



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
(Biología Marina)

Modelación de las fluctuaciones de la abundancia del  
camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives 1891)

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:

**M. en C. Pedro Cervantes Hernández**

**TUTOR PRINCIPAL**

**Dr. Adolfo Gracia Gasca**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

**COMITÉ TUTOR**

**Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

**Dra. Ana Laura Ibañez Aguirre**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

**Dr. Manuel Gallardo Cabello**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

**Dr. Raúl Aguirre Gómez**  
Instituto de Geografía, UNAM

**Dr. Juan Pablo Madrid Vera**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

**Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

MÉXICO, D. F. ABRIL 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## *AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS*

*Agradezco al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por las becas otorgadas para la realización de esta tesis.*

*Mis más sinceros agradecimientos para los laboratorios de Análisis Geoespacial (UNAM) y de Sistemas de Información Geográfica (UMAR), por las facilidades otorgadas en el procesamiento de la información satelital.*

*Sincere thanks to Ocean Color Web for the CZCS and AVHRR image.*

*Por la base de captura comercial de “camarón café”, agradecimientos para los Centros Regionales de Investigación Pesquera Tamaulipas y Veracruz del Instituto Nacional de la Pesca. Por la información ambiental, agradecimientos al Servicio Meteorológico Nacional del estado de Tamaulipas.*

*Al Dr. Adolfo Gracia Gasca, por todo el conocimiento que me ha transmitido sobre los camarones.*

*Al Dr. Raúl Aguirre Gómez, por el apoyo técnico otorgado en el procesamiento de la información satelital*

*Al M. en C. Margarito Álvarez Rubio, por las asesorías en la estadística multivariada.*

*Por sus acertados comentarios y sugerencias que llevaron a buen término este trabajo, agradecimientos para: Dr. Adolfo Gracia Gasca, Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones, Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre, Dr. Manuel Gallardo Cabello, Dr. Raúl Aguirre Gómez, Dr. Juan Pablo Madrid Vera y Dr. Miguel Ángel Cisneros Mata.*

*Al M. en C. Alejandro Gómez Ponce, por todas las facilidades brindadas en aquel viejo Laboratorio de “Ecología Pesquera de Crustáceos” ICMYL (UNAM), donde inició mi formación como analista pesquero.*

## **Modelación de las fluctuaciones de la abundancia del camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives 1891).**

### **Resumen**

Se analizó la captura comercial marina de camarón café en la región Tamaulipas – norte de Veracruz (RTnV) entre 1974 y 1992. La tasa de mortalidad natural se estimó en 0.23 mensual y ésta se incluyó en un análisis de abundancia virtual; posteriormente, con la técnica de componentes principales, se simularon índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA). El índice FR se estructuró usando la abundancia de los jóvenes reclutas con cuatro meses. El índice DA se estructuró con la abundancia para los sub-adultos y adultos entre los 6 y 13 meses. El análisis de la mortalidad por pesca, indicó que los grupos de edad incluidos en ambos índices resultaron sub-explotados y los grupos de edad con 14, 15 y 16 meses se identificaron como sobre-explotados. El grupo de edad con tres meses se observó parcialmente reclutado en el ambiente marino. Las temporadas de reclutamiento ocurrieron de marzo a enero, con máximos de abundancia entre junio y julio. Las temporadas de reproducción ocurrieron de noviembre a agosto, con máximos de abundancia para reproductores entre febrero y marzo. En el ambiente marino de pesca, la abundancia máxima de reclutas coincidió con una baja concentración de clorofila **a** (Cl **a**) (de 0.03 a 0.3 mg·m<sup>-3</sup>) y temperatura superficial del mar (TSM) cálida (de 27 a 29.5°C); mientras que, la abundancia máxima de reproductores, coincidió con una alta Cl **a** (de 0.5 a 1.0 mg·m<sup>-3</sup>) y TSM fría (de 21.0 a 24.8°C). En la RTnV y desde 1993, las temporadas de veda comenzaron a ser implementadas en la pesquería de *F. aztecus*. Se analizó la efectividad de las actuales temporadas de veda (mayo-julio) sobre la protección de la abundancia FR y DA; concluyendo que, éstas debieron y continúan protegiendo al 99% de los reclutas y a una pequeña fracción de los reproductores. En todos los periodos analizados (1974 - 1992, junio 1982 - 1992 y 1993 - 1995), el índice FR registró efectos de correlación directos con la precipitación pluvial y la TSM; e inversos, con el esfuerzo de pesca y la Cl **a**. Por otra parte, el índice DA registró efectos de correlación directos con el esfuerzo de pesca y la Cl **a**; e inversos la precipitación pluvial y la TSM. Se estructuró y validó un modelo canónico para predecir la abundancia FR y DA; cuando el efecto de la Cl **a** se eliminó del modelo canónico, la abundancia FR y DA descendió, pero las variaciones interanuales se conservaron.

**Palabras clave:** camarón café / reclutas / reproductores / abundancia/ Golfo de México.



## **Modeling brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* (Ives 1891) abundance variations.**

### **Abstract**

Offshore brown shrimp catch was analyzed in the Tamaulipas – north of Veracruz region (TnVR) between 1974 and 1992. The natural mortality rate was estimated at 0.23 monthly and it was included in a population abundance analysis; later, recruits (FR) and spawners (DA) abundance indices were modeled with principal component analysis. The FR index was constructed using young shrimp abundance with four months of age. The DA index was constructed using sub-adult and adult shrimp abundance between 6 and 13 months of age. The fishing mortality analysis indicated that age groups included in both abundance indices were underexploited and the age groups with 14, 15 and 16 months were overexploited. The three-month age group was partially recruited to the marine environment. Recruitment seasons occurred from March to January with the maximum abundance of recruits between June and July. Reproductive seasons occurred from November to August with the maximum abundance of spawners between February and March. In the fishing marine environment the maximum abundance of recruits coincided with a low chlorophyll concentration **a** (Cl **a**) (from 0.03 to 0.3 mg·m<sup>-3</sup>) and warm sea surface temperature (SST) (27 to 29.5°C). The maximum abundance of spawners coincided with a high Cl **a** (0.5 to 1.0 mg·m<sup>-3</sup>) and cold SST (21.0 to 24.8°C). In the TnVR, offshore *F. aztecus* closed seasons were implemented since 1993. Current closed seasons (May-July) effectiveness on protecting FR and DA abundance were analyzed, concluding that closed seasons protected and keep protecting 99% of recruits and a small fraction of spawners abundance. In all periods analyzed (1974 - 1992, June 1982 - 1992 and 1993 - 1995), the FR index showed direct relationships with rainfall and SST, and inverse relationships with fishing effort and Cl **a**. On the other hand, the DA index presented direct relationships with fishing effort and Cl **a** and inverse relationships with rainfall and SST. A canonical model was constructed and validated for predicting FR and DA abundance. When Cl **a** effect was removed from the canonical model, FR and DA abundance decreased, but their annual variations were maintained.

**Key words:** brown shrimp / recruits / spawners / abundance / Gulf of Mexico.

## CONTENIDO

	Página
Introducción	1
Antecedentes	4
Área de estudio	8
Hipótesis de trabajo	9
Objetivo general	10
Metas específicas	"
<b