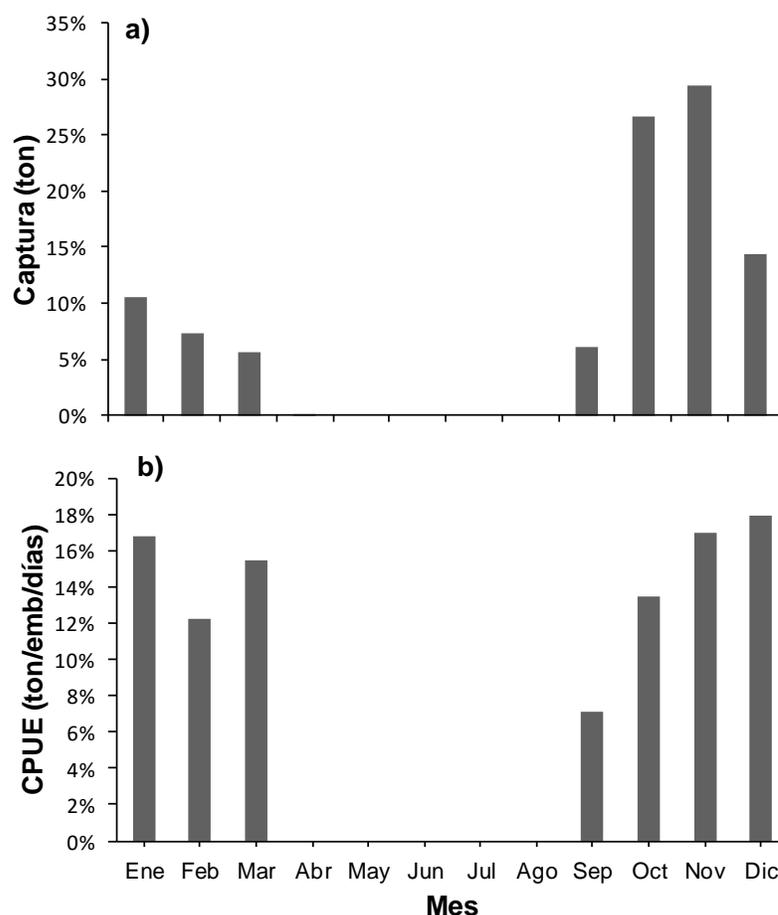
**Figura 10.** Índices ambientales de enero de 1980 a diciembre de 2013. Índice de Oscilación del Sur (SOI), Series de tiempo bivariadas del ENOS (BEST), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), Índice Oceánico de El Niño (ONI) e Índice Multivariado del ENOS (MEI), 1980-2013.

## 7.2 Índices biológico-pesquero

### 7.2.1 Camarón azul

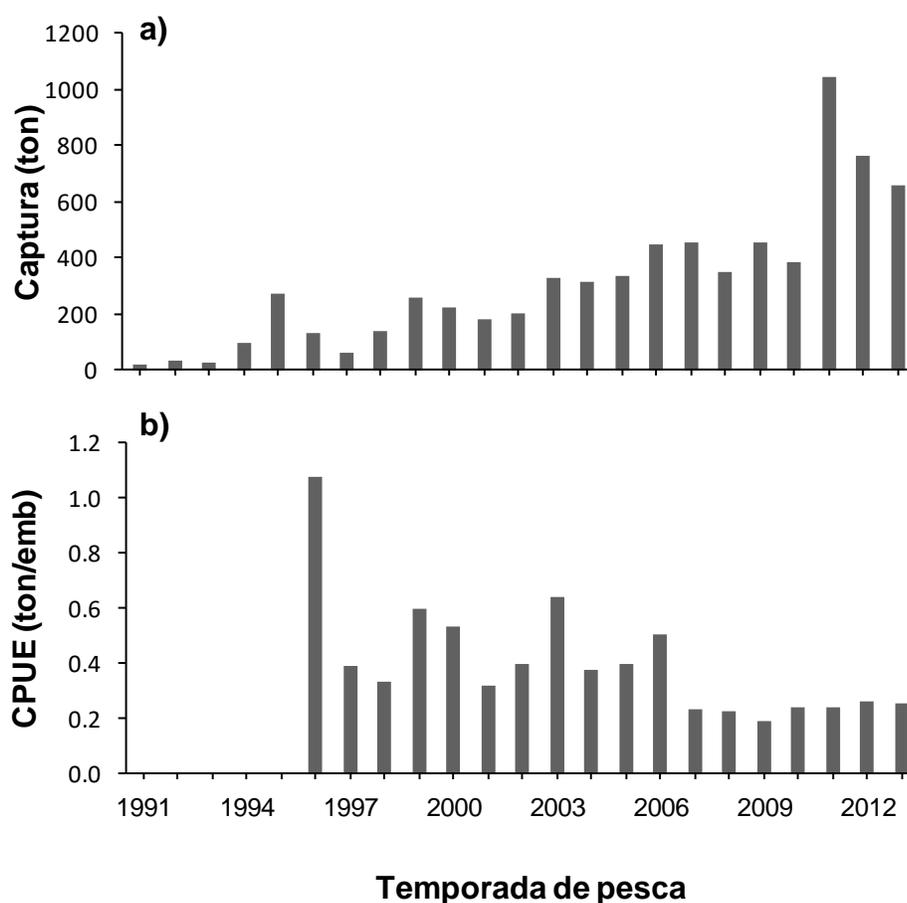
#### Capturas de camarón azul

La pesquería de camarón azul en el Golfo de Santa Clara empieza en septiembre, sin embargo, las mayores capturas del año son en octubre y noviembre con casi el 30%, mientras que marzo y septiembre sólo tienen el 6% (Figura 11a). De abril hasta agosto no hay capturas (Figura 11b) debido a la veda temporal normada en la NOM-002-PESC-1993.



**Figura 11.** Captura (a) y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (b) estacionales de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) en el Golfo de Santa Clara durante 2009-2013.

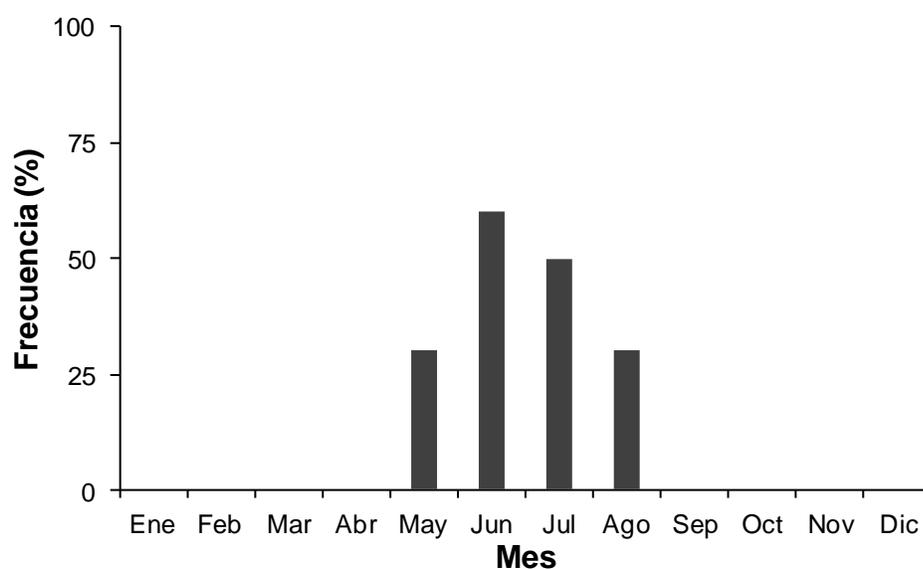
En el Golfo de Santa Clara la pesca de camarón azul ha fluctuado, presentando la mayor captura en la temporada de pesca 2010-11. En los últimos años se han presentado las mayores capturas del periodo de estudio (Figura 12a). El comportamiento de la CPUE es inverso a la captura a lo largo del tiempo, se puede inferir que en 1996 el esfuerzo aplicado a la pesquería fue el más bajo en la historia y a partir del 2007 la CPUE es baja por lo que se infiere que el esfuerzo pesquero aumentó (Figura 12b).



**Figura 12.** Comportamiento de la captura (a) y la Captura por Unidad de Esfuerzo (b) de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) en el Golfo de Santa Clara en el periodo 1991-2013.

### Periodo de madurez de camarón azul

El camarón azul empieza su ciclo reproductivo en mayo con el 30% de hembras maduras, en junio y julio se tiene el mayor porcentaje con el 60 y 50% respectivamente, y en agosto aún se encuentra el 30% de hembras maduras (Figura 13).

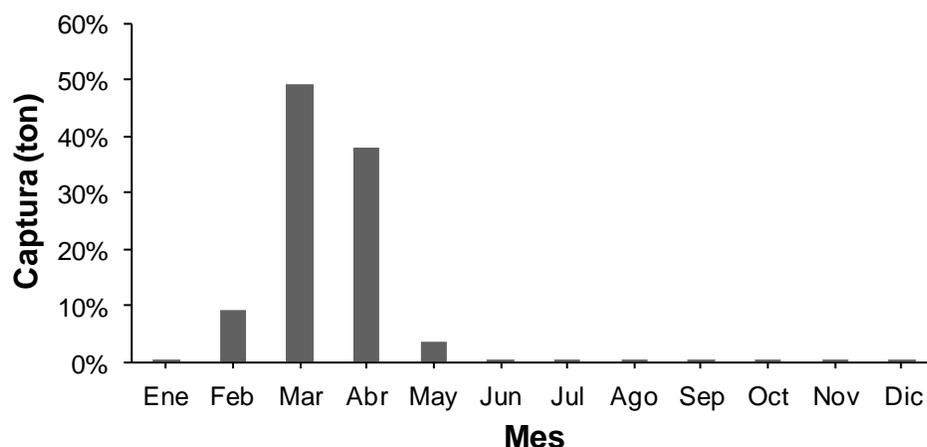


**Figura 13.** Porcentaje mensual de hembras maduras de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) en el Golfo de Santa Clara (Aragón-Noriega, 2007).

## 7.2.2 Curvina golfina

### Capturas de Curvina golfina

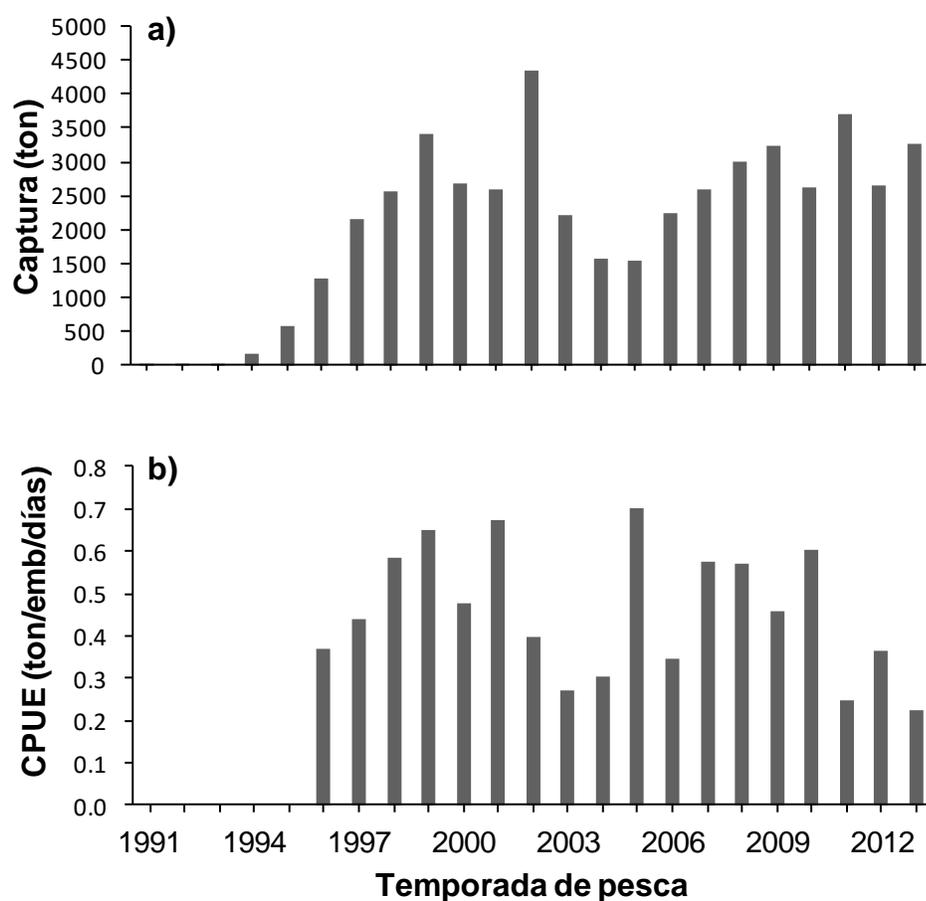
Las agregaciones de curvina golfina en el Golfo de Santa Clara regularmente se presentan en febrero, pero, es en marzo cuando aparece el volumen más alto, generando casi el 50% de captura total de toda la temporada. En abril se siguen capturando pero ocurre un decremento al 38%. Las capturas menores se registraron durante mayo con un 3%, a partir del 2012 se dejó de capturar curvina golfina porque se estableció una veda temporal durante el periodo del 1 de mayo al 31 de agosto de cada año. Ésto se reflejó en el comportamiento del patrón estacional de capturas para curvina golfina, por lo que los volúmenes de captura en mayo se anularon y en la nuestros resultados disminuyeron fuertemente (por ser promedio de 1991-2013).



**Figura 14.** Promedio de capturas mensuales de 1991-2013 de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Golfo de Santa Clara.

En el año 2002 se tiene el registro de la captura más alta de la historia con 4357 t. En años posteriores se tienen descensos importantes, como en el 2004 y 2005 con capturas de 1579 y 1549 t, respectivamente; en 2011 hubo un ascenso que llegó a las 3689 t (Figura 15a). En el caso de la CPUE se encontró casi el mismo

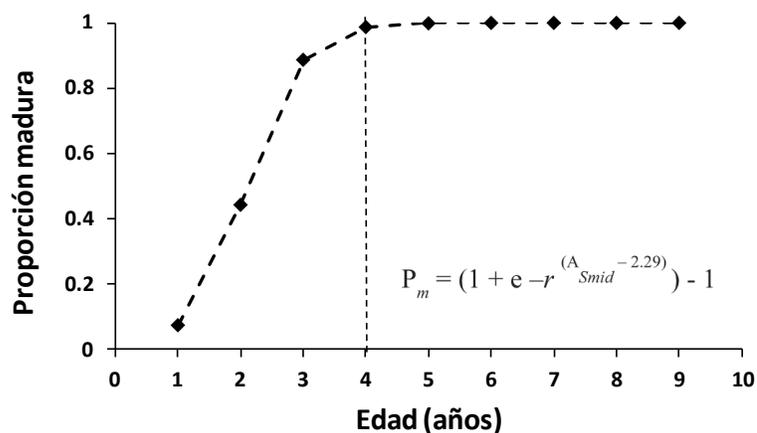
comportamiento que la captura total (Figura 15b). A partir de 2012 se publica en el DOF (25 de agosto) la instauración de una cuota para las capturas de curvina golfina en el AGC.



**Figura 15.** Captura (a) y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (b) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Golfo de Santa Clara durante el periodo 1991-2013.

### Edad de madurez de curvina golfina

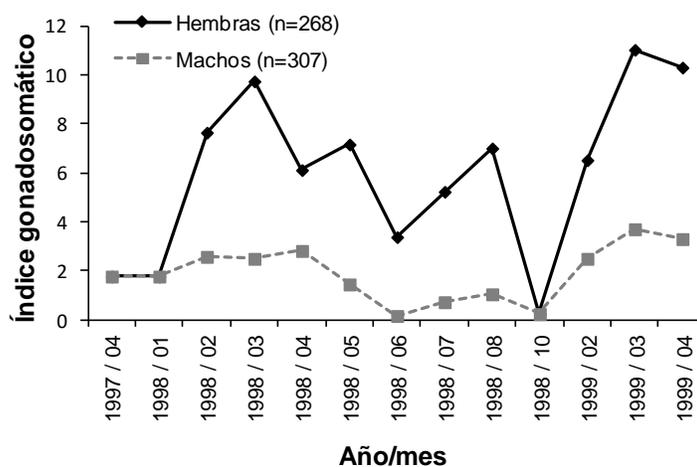
Siguiendo la ecuación de Gherard *et al.* (2013), se generó la Figura 16 en la que se muestra que a los 4 años los organismos, tanto hembras como machos, se encuentran 100% maduros.



**Figura 16.** Curva de madurez de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*), generada con la ecuación de Gherard *et al.* (2013).

### Índice gonadosomático de curvina golfina

En el caso de curvina golfina el ciclo reproductivo coincide con la época de captura (Figura 14): en las primeras “mareas” la mayoría de los organismos aparecen maduros (Román-Rodríguez, 2000) y el porcentaje de madurez va incrementando según se va acercando al Delta del Río Colorado. Con fines comparativos se coloca en este apartado el índice gonadosomático que publicó Román-Rodríguez en el 2000 (Figura 17).

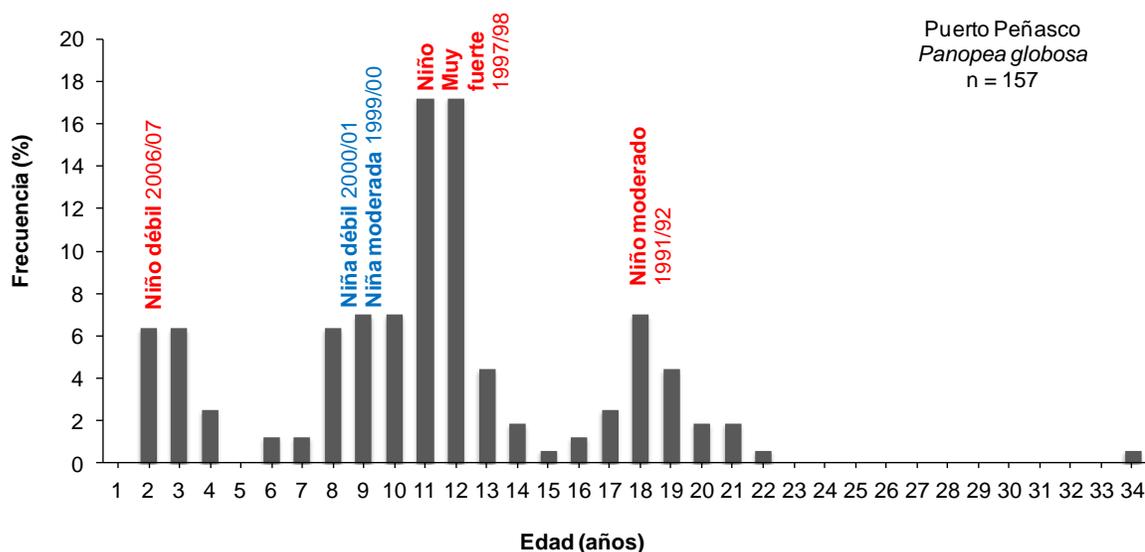


**Figura 17.** Índice gonadosomático de la curvina golfinia, (*Cynoscion othonopterus*) del Alto Golfo de California durante 1998. Tomado de Román-Rodríguez (2000).

### 7.2.3 Almeja de sifón

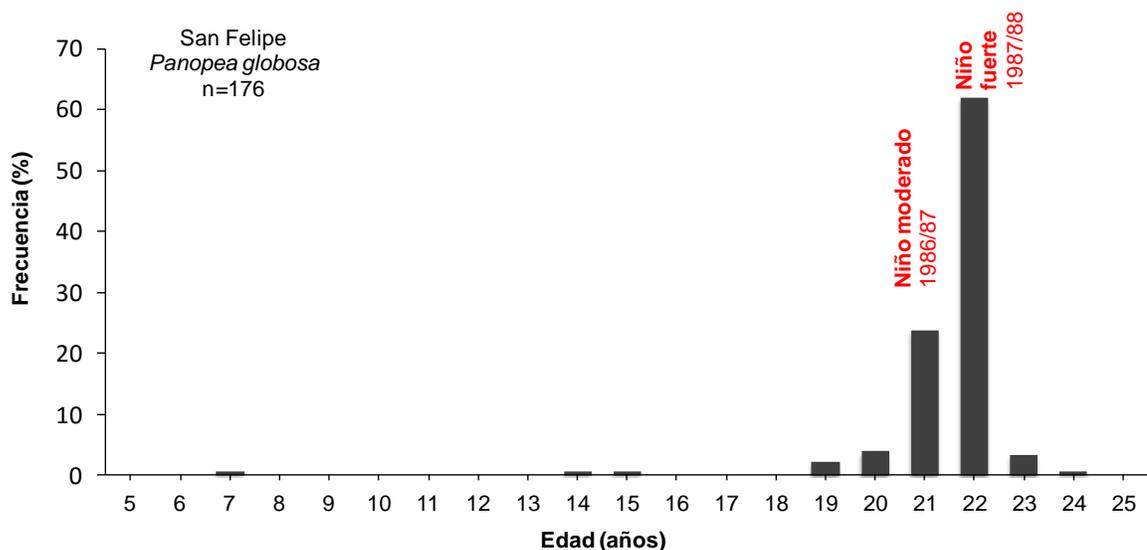
#### Clases anuales de almeja de sifón

Se obtuvo la distribución de edad para 157 organismos de almeja de sifón (*Panopea globosa*) de Puerto Peñasco, Sonora, donde se muestran aproximadamente ocho clases anuales fuertes. Sobresalen las clases anuales de 11 y 12 años con el 17 % del total de organismos. Es importante señalar que éstas coinciden con el evento El Niño muy fuerte de 1997/98 (Figura 18). Cada una de las clases anuales sobresalientes que se muestran, coinciden con eventos importantes del ENOS.



**Figura 18.** Distribución de la estructura de edad de almeja de sifón (*Panopea globosa*), en Puerto Peñasco, Sonora, señalando los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) (Pérez-Valencia, 2013).

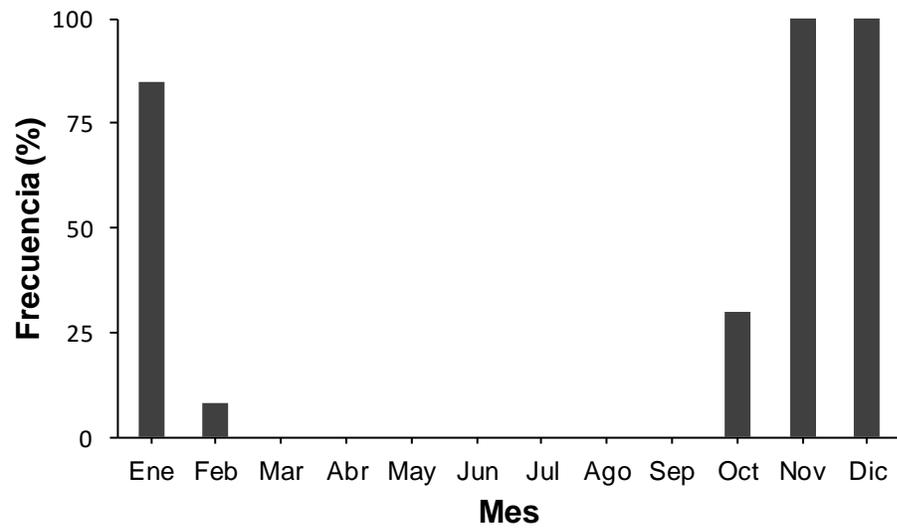
Se generó la distribución de tallas de almeja de sifón en San Felipe (Figura 19), la cual muestra dos clases anuales muy fuertes, de 21 años con 23.8% y coincide con El Niño moderado (1986/87) y 22 años con el 62% de los organismos totales, la cual coincide con El Niño fuerte 1987/88.



**Figura 19.** Distribución de la estructura de edad de almeja de sifón (*Panopea globosa*) en San Felipe, Baja California, señalando los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) (Pérez-Valencia, 2013).

### Periodo de madurez de almeja de sifón

La almeja de sifón es un organismo de ciclo de vida largo, cuyo periodo de madurez empieza en octubre con aproximadamente 30% de los organismos maduros, en noviembre y diciembre el 100% se encuentra en estadio maduro. El periodo continúa en enero del siguiente año con el 85% y por último en febrero con sólo el 8% de organismos maduros (Figura 20).



**Figura 20.** Distribución de frecuencia de madurez de almeja de sifón (*Panopea globosa*) (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010).

### **7.3 Relación especie vs. variables ambientales**

#### **7.3.1 Relación de camarón azul vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales**

Las capturas de camarón azul no se relacionaron con la TSM anual, pero al utilizar datos de CPUE se obtuvo una correlación negativa significativa a los tres años de desfase. Con la variable Clo-a anual también se encontró correlación a los tres años, tanto al utilizar datos de captura como con la CPUE (Tabla I).

Los promedios anuales de los índices ambientales que se correlacionaron significativamente con las capturas de camarón azul fueron SOI, BEST, MEI y PDO en el año cero y al uno de desfase, pero SOI y BEST también se correlacionaron a los dos años de desfase. A los cuatro y cinco años SOI y PDO también tuvieron correlaciones significativas. Por último, ninguno de los índices ambientales anuales se correlacionó con la CPUE (Tabla I).

**Tabla I.** Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos anuales. El \* indica que no se encontró correlación significativa,  $r$  es la correlación y  $p$  es la significancia de la correlación.

			Desfase (años)					
			0	1	2	3	4	5
Captura Camarón (ton)	TSM anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	Clo-a anual	$r$	*	*	*	0.73	*	*
		$p$				0.04		
	SOI anual	$r$	0.47	0.48	0.5	*	0.57	0.51
		$p$	0.02	0.02	0.02		0.01	0.03
	BEST anual	$r$	-0.45	-0.46	-0.46	*	*	*
		$p$	0.03	0.03	0.04			
	MEI anual	$r$	-0.48	-0.45	*	*	*	*
		$p$	0.02	0.04				
	PDO anual	$r$	-0.52	-0.57	*	*	-0.59	-0.52
		$p$	0.01	0.01			0.01	0.03
	ONI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
CPUE Camarón (ton/emb)	TSM anual	$r$	*	*	*	-0.61	*	*
		$p$				0.02		
	Clo-a anual	$r$	*	*	*	0.84	*	*
		$p$				0.02		
	SOI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	BEST anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	MEI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	PDO anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	ONI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						

Cuando se utilizaron datos promedio de mayo-agosto (periodo reproductivo de camarón) en las variables ambientales en la relación TSM con captura, se obtuvieron correlaciones significativas en el año cero y también al hacer el desfase de un año de la variable. A los dos años de desfase también se encontró relación pero con la CPUE (Tabla II). La variable Clo-a no mostró relación alguna con la captura y CPUE. En el caso de los índices, el PDO fue el que mejor se correlacionó con las capturas a los años cero y uno de desfase; sin embargo,

también se correlacionó significativamente a los cuatro y cinco años de desfase. El MEI se correlacionó significativamente en el año cero. En lo que respecta a la CPUE no se encontró relación con los índices (Tabla II).

**Tabla II.** Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos del periodo reproductivo de camarón azul. El \* indica que no se encontró correlación significativa,  $r$  es la correlación y  $p$  es la significancia de la correlación.

			Desfase (años)					
			0	1	2	3	4	5
Captura Camarón (ton)	TSM periodo rep.	$r$	0.44	0.54	*	*	*	*
		$p$	0.03	0.01				
	Clo-a periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	SOI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	BEST periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	MEI periodo rep.	$r$	-0.44	*	*	*	*	*
		$p$	0.03					
	PDO periodo rep.	$r$	-0.55	-0.57	*	*	-0.63	-0.53
		$p$	0.01	0.01			0	0.02
	ONI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
CPUE Camarón (ton/emb)	TSM periodo rep.	$r$	*	*	-0.65	*	*	*
		$p$			0.01			
	Clo-a periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	SOI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	BEST periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	MEI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	PDO periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	ONI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						

### **7.3.2 Relación de curvina golfina vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales**

Se utilizaron datos anuales de TSM y no se encontró correlación con las capturas de curvina golfina pero con la CPUE se correlacionó significativamente a los cinco años de desfase. Los índices ambientales anuales SOI y BEST se correlacionaron significativamente a los tres años de desfase. El SOI se correlacionó positivamente (0.55), mientras que el BEST se correlacionó negativamente con captura (-0.57). La correlación con CPUE ocurrió a los cuatro años con el SOI siendo una correlación negativa significativa y con el BEST y MEI positiva significativa (Tabla III).

**Tabla III.** Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos anuales. El \* indica que no se encontró correlación significativa,  $r$  es la correlación y  $p$  es la significancia de la correlación.

			Desfase (años)					
			0	1	2	3	4	5
Captura Curvina (ton)	TSM anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	Clo-a anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	SOI anual	$r$	*	*	*	0.55	*	*
		$p$				0.05		
	BEST anual	$r$	*	*	*	-0.57	*	*
		$p$				0.04		
	MEI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	PDO anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	ONI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
CPUE Curvina (ton/emb/días)	TSM anual	$r$	*	*	*	*	*	0.76
		$p$						0.01
	Clo-a anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	SOI anual	$r$	*	*	*	*	-0.70	*
		$p$					0.01	
	BEST anual	$r$	*	*	*	*	0.58	*
		$p$					0.05	
	MEI anual	$r$	*	*	*	*	0.60	*
		$p$					0.04	
	PDO anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	ONI anual	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						

Al utilizar datos de las variables ambientales e índices ambientales del periodo reproductivo (febrero-mayo) de curvina golfina se encontraron correlaciones significativas de las capturas con TSM y PDO en el año cero con -0.6 de correlación. La Clo-a se correlacionó a los cinco años de desfase. El SOI, BEST, MEI y ONI se correlacionaron significativamente con las capturas a los cuatro años de desfase; de estos el SOI fue el único índice que se correlacionó negativamente (-0.63). La CPUE también se correlacionó significativamente con los mismos

índices (SOI, BEST, MEI y ONI), siendo el SOI el único que se correlacionó negativamente (Tabla IV).

**Tabla IV.** Correlación de la captura y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) vs. Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a) e índices ambientales utilizando datos del periodo reproductivo de curvina golfina. El \* indica que no se encontró correlación significativa,  $r$  es la correlación y  $p$  es la significancia de la correlación.

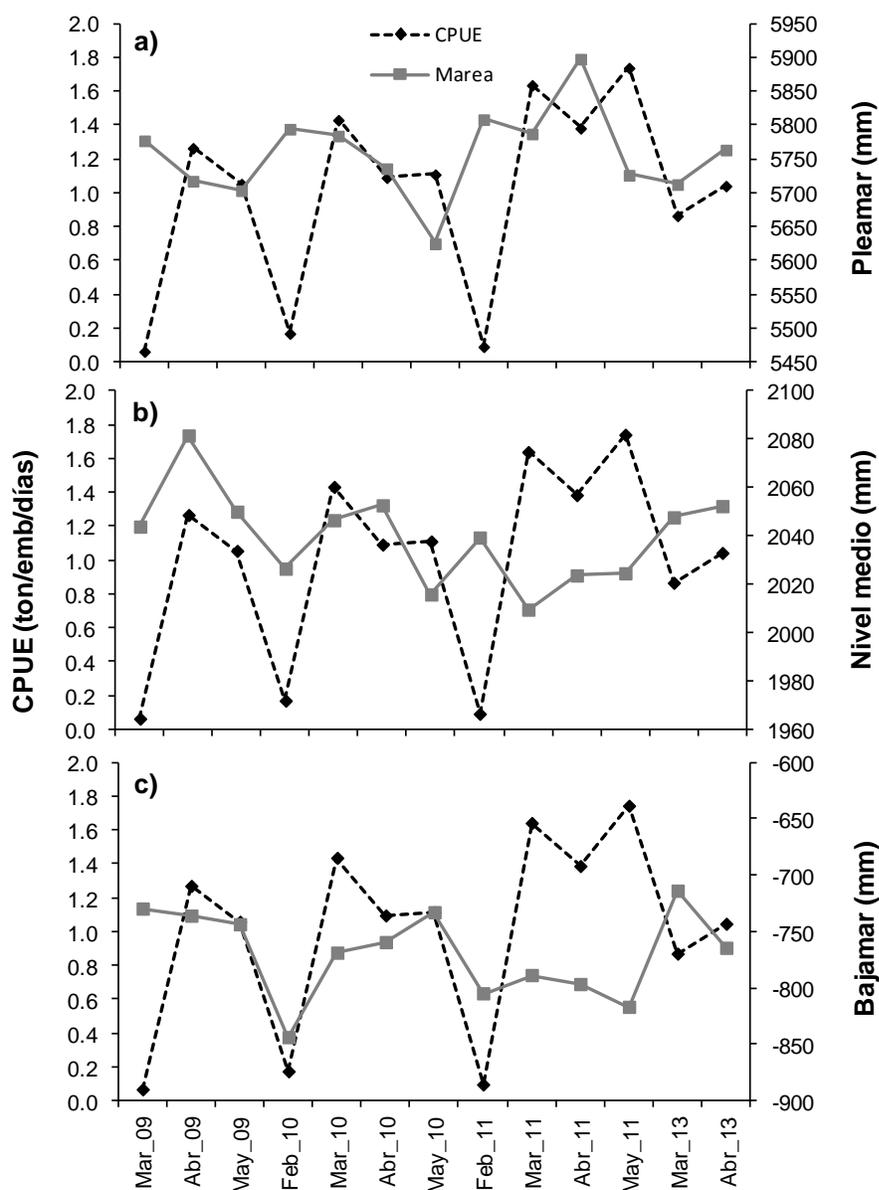
			0	1	2	3	4	5
Captura curvina (ton)	TSM periodo rep.	$r$	-0.6	*	*	*	*	*
		$p$	0.01					
	Clo-a periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	0.76
		$p$						0.08
	SOI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	-0.63	*
		$p$					0.03	
	BEST periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.66	*
		$p$					0.02	
	MEI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.68	*
		$p$					0.02	
	PDO periodo rep.	$r$	-0.66	*	*	*	*	*
		$p$	0.01					
	ONI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.69	*
		$p$					0.01	
CPUE Curvina (ton/emb/días)	TSM periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	Clo-a periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	SOI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	-0.70	*
		$p$					0.01	
	BEST periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.76	*
		$p$					0.00	
	MEI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.67	*
		$p$					0.02	
	PDO periodo rep.	$r$	*	*	*	*	*	*
		$p$						
	ONI periodo rep.	$r$	*	*	*	*	0.77	*
		$p$					0.00	

### **7.3.3 Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina vs. marea**

#### **Pleamar, nivel medio, bajamar**

En la Figura 21a se muestra la relación CPUE-pleamar, los primeros datos no mostraron relación, pero en el 2011 y 2013 se observa una tendencia positiva de los datos, aunque la correlación fue de -0.13 (Tabla Va).

También se obtuvo la relación CPUE-nivel medio y bajamar (Figura 21b, 21c); en donde no se encontró una correlación significativa, siendo apenas la primera de -0.12 y la segunda de 0.027 (Tabla Vb, Vc).



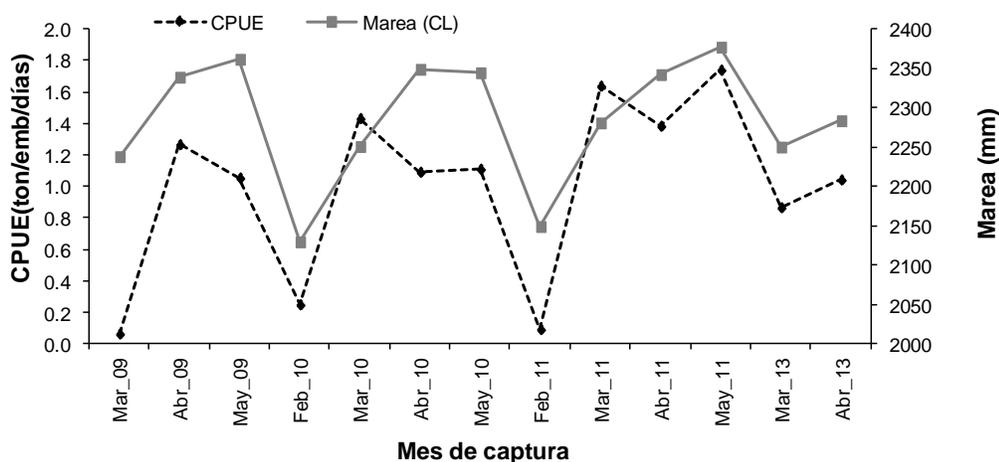
**Figura 21.** Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) con: a) pleamar, b) nivel medio y c) bajamar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.

**Tabla V.** Correlación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) vs. marea. a) CPUE-pleamar b) CPUE-nivel medio c) CPUE- bajamar.

CPUE	Marea		
	a	b	c
	-0.13	-0.12	0.027
<i>p</i>	0.67	0.68	0.93

### Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina vs. marea en cuarto lunar (CL)

En la relación de CPUE vs. marea CL (fase de la luna cuando está en cuarto menguante o creciente) se aprecia cómo están relacionados los datos (Figura 22), con una tendencia positiva muy marcada. El análisis de correlación mostró una alta correlación positiva significativa (Tabla VI).



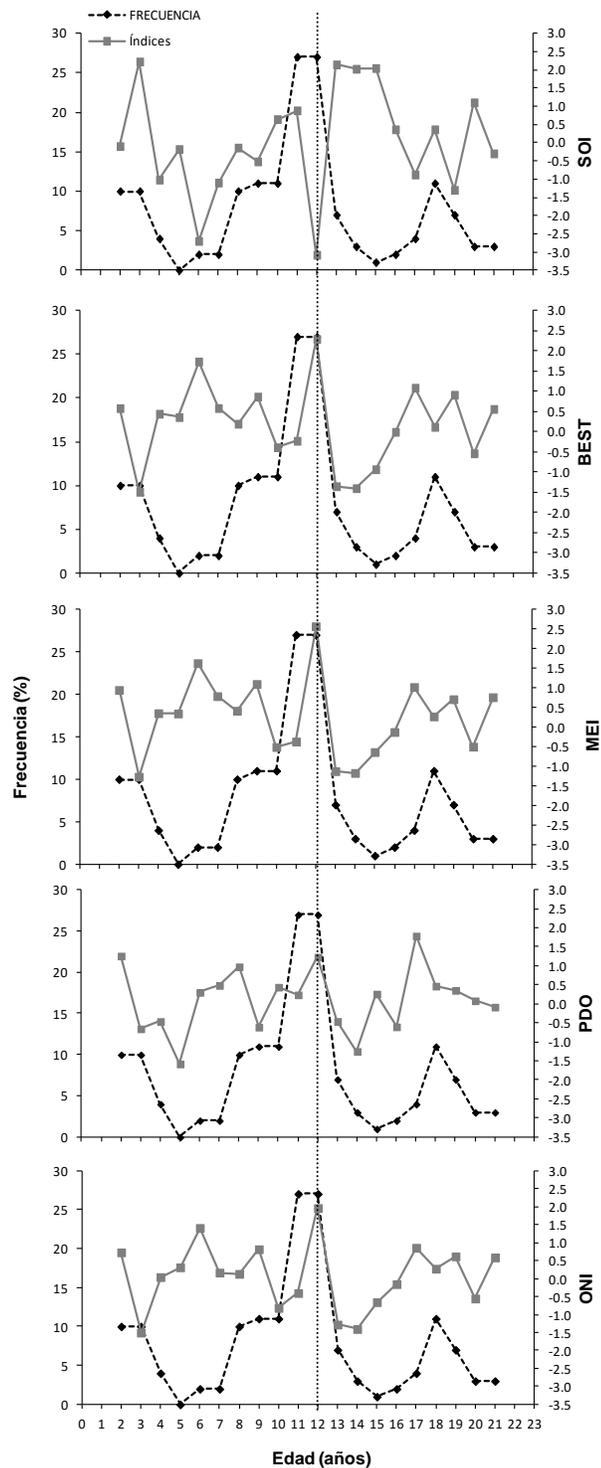
**Figura 22.** Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) vs. marea en cuarto lunar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.

**Tabla VI.** Correlación de la relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) vs. marea en cuarto lunar en el Golfo de Santa Clara de los años 2009-2013.

	<b>Marea (CL)</b>
<b>CPUE</b>	0.75
<b><i>p</i></b>	0.003

#### **7.3.4 Relación de almeja de sifón vs. índices ambientales**

Para la almeja de sifón en el caso de los índices BEST, ONI y MEI se observó una tendencia negativa con la frecuencia de los organismos que nacieron después del ENOS 97/98, o sea de 2 a los 11 años (Figura 23); en los tres casos la correlación es negativa, aunque no es significativa (Tabla VII). El SOI muestra comportamiento contrario, se alcanza a ver una tendencia positiva en los primeros años y en el análisis muestra una correlación de 0.55 sin embargo no es significativa (Tabla VII). En el PDO se observa una leve tendencia positiva, pero el análisis de correlación muestra una  $r=0.28$ . Después del pico de 11-12 años (organismos que nacieron antes del evento El Niño) la tendencia cambia al caso contrario en todos los índices, con excepción del PDO que continúa sin relación significativa. La correlación en estos años aumenta y es positiva significativa en el MEI, BEST y ONI, en el SOI también aumenta pero negativa significativa (Tabla VII).



**Figura 23.** Distribución de frecuencia de edad de almeja de sífon (*Panopea globosa*) de Puerto Peñasco vs. índices ambientales (Pérez-Valencia, 2013).

**Tabla VII.** Correlación de la frecuencia de edad de almeja de sifón (*Panopea globosa*) en Puerto Peñasco con los índices ambientales. Utilizando la frecuencia total, la de 2 a 11 años y la de 12 a 21 años. En negrita las que presentaron correlación significativa.

		MEI	SOI	BEST	PDO	ONI
<b>Correlación Frecuencia de edad vs. índice</b>	total	0.23	-0.17	0.22	0.35	0.20
	<i>p</i>	0.32	0.48	0.36	0.12	0.39
	del 2 al 11	-0.44	0.55	-0.42	0.28	-0.37
	<i>p</i>	0.21	0.10	0.23	0.43	0.29
	del 12 al 21	<b>0.73</b>	<b>-0.70</b>	<b>0.67</b>	0.46	<b>0.67</b>
	<i>p</i>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	0.18	<b>0.04</b>

## 7.4 Resumen

Se presenta en forma resumida los hallazgos más sobresalientes del presente estudio, señalando la influencia que tienen las variables ambientales en la abundancia de las especies estudiadas (Tabla VIII).

**Tabla VIII.** Influencia de Temperatura Superficial del Mar (TSM), clorofila-a (Clo-a), marea e índices ambientales en la abundancia de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y almeja de sifón (*Panopea globosa*).

Variable ambiental	Abundancia de:		
	Camarón azul	Curvina golfina	Almeja de sifón
<b>TSM</b>	La variable influye durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta durante el mismo año y uno posterior	La variable influye durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta durante el mismo año	Sin datos
<b>Clo-a</b>	No influye	No influye	Sin datos
<b>Marea</b>	Sin datos	La variable favorece la llegada de la especie al área de reproducción	Sin datos
<b>SOI</b>	Estas variables influyen durante todo el año y su efecto se manifiesta durante el mismo año y uno posterior	Las variables influyen durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta cuatro años posteriores	Las variables influyen durante y después del evento El Niño
<b>BEST</b>			
<b>MEI</b>			
<b>PDO</b>		La variable influye durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta en el mismo año	No influye
<b>ONI</b>	No influye	La variable influye durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta cuatro años posteriores	La variable influye después del evento El Niño.

## 8. DISCUSIÓN

Las especies presentan fluctuaciones en la abundancia, sin embargo en especies de importancia comercial éstas fluctuaciones se reflejan en las capturas, y dependiendo de la longevidad de la especie será el tiempo que tardan en manifestarse estos cambios. De acuerdo a la Tabla VIII se discuten cómo las variables ambientales influyen en las especies de diferente longevidad.

### **Camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*)**

Los resultados mostraron que la variable Temperatura Superficial del Mar (TSM) influye durante el periodo reproductivo de camarón azul y su efecto se manifiesta en la abundancia del mismo año y hasta de uno posterior. El periodo reproductivo de camarón azul en el AGC ocurre de mayo-agosto (Figura 13) y las mayores abundancias (50%) de hembras maduras se encuentran en junio y julio, en el caso de camarón café se tiene casi el 75% de hembras maduras de mayo-agosto (Aragón-Noriega y Alcántara-Razo, 2005). En el mismo estudio reportaron que el camarón café en aguas más cálidas y con menor variabilidad estacional se reproduce con mayor frecuencia, pero llega muy pequeño a la madurez. Algo similar ocurre con camarón azul. Aragón-Noriega (2007) relacionó la duración del periodo reproductivo de camarón azul con la TSM, y encontró que aguas más cálidas y con menor variabilidad estacional le permiten reproducirse en un periodo más prolongado. Esto muestra que el camarón azul es muy susceptible al cambio de las condiciones ambientales, los estudios citados anteriormente demuestran la relación del organismo con la temperatura.

El camarón azul es un organismo que ha sido altamente estudiado en el AGC, se ha relacionado con variables ambientales tales como temperatura, salinidad, flujo del río, entre otras. La abundancia de postlarvas y la CPUE de camarón azul era alta cuando la descarga del Río Colorado era mayor, posiblemente se expandió el

volumen del hábitat y por consecuencia hubo una mayor disponibilidad de alimento (Pérez-Arvizu *et al.*, 2009). En el presente estudio no se analizó ninguna variable ambiental que pueda emular las descargas del Río Colorado; pero, es posible que después de tantos años sin el flujo del río, los peneidos se adaptaron a las condiciones antiestuarinas. Es también posible que el flujo subsuperficial de agua del río al delta sea suficiente para sostener las poblaciones de peneidos. Por el momento no se puede concluir que el represamiento del río afectó el reclutamiento del camarón azul.

En el presente estudio se relacionó la abundancia de camarón azul representada por captura y la TSM anual, pero no se encontró una relación directa. La CPUE se relacionó con la temperatura anual a los tres años de desfase. Esto puede indicar que la correlación obtenida pudo haber sido casualidad, ya que la temperatura de un año no puede influir en las capturas de tres años posteriores, en particular al referirse a un organismo anual o bianual. Por otra parte, y como ya se mencionó al principio de este apartado al utilizar TSM del periodo reproductivo de camarón azul se encontró una correlación positiva en el año cero y al uno de desfase, lo que significa que cuando la TSM es elevada en el periodo reproductivo del camarón favorece a la clase anual de ese año, y se refleja en las capturas del mismo año y hasta el siguiente. La CPUE mostró una alta correlación negativa con TSM a los dos años de desfase. Siendo una especie que llega a vivir dos años, la respuesta a un cambio ambiental se puede manifestar a los dos años, sin embargo, esta relación sólo ocurrió con CPUE. Este resultado muestra que cuando la TSM es baja la CPUE es elevada y viceversa, reflejando lo contrario de la relación con captura. La correlación fue a los dos años de desfase, lo que le da menor importancia que la correlación positiva que se obtuvo con captura al año cero y un año de desfase, ya que es lo que se esperaba de acuerdo a la longevidad de la especie. En este caso es más representativo utilizar la captura total. Pérez-Arvizu (2009) no encontró relación entre la CPUE de camarón azul y TSM sin desfase, y

lo atribuye a que los datos de los sensores únicamente registran la temperatura de la capa superficial y que puede variar en unos cuantos milímetros. Si las poblaciones de camarones se encuentran en los sedimentos blandos y de materia orgánica en suspensión es posible suponer que no hay relación entre CPUE y TSM. Sin embargo, en nuestro estudio si se encontró relación entre la abundancia de camarón y la TSM. Por la dinámica del AGC, sobre todo por las surgencias, se puede concluir que la TSM sí es representativa del ecosistema bentónico del camarón. Además Alcántara-Razo (2005) demostró mediante datos de satélite, sonda multiparámetro a profundidad y termómetros de mercurio que es válido utilizar TSM provenientes de datos de satélite.

Garduño y Calderón (1994) proponen que la TSM es una señal de disponibilidad de alimento para camarón en la parte sur del Golfo y especulan que éste es el interruptor para el desove porque el camarón azul al igual que otras especies, es migratoria con hábitos distintos para poblaciones juveniles y adultas. Ante esto Aragón-Noriega (2007) reporta que es difícil la asociación de la disponibilidad de alimento con la actividad reproductiva, no obstante, menciona que la temperatura es el factor de control más importante durante el desove que la disponibilidad de alimento.

La sardina es una especie que también tiene ciclo de vida corto, y responde positivamente a las condiciones actuales causadas por el cambio climático (Chávez-Ortiz y Castro-Ortiz, 2008). Otros autores señalan que la sardina presenta desplazamientos asociados a la TSM, y son más intensos durante eventos como El Niño (García-Morales, 2012; Alvarado-Castillo y Félix-Uraga 1997). Ante los desplazamientos de sardina, otras especies también cambian su patrón de distribución, como el calamar gigante (de vida corta), al desplazarse la sardina; su presa potencial (Nevárez-Martínez *et al.*, 2008). González-Máynez *et al.* (2013) concluyeron que existe una relación no lineal entre la abundancia de calamar gigante y las variables ambientales en el GC.

Por otra parte, la abundancia de camarón azul se ve influenciada durante todo el año por algunas variables incluidas en los índices SOI, BEST MEI y PDO, lo cual se manifiesta en las capturas durante el mismo año y uno posterior.

Los índices ambientales describen los atributos principales del clima y los procesos oceánicos que ocurren en estos sistemas, por lo cual parecen ser buena opción para evaluar sus efectos en la abundancia de algunas especies de importancia comercial. Además de esto, los índices mostrarán el efecto que produce el evento de El Niño en tales pesquerías. En este caso se utilizaron los índices, SOI, BEST, MEI, PDO y ONI con promedios anuales. Para el camarón se encontraron correlaciones significativas en la mayoría de los índices (a excepción del ONI) a los cero y un año de desfase. El SOI fue el único que se relacionó positivamente, ya que es el único índice en el que los valores positivos indican presencia de La Niña y valores negativos presencia de El Niño, por lo tanto, cuando ocurre el evento La Niña se tienen capturas altas y en condiciones de El Niño capturas bajas. El SOI contiene datos estandarizados de la variabilidad de la presión atmosférica entre Tahití y Darwin, por lo cual, en el GC se modifica el patrón de los vientos estacionales, lo que a su vez altera las surgencias y por consecuencia la productividad primaria. Debido a que el camarón se encuentra en los primeros eslabones de la cadena trófica es un organismo que responde de inmediato a estos eventos. La mejor correlación entre captura de camarón y el SOI anual se obtuvo a los 0, 1, 2, 4 y 5 años de desfase. Pero, por ser una especie de vida corta, la respuesta a un cambio ambiental ocurrió en el mismo año y uno posterior al evento. El Niño tiene una duración muy variable de 12 a 18 meses (López-Sánchez, 2004); encontrar una relación a los dos años de desfase es aceptable ya que tanto los organismos que nacieron en el año cero como los del siguiente año pudieron estar en las mismas condiciones. No obstante, la relación encontrada a los cuatro y cinco años carecen de explicación biológica, ya que los camarones expuestos a un cambio ambiental en este año no serán los mismos de 4 años posteriores. Por otra parte el BEST anual se relacionó a los cero, uno y dos

años de desfase, en este caso, las correlaciones fueron muy similares a las del SOI pero negativas debido a que el BEST integra los valores de ese índice y además la TSM de El Niño 3.4. Se puede decir que los valores de la TSM son los que modifican los valores positivos del SOI a negativos del BEST, ya que es la única variable que anexa el BEST.

El MEI y PDO anual se relacionaron negativamente a los cero y un año de desfase, por lo cual se sigue aceptando la hipótesis de que el camarón siendo un organismo de ciclo de vida corto muestra respuesta a un cambio ambiental en un corto periodo. Cuando los valores del índice indican presencia de El Niño ocurren capturas bajas y con La Niña capturas altas. Este resultado contradice lo reportado por Chávez-Ortiz y Castro-Ortiz (2008), quienes mencionan que el cambio en la biomasa de camarón parece responder a los eventos El Niño-La Niña, con aumentos en sus biomásas cuando los incrementos en la temperatura se producen junto con fuertes lluvias. Esta diferencia se puede atribuir a que en nuestro estudio no contemplamos de manera directa las lluvias. Por otra parte el PDO también se relacionó negativamente a los cuatro y cinco años de desfase. Tanto en este índice como en el SOI la correlación encontrada a los 4 y 5 años carece de explicación biológica, debido a la longevidad de la especie. En cuanto al uso de los datos del periodo reproductivo de camarón se encontró correlación negativa significativa al año cero con MEI y PDO, este último también se relacionó significativamente al año de desfase. Debido a todo lo anterior se puede concluir que para el camarón es más apropiado utilizar datos ambientales de todo el año, ya que es un organismo de ciclo de vida corto, durante el cual se ve sujeto a factores ambientales que afectan la abundancia del organismo, cuyo grado de influencia varía de acuerdo con la etapa de desarrollo (Aragón-Noriega, 2000). La variable temperatura se debe evaluar en el periodo reproductivo, ya que es cuando más influye en el camarón. Los resultados obtenidos fueron debido a que el periodo de desove ocurre bajo condiciones cálidas y probablemente esté

asociado a eventos de El Niño, lo que se reflejó en correlaciones significativas en los índices vs. abundancia.

De acuerdo con nuestra hipótesis, si los organismos que fueron desovados o la nueva clase anual de camarón se encuentran en condiciones óptimas se reflejará de inmediato en las capturas, y ésto fue lo que se obtuvo en nuestros resultados.

### **Curvina Golfina (*Cynoscion othonopterus*)**

La abundancia de curvina golfina tiene influencia de la TSM durante el periodo reproductivo y su efecto se manifiesta durante el mismo año. Las agregaciones de curvina en la época de desove inician en el mes más frío, febrero (Figura 4), sin embargo, la TSM empieza a elevarse a partir de este mes y los organismos siguen en el área, ya que según los resultados en la Figura 14, las mayores abundancias, representadas por capturas, son en marzo. En mayo las capturas disminuyen ya que los organismos empiezan a salir del AGC desconociéndose su trayectoria. Hasta el momento no se ha reportado algún trabajo que haya encontrado una relación entre la época de desove o captura (ya que ocurre en el mismo periodo) de curvina golfina con la TSM, por lo tanto no se puede concluir que la llegada de curvina al AGC está influenciada por la TSM.

En los resultados de curvina golfina se obtuvo que la TSM anual se correlacionó significativamente con CPUE a los cinco años de desfase. Ante ésto, se pueden dar dos explicaciones: La primera, que la mayoría de los organismos desovados no maduraron a los cuatro años, sino a los cinco, lo que se reflejó en la CPUE cinco años posteriores. Y la segunda, que sólo fue una coincidencia sin explicación biológica ya que al utilizar promedios anuales se enmascaran valores que pueden ser lo que realmente influyen en la especie.

En el caso de TSM del periodo reproductivo vs. captura de curvina golfina se obtuvo una correlación negativa significativa en el mismo año del evento. Ésto muestra que cuando se tienen TSM elevadas las capturas de esta especie son bajas y viceversa; lo mismo ocurrió con el índice PDO ya que éste utiliza únicamente la variable TSM como indicador del ENOS. Este resultado concuerda con lo que reportó Pérez-Arvizu (2009) donde menciona que en años cuando se registran temperaturas bajas (22.5 a 22.9 °C) en el AGC, las CPUE de curvina golfina tienen notables incrementos. No obstante, el coeficiente de correlación encontrado por el autor es mucho menor al reportado en este estudio debido probablemente a que él utilizó promedios anuales. En el presente estudio cuando se utilizaron datos anuales no se encontraron correlaciones significativas. No existen más trabajos previos que hayan relacionado la temperatura con este organismo, probablemente por ser una especie costera que sólo llega a desovar al AGC.

La mayor correlación y la más representativa es la de captura vs. TSM<sub>Δ</sub> del periodo reproductivo. En lo que respecta a captura del GSC, el esfuerzo de pesca está al máximo. No obstante, no es recomendable relacionar la CPUE ya que debido a la escases de datos sólo se pudo calcular utilizando el número de embarcaciones y no el número de viajes de pesca como medida del esfuerzo. Al utilizar el número de embarcaciones se pierde información ya que debido a la biología de la especie, hay ocasiones en que los pescadores salen en busca del recurso sin éxito pudiendo ocurrir que al día siguiente o unas horas después se obtengan grandes cantidades del recurso. Lo ideal sería utilizar datos de lances de pesca, sin embargo esta información es muy difícil de obtener. En lo que respecta a la TSM, como ya se mencionó es mejor utilizar datos del periodo reproductivo ya que es cuando se encuentra el organismo en el AGC.

Al utilizar datos de la Clo-a anual no se encontraron correlaciones significativas con la abundancia. Pero la relación Clo-a del periodo reproductivo vs. captura mostró una correlación altamente significativa a los cinco años de desfase. En

este caso se puede decir lo mismo que ocurrió con camarón: las correlaciones encontradas con tantos años de desfase no tienen una explicación biológica. Pérez-Arvizu (2009) encontró una alta correlación positiva (0.83) de Clo-*a* vs. CPUE de curvina golfinia, además hizo el desfase de un año, y la correlación aumentó a 0.93. Utilizó siete años de estudio, y en el presente trabajo fueron 10 años de estudio, lo que hace más robustos nuestros resultados.

En lo que respecta a los índices ambientales se encontró una correlación significativa de la CPUE de curvina golfinia con el SOI, BEST y MEI anuales a los cuatro años de desfase. Este mismo comportamiento se obtuvo al utilizar índices del periodo reproductivo; además de correlacionarse con la CPUE también se correlacionó con datos de captura. La posible explicación a esto puede ser por el comportamiento de migración que presenta la curvina, ya que se capturan cuando arriban al AGC a desovar. Cuando 100% de los organismos se encuentran maduros migran a la zona de desove independientemente de las condiciones ambientales. Si son condiciones desfavorables se verá reflejado en la nueva clase anual que se capture dentro de cuatro años cuando regresen al AGC a desovar, de acuerdo a lo que muestran los resultados del presente estudio.

El pez vela presenta una respuesta inmediata ante los cambios ambientales. Condiciones cálidas disminuyen las capturas y condiciones frías las aumentan (Arias-Olaiz, 2007). Tiene una distribución oceánica, encontrándose en el Océano Pacífico Oriental (OPO) a lo largo de la costa entre México y Ecuador, con un límite norte en el área de la boca del Golfo de California (Urosaki y Bayliff, 1999). Por lo cual, si el pez vela no encuentra condiciones adecuadas o simplemente no cuenta con alimento, migrará a otro lugar de manera inmediata, lo cual se refleja de inmediato en las capturas. En cambio la curvina golfinia tiene una distribución costera, encontrándose únicamente (cuando va a desovar) en las localidades de Santa Clara en Sonora y San Felipe hasta las Islas Encantadas en Baja California (Acosta-Valenzuela, 2008). El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) también

cambia su distribución ante los cambios ambientales, se desplaza lejos de la costa del Pacífico mexicano (López-Sánchez, 2004).

En el caso de curvina golfina no hay estudios previos que indiquen que la especie se vea afectada por la abundancia de su alimento en el AGC, ya que la especie migra al AGC con fines reproductivos. Durante la migración se alimenta activamente de peces pelágicos y crustáceos, pero la alimentación se suspende gradualmente conforme inician los desoves (SAGARHPA - IAES, 2014). Los resultados obtenidos indican que los índices ambientales son una buena opción para la valoración de la pesquería de curvina y mediante ellos se puede inferir el comportamiento de las capturas a futuro. Además se acepta la hipótesis de que la curvina siendo un organismo de longevidad media responde en el mediano plazo a un cambio ambiental.

La curvina golfina presenta un comportamiento similar al de *Totoaba macdonaldi*. Cisneros-Mata *et al.* (1995) mencionan que la reducción en la descarga de agua del Río Colorado al Golfo de California durante la primavera podría haber causado una contracción de la temporada de reproducción y una reducción en la capacidad de carga para la totoaba juvenil. Ante esto, Valdez-Muñoz *et al.* (2010) analizaron algunas relaciones, encontrando que con la disminución del flujo del río aumenta la salinidad, también encontraron que la salinidad no es una variable que determine la distribución y abundancia de los juveniles de totoaba. Sin embargo, en este apartado se puede decir que los autores no encontraron relación debido a que tal vez no utilizaron la variable indicada para este tipo de organismos, como se está haciendo en el presente trabajo.

La curvina golfina es un organismo que puede llegar al estatus de especie en peligro de extinción. Como lo mencionan Musick *et al.* (2000) la curvina es una especie vulnerable debido a la sobrepesca y a los cambios en sus zonas de desove causados por desvíos de aguas arriba del Río Colorado. Quizás si no se encuentran factores ambientales que causan los descensos en su abundancia

podría llegar a un estatus de especie en peligro, tal y como se encuentra hoy en día la totoaba. Es importante conocer qué condiciones afectan o benefician a la especie y cómo se refleja en las capturas lo cual permitirá inferir cuándo se encuentra más vulnerable y aprovechar este conocimiento para hacer un mejor manejo pesquero.

### **Relación de la marea vs. curvina golfina**

Se trabajó con datos de las mareas más altas (pleamar) ya que éstas son aprovechadas por la curvina en la corrida hacia el delta del Río Colorado, sin embargo, no se obtuvieron correlaciones significativas. Se optó por utilizar promedios mensuales de las mareas de 6-7 días anteriores (bajamar) a la llegada de curvina (luna llena o nueva), bajo el supuesto de que la marea influye en la llegada del organismo al AGC. Se utilizaron los valores medios, o sea, los que estaban entre los 1000 y 3000 mm, y tampoco se encontró correlación significativa. Es posible que el promedio de un mes no sea un dato representativo para la especie que llega por corridas, generalmente de 2 a 3 días en cada marea viva.

Con CPUE y utilizando distintos datos de marea, se llevó a cabo otro análisis. Los datos de marea que se usaron fueron de 3 ó 4 días posteriores a la luna en cuarto menguante o creciente, ya que son justamente los días cuando se espera que aparezcan las agregaciones de curvina. En este análisis se encontró una correlación significativa positiva. Este resultado muestra lo importante que es la marea para la llegada de curvina al AGC, como está predicho por los pescadores del GSC; ya que son ellos quienes tienen mayor experiencia en la captura de curvina.

## **Patrón de marea**

A pesar de considerarse un solo ecosistema, en el Golfo de California se presentan distintos tipos de mareas. Por ejemplo la marea de Guaymas es dominada por mareas diurnas (Marinone y Lavín, 1997), en cambio, la marea en el AGC es principalmente semidiurna (sube y baja aproximadamente dos veces al día) con amplitud de 6.95 m en San Felipe, B.C. y hasta cerca de 10 m en el delta del Río Colorado (Gutiérrez y González, 1989), lo que ocasiona que debido a la baja pendiente del fondo se expongan franjas intermareales de hasta un kilómetro de ancho o más (Aragón-Noriega, 2000).

En el patrón de marea obtenido se puede ver cómo cambia interanualmente la amplitud y frecuencia de marea del mismo mes (marzo y abril), lo cual debe ser considerado, para la decisión de fechas de captura de curvina golfina. La pesquería de curvina empieza en los primeros días de las mareas vivas después del primer y tercer cuarto lunar en periodos de dos a tres días (Anexo I). Se debe considerar que la curvina golfina no se rige mediante el calendario común, sino con el calendario lunar, que consta de 13 lunas en el año. Nuestros resultados (Figuras 8 y 9) indican que las fechas de captura de curvina golfina van a estar cambiando interanualmente; es probable que cuatro años después la fecha coincida, ya que el patrón de marea será muy parecido. Por ejemplo, la primera marea en febrero de un año será una marea casi idéntica cuatro años después.

Esto coincide con el tiempo que tarda la curvina golfina para que su población esté 100% madura, o sea que los organismos que son desovados en el presente año regresarán ya como adultos maduros (100%) dentro de cuatro años. Además si el patrón de marea y demás condiciones ambientales en el que se reprodujeron les favoreció, se esperaría lo mismo cuando regresen maduros a realizar su reproducción.

### **Almeja de Sifón (*Panopea generosa*)**

En el caso de la almeja de sifón, no se tuvieron datos suficientes para demostrar una relación de la abundancia con la TSM. Sin embargo, en esta parte se puede inferir que la variable no influye en la abundancia, ya que el PDO no mostró influencia, y este índice evalúa la TSM.

Por otra parte, en la distribución de edades de almeja de sifón de Puerto Peñasco, se encontraron clases anuales fuertes, lo cual llama la atención; se intentó dar una respuesta a estos notables pulsos de almeja de sifón. Se encontró que las clases anuales coincidían con los pulsos que muestran los índices ambientales, donde se evalúa la intensidad de El Niño. Se percató que El Niño 97/98 coincidía con la clase anual fuerte de 11-12 años (Figura 18), ante esto se puede decir que El Niño es un factor favorable para las larvas o la nueva clase anual que presencia el evento. Por otra parte, después de El Niño ocurre un decremento en la Clo-a (Herrera-Cervantes *et al.*, 2010) y por consecuencia del plancton; alimento casi exclusivo de la almeja, lo que se refleja en las bajas abundancias de las clases anuales posteriores. Se hace hincapié en el evento 1997/98 ya que se dice que sólo los eventos El Niño de magnitud fuerte, tienen impacto a nivel mundial, los de magnitud débil sólo impactan regionalmente en el Pacífico tropical (López-Sánchez, 2004), y se encontró que después de este evento de magnitud muy fuerte, el ecosistema cambió por completo. Antes del evento se encontró una correlación positiva de las clases anuales vs. los índices (Figura 23, Tabla VII), pero, El Niño 97/98 afectó tanto el ecosistema, que después del evento se perdió la relación con las clases anuales posteriores. En San Felipe también se encontró una clase anual fuerte de 22 años con más del 60% de frecuencia, en este caso coincidió con El Niño fuerte 1987/1988 (Figura 19), no obstante El Niño muy fuerte 1997/98 no se reflejó en la abundancia de las clases anuales. No se esperaba que ocurriera una clase anual fuerte en San Felipe, ya que según lo sugieren Herrera-Cervantes *et al.* (2010) los eventos ENOS en el Golfo de California no son homogéneos, siendo que la costa este y la zona norte son las

más variables, afectadas y altamente correlacionadas con el MEI, mientras que la región de las grandes islas y la costa oeste (donde se encuentra San Felipe) mostraron menor variabilidad y débil correlación con el MEI. Ante esta afirmación se puede decir que en 1987/88 se pudo presentar algún otro evento que favoreciera a la clase anual de ese año, ya que el evento de El Niño no impacta en esta área y menos influencia puede tener un evento de intensidad menor a El Niño muy fuerte de 1997/98 para esta zona. Algo muy similar es lo reportado por Borda y Cruz (2004), ellos reportan que el ENOS incide significativamente en la disminución de las capturas de *Anadara tuberculosa*. En marzo de 1997 y abril de 1998 el ENOS presentó una gran anomalía negativa (El Niño 1997-98) que coincide con un descenso de las capturas de *Anadara tuberculosa* durante ese periodo. Afirman que el efecto de El Niño se manifiesta inversamente en las capturas a los 18 meses después del desove, probablemente como consecuencia de un incremento de la mortalidad natural en los estadios larvarios en la región oceánica. En nuestro estudio El Niño favorece a la clase anual que tiene estadios tempranos, sin embargo, la clase anual del siguiente año se ve afectada; incrementando la mortalidad, con lo cual debido a la baja en Clo-a no encuentra condiciones aptas para su desarrollo.

El impacto del cambio climático a largo plazo puede ser uno de los principales factores que limitan la posibilidad de la estimación exacta de las existencias de biomasa a la hora de planificar las actividades pesqueras (permisos, viajes de pesca, cuotas de captura) que regularmente se requieren definir para la siguiente temporada. Este tipo de estimaciones se pueden hacer para especies de ciclo de vida largo como la almeja de sifón.

Debido a que son especies con estrategia adaptativa de tipo K, o sea, especies dependientes de la densidad de la población, de ciclo de vida largo, la influencia del cambio climático se espera que sea menos evidente en el momento. Por lo tanto cualquier respuesta en su biomasa tendría lugar a largo plazo, dado que el efecto más probable del cambio climático debería darse en sus tasas de

reclutamiento y así podrían transcurrir algunos años para poder observar estos efectos en los datos de captura (Chávez-Ortiz y Castro-Ortiz, 2008).

## 9. CONCLUSIONES

La temperatura influye en las fluctuaciones de abundancia de camarón azul, pero lo hace con mayor peso durante su ciclo reproductivo. Las variables ambientales incluidas en los índices SOI, BEST, MEI y PDO influyen durante todo el año y su efecto se manifiesta en el mismo año o uno posterior del desove. Por lo tanto el camarón, siendo una especie de ciclo de vida corto, responde a un cambio ambiental en un periodo corto.

La variable temperatura influye en el periodo reproductivo de curvina golfina lo que se manifiesta en la abundancia en el mismo año. No obstante, el efecto de las variables incluidas en los índices ambientales (SOI, BEST, MEI y ONI) se manifiesta cuatro años posteriores en las capturas de curvina golfina. Se puede decir que la curvina golfina siendo una especie de vida media, responde a un cambio ambiental en un mediano plazo.

La marea impulsa la llegada de curvina golfina al AGC, donde el patrón de marea es muy similar cada cuatro años, lo que coincide con la edad de 100 % de madurez de curvina golfina.

La abundancia de las clases anuales de almeja de sifón se ve influenciada por eventos climáticos como El Niño, y al ocurrir uno de magnitud muy fuerte se refleja en la fuerza de las clases anuales, mismas que son representadas por un largo periodo de tiempo.

## 10. RECOMENDACIONES

Para las variables estudiar las corrientes ya que tienen influencia en la distribución larvaria del camarón y la almeja, así como en el patrón de migración de curvina. Asimismo, para la temperatura instalar termógrafos en sitios clave para conocer la variación a escalas de tiempo menor. En particular para curvina, ya que las corridas ocurren en lapsos de cuatro o cinco días.

Sería deseable que se obtengan datos como número de lances y el tiempo de permanencia de las redes en el agua para determinar con mayor precisión las capturas y capturas por unidad de esfuerzo. Además, utilizar series de datos de más tiempo para las variables ambientales.

Seguir utilizando los índices ambientales adoptados en este trabajo ya que demostraron ser buenos indicadores de las variaciones ambientales.

Se recomienda a las autoridades pesqueras encargadas de emitir normas de manejo pesquero continuar con investigaciones sobre la influencia de los factores ambientales en las especies de importancia comercial, ya que día a día las condiciones ambientales están en constante cambio.

## 11. LITERATURA CITADA

- Acosta-Valenzuela, Y. 2008. Aspectos de la biología reproductiva de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California. Tesis Licenciatura, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Sonora, México, 65p.
- Alcántara-Razo, E. 2005. Índices de la producción de huevos, reclutamiento reproductivo y distribución de la biomasa de camarón azul *Litopenaeus stylirostris* en el frente costero de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN. 25pp La Paz, Baja California Sur, México. 75p.
- Alvarado-Castillo, R. M. y R. Félix-Uraga. 1997. Modelo de la distribución anual de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* en la costa oeste de la península de Baja California. Informe Técnico 1995 del Taller de Pelágicos Menores. CIBNOR-La Paz, Baja California Sur, México.
- Álvarez de Williams, A. 1998. Los Cucapá: Gente del Río. En Voces del Mar: Una publicación sobre la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, eds. J.R. Cudney, C. Navarro y P.J. Turk Boyer. Centro Intercultural de Estudios de Desierto y Océanos (CEDO). Puerto Peñasco, Sonora, México.
- Álvarez-Borrego, S., y J.R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California, The Gulf and Peninsular Province of the Californial. American Association of Petroleum Geologists Memoir, B.R.T. Simoneit and J.P. Drophin 47:555-567.
- Álvarez-Borrego, S., y L.A. Galindo-Bect. 1974. Hidrología del Alto Golfo de California I. Condiciones durante otoño. Ciencias Marinas 1(1):46-64.

- Anderson, A.M. 1971. Spawning, growth, and spatial distribution of the geoduck clam, *Panopea generosa* (Gould), in Hood Canal, Washington. PhD. Thesis, University of Washington, Estados Unidos. 128p.
- Aragón-Noriega, E.A. 2000. Ecología del reclutamiento del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) en el Alto Golfo de California. Tesis de doctorado. CICESE. Ensenada. B.C. México. 117p.
- Aragón-Noriega, E.A. 2007. Coupling the reproductive period of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* Stimpson, 1874 (Decapoda: Penaeidae) and sea surface temperature in the Gulf of California. 42(2): 167-175.
- Aragón-Noriega, E.A. y E. Alcántara-Razo. 2005. Influence of sea surface temperature on reproductive period and size at maturity of brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California. Marine Biology. 146: 373-379.
- Aragón-Noriega, E.A., E. Alcántara-Razo, L.E. Calderón-Aguilera, y R. Sánchez-Fourcade. 2012. Status of Geoduck clam fisheries in México. Journal of Shellfish Research 31(3): 733-738.
- Arámbula-Pujol, E.M., A.R. García-Juárez, E. Alcántara-Razo y E.A. Aragón-Noriega. 2008. Aspectos de biología reproductiva de la almeja de sifón *Panopea globosa* (Dall 1898) en el Golfo de California. Hidrobiológica. 18 (2):89-98.
- Arias-Olaiz, F. 2007. Distribución espacio-temporal de la CPUEe del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 93p.
- Barange, M., y R.I. Perry. 2009. Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. En: K. Cochrane,

C. De Young, D. Soto y T. Bahri (eds). Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, No 530. Roma, FAO. 7-118p.

Barnes, D.R. 1993. Zoología de los invertebrados. Ed. Interamericana. México, D.F. 828p.

Barrera-Guevara, J.C. 1992. Biología reproductiva de la totoaba *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891) (Teleostei: Sciaenidae). Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, Sonora.

Berdegúe, A.J. 1955. La pesquería de la totoaba *Totoaba macdonaldi* en San Felipe, Baja California. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 16: 45-78.

Bernstein, R.L. 1982. Sea surface temperature estimation using the NOAA 6 satellite Advanced Very High Resolution Radiometer. Journal of Geophysical Research, 87, 12p.

Borda C.A., y Cruz, R. 2004. Pesca artesanal de bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y su relación con eventos ambientales. Pacífico colombiano. Rev. Invest. Mar. 25(3):197-208.

Botello, R.M., T.R. Villaseñor, y M.F. Rodríguez. 2010. Ordenamiento de pesquerías por recursos estratégicos de México, Tomo 1. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, 300p.

Brusca, R.C., L.T. Findley, P.A. Hastings, J. Torre-Cosío, y A.M. van der Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. p. 179-202. En: J. L.E. Cartron, G.

Ceballos y R. S. Felger (eds). Biodiversity, ecosystems and conservation in northern México Oxford University Press, Oxford.

Bureau, D., W. Hajas, N.W. Surry, C.M. Hand, G. Dovey, y A. Campbell. 2002. Age, size structure and growth parameters of geoducks (*Panopea abrupta*, Conrad 1849) from 34 locations in British Columbia sampled between 1993 and 2000. Can Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2413:94p.

Calderón-Aguilera, L.E., E.A. Aragón-Noriega, H. Reyes-Bonilla, C.G. Paniagua-Chávez, A.E. Romo-Curiel, y V.M. Moreno-Rivera. 2010. Reproduction of the cortés geoduck *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) and its relationship with temperature and ocean productivity. Journal of Shellfish Research. Vol.29, (1):135-141.

Carriquiry, J.D., y A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. Marine Geology 158:122-145.

Castro-González, J.J., G. Galindo-Cortes, F.G. De la Cruz-G, y C. Enciso-Enciso C. 2013. Dictamen técnico para la recomendación de la cuota de captura de curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California. Temporada de pesca 2013-2014. Doc Interno CRIP-Eda, INAPESCA, SAGARPA. 8p.

Chao, L.N., y J.A. Musick. 1977. Life history, feeding habits, and functional morphology of juvenile sciaenids fishes in the York River Estuary, Virginia. Fishbulleti. 75 (4): 657-702.

Chávez-Ortiz, E.A., y J.L. Castro-Ortiz. 2008. Impacto del cambio climático sobre las pesquerías de la zona de transición templado-cálida del Pacífico oriental

mexicano. p.71-84. En: Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México. López-Martínez. J. (Ed.), Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México 216p.

Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor-López y M.J. Román-Rodríguez. 1995. Life history and Conservation of *Totoaba macdonaldi*. Conservation Biology. 9:806-818.

Cruz-Vásquez, R. 2012. Aplicación de un criterio múltiple-modelo para la estimación de los parámetros de crecimiento individual de *Panopea globosa* (Dall, 1898) del Golfo de California. Tesis de maestría. Universidad autónoma de Sinaloa. 59p.

Cushing, D. H. 1982. Climate and fisheries. London: Academic Press. 373p.

DOF 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. SAGARPA.

Espino-Barr, E. 2000. Criterios biológicos para la administración de la pesca multiespecífica artesanal en la costa de Colima, México. Universidad de Colima. 150p.

Fiedler, P.C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. Marine Ecology Progress Series. 244: 265-283.

García-Morales, R. 2012. Variabilidad oceanográfica del hábitat de los stocks de *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes:Clupeidae) en el sistema de la corriente de California (1981-2005). Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 79p.

Garduño-Argueta, H.J., y A. Calderón-Pérez. 1994. Abundancia y maduración sexual de hembras de camarón (*Penaeus spp.*) en la costa sur de Sinaloa, México. Revista

de Investigaciones Científicas, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Serie Ciencias Marinas 1: 27-34.

Gaxiola-Castro G., R. Durazo, B. Lavaniegos, M.E. De la Cruz-Orozco, E. Millán-Núñez, L. Soto-Mardones, y J. Cepeda-Morales. 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Ciencias Marinas* 34:263-270.

Gherard, E.K., E.B. Erisman, O.A. Oropeza, K. Rowell, y L.G. Allen. 2013. Growth, Development, and Reproduction in Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*). *Southern California Acad. Sci.* 112(1):1-18 pp.

González-Máynez, V.E., M.O. Nevárez-Martínez, A. Gallegos-García, E. Márquez-García, y R. Rodríguez-Sobreyra. 2013. Abundancia del calamar gigante *Dosidicus gigas* y su relación con factores ambientales en el Golfo de California, México. *Ciencia pesquera* 21(1):5-13.

Goodwin, C.L., y B.C. 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. 14p.

Goodwin, C.L., y B.C. Pease. 1987. The distribution of geoduck *Panopea abrupta* (Conrad, 1849), size, density and quality in relation to habitat characteristics such as geographic area, water depth, sediment type and associated flora and fauna in Puget Sound, Washington. Dept. Fish. Prog. Washington. D. C. EEUU. Tech. Rep. 44p.

Gracia, A. 1992. Explotación y manejo del recurso camarón. *Ciencia y Desarrollo*. México. 18(106): 82-95.

- Gutiérrez, G., y J.I. González, 1989. Predicciones de marea de 1990:estaciones mareográficas del CICESE. Informe técnico OC-89-01, CICESE, Ensenada, B.C. México, 129p.
- Hendricks, M., y F. Estrada-Navarrete. 1996. Los camarones pelágicos (Crustacea: Dendrobranchiata y Caridea) del Pacífico Mexicano. CONABIO, México, 157p.
- Herrera-Cervantes, H., S.E. Lluch-Cota, D.B. Lluch-Cota, G. Gutiérrez de Velasco-Sandromán, y D. Lluch-Belda. 2010. ENSO influence on satellite-derived chlorophyll trends in the Gulf of California. *Atmósfera*. 23(3): 253-262.
- Hiriart-Le-Bert, G. 2009. Potencial energético del Alto Golfo de California. Nota técnica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61(1): 143-146.
- Holtschmit, K. H. 1999. Taxonomía de camarón. *Industria Pesquera: Panorama Acuícola*, 4(6): 20-22.
- Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) (2015). El Niño y La Niña. Consultado en Mayo de 2015 de (<http://www.inocar.mil.ec/modelamiento/elniño/>).
- Kahru M., S.G. Marinone, S.E. Lluch-Cota, A. Parés-Sierra, y B.G. Mitchell. 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: Scales from days to ENSO. *Deep-Sea. Res. (II)* 51 (1-3): 139-146.
- Keen, A.M. 1971. *Sea Shells of Tropical West America. Marine Mollusks from Baja California to Peru*. Stanford University Press. Second es. EEUU. 1064p.
- Lavín, M.F., y S. Organista. 1988. Surface heat flux in the Northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. (93): 14033-14038.

- Lepley, L.K., S.P. Vonder-Haar, J.R. Hendrickson, y G. Calderon-Riveroli. 1975. Circulation in the northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Cienc. Mar.* (2): 86-93.
- Lluch-Belda, D., D.B. Luch-Cota, y S.E. Lluch-Cota. 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fish. Oceanogr.* 14:458-467.
- Longhurst, A. 2002. Murphy's law revisited: longevity as a factor in recruitment to fish populations. *Fisheries Research.* 56: 125-131.
- Longhurst, A., S. Sathyendranath, T. Platt, y C. Caverhill. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal Plankton Research.* (17) 1245-1271.
- López-Sánchez, J. L. 2004. Efectos de los eventos El Niño y La Niña (1997-1999) sobre la distribución y abundancia del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) en el Océano Pacífico Oriental. Instituto Politecnico Nacional. La Paz, BCS, México. 81p.
- Magallón-Barajas, F.J., y P. Jaquemin. 1976. Observaciones biológicas sobre tres especies comerciales de camarón en las costas de Sinaloa, México. *Memorias del Simposio sobre Biología y Dinámica Poblacional de Camarones S.I.C./Subsecretaría de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Tomo II.* Guaymas, Sonora, México. 1-27p.
- Mantua, N.J., y S.R. Hare. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography.* (58): 35-44.

- Marinone, S.G., y Lavín, M.F. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, en: M.F. Lavín, editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No.3, Unión Geofísica Mexicana. 113-139.
- Motoh, H. 1985. Biology and ecology of *Penaeus monodon*. In Taki Y., J.H. Primavera, y J.A. Llobrera (Eds.). Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps, 4-7 December 1984, Iloilo City, Philippines (pp. 27-36). Iloilo City, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Musick, J.A., M.M Harbin, S.A. Berkeley, G.H. Burgess, A.M. Eklund, L. Findley, R.G. Gilmore, J.T. Golden, G.R. Huntsman, J.C. McGovern, S.J. Parker, S.G. Poss, E. Sala, T.W. Schmidt, G.R. Sedberry, H. Weeks, y S.G. Wright. 2000. Marine, estuarine, and diadromous fish stocks at risk of extinction in North America (exclusive of Pacific salmonids). *Fisheries*, 25: 6-30.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2014). Imágenes de satélite. Consultado en abril del 2014 en <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2014). Lista de índices ambientales. Consultado en septiembre del 2014 en <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
- Nevárez-Martínez, M.O., E. Morales-Bojórquez, y G.I. Rivera-Parra. 2008. La pesquería de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) del Golfo de California y su relación con la variabilidad ambiental. p. 129-140. En: Variabilidad Ambiental y Pesquerías de México. López-Martínez. J. (Ed.), Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México 216p.

- Orbe, A., y A. Arias. 1987. Métodos de cultivo de camarón en México. SEPESCA 2da. Edición. 29p.
- 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.
- Pérez-Arvizu, E.M. 2009. Caracterización del ecosistema del Alto Golfo de California por medio de percepción remota y su relación con la captura de Camarón azul *Litopenaeus stylirostris* y Curvina golfina *Cynoscion othonopterus*. Tesis de maestría. Instituto Politecnico Nacional. Guasave, Sinaloa. México. 95p.
- Pérez-Arvizu, E.M., E.A. Aragón-Noriega, y L. Espinosa-Carreón. 2009. Response of the shrimp population in the Upper Gulf of California to fluctuations in discharges of the Colorado River. *Crustaceana*. 82 (5):615-625.
- Pérez-Arvizu, E.M., E.A. Aragón-Noriega, y T.L. Espinosa-Carreón. 2013. Variabilidad estacional de la Clo-a y su respuesta a condiciones El Niño y La Niña en el Norte del Golfo de California. *Biología Marina y Oceanografía*. 48(1):131-141.
- Pérez-Gastélum, C. 2002. Estudio circadiano de la producción de enzimas digestivas de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, durante un cultivo semi-intensivo. Tesis de Maestría. Instituto tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México.
- Pérez-Valencia, S.A. 2013. Edad y crecimiento de la almeja de sifón *Panopea globosa* en el Alto Golfo de California, México. CIBNOR, La Paz Baja California Sur. Tesis de doctorado. CIBNOR. La paz, B. C. S. 78p.
- Reyes, A.C., y M.F. Lavín. 1997. Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California. *Atmósfera*, 10:1001-123.

- Robertson, K.R., J.B. Phipps, L.R. Rohrer, y P.G. Smith. 1991. A synopsis of genera in Maloideae (Rosaceae). *Syst. Bot.* 16: 376-394.
- Robinson, M.K. 1973. Atlas of monthly mean sea subsurface in the Gulf of California, México. San Diego Society of Natural History. Memoir 5.97p.
- Roden, G.I., y I. Emilson. 1979. Physical oceanography of the Gulf of California. En: Ayala-Castañares, A., F.B. Phleger., R. Schwartzlose y A. Laguarda (Eds). *El Golfo de California: 1-46*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rodríguez-Quiroz, G. 2008. Sociedad pesca y conservación en la reserva de la biosfera del alto golfo de california y delta del río colorado. Tesis de doctorado. CIBNOR. La Paz, B.C.S. México. 75p.
- Román-Rodríguez, M.J. 1990 Alimentación de *Totoaba macdonaldi* (Gilbert) (Pisces:Sciaenidae) en la parte norte del Alto Golfo de California. *Ecológica* 1 (2):1-9p.
- Román-Rodríguez, M.J. 2000. Estudio poblacional del chano norteño, *Micropogonias megalops* y la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae), especies endémicas del Alto Golfo de California, México. Informe final, proyecto presentado a SNIB-CONABIO. México D.F. 147p.
- SAGARHPA-IAES. 2014. Implementación del programa de monitoreo administrativo para la cuota total de captura de curvina golfina en el Golfo de Santa Clara, temporada 2014. Informe de trabajo. 42p.

- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego., F.E. Müller-Karger. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99(C4): 7423-7431.
- Soto-Mardones, L., S.G. Marinote, y A. Parés-Sierra. 1999. Time and Spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California. *Ciencia Marinas*, 25:1-30.
- Sullivan, S.K., y G. Bustamante. 1999. Setting geographic priorities for marine conservation in Latin America and the Caribbean. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, 125p
- Sverdrup, H.U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion on the cruise of the E. W. Scripps in February and March 1939. *6th Pacific Science. Congress. Proc.* 3:161-166.
- Urosaki, K., y W.H. Bayliff. 1999. A review of the japanese logline fishery for tunas and billifishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 21 (6): 274-488.
- Valdez-Gardea, G.C. 2001. People's responses in a time of crisis: marginalization in the Upper Gulf of California. Tesis Doctoral, The University of Arizona, Tucson, 336p.
- Valdez-Muñoz, C. 2010. Distribución y abundancia de juveniles de totoaba (*Totoaba macdonaldi*: Gilbert, 1891), en relación con las variables ambientales en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Tesis de doctorado. La Paz, BCS. 63p.
- Valdez-Muñoz, C., E.A. Aragón-Noriega, A. Ortega-Rubio, C.A. Salinas-Zavala, J.A. Arreola-Lizárraga, S. Hernández-Vázquez, y L.F. Beltrán-Morales. 2010.

Distribución y abundancia de juveniles de totoaba, *Totoaba macdonaldi* y la salinidad del hábitat de crianza. *Interciencia*. 35(02):136-139.

Wolter, K., y M.S,T. Timlin. 1998. Measuring the streng of ENSO - how does 1997/1998 rank. *Weather*. 53: 315 - 324.

Zavala, J., O. Salmerón, V. Aguilar, S. Cerdeira, y M. Kolb. 2005. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos. Taller para identificar los sitios de mayor importancia para la conservación de la biodiversidad costera y oceánica de México. Organizado por la Conabio, Conanp, TNC-México, y Pronatura, los días 4 y 5 de octubre del 2005.

# ANEXO I

Tabla I. Calendario lunar 2014, que muestra las fechas de la agregación (marcados en color VERDE) a partir de la maduración e hidratación gonadal y de la curvina, y su posterior desove. Periodo Febrero-Mayo.

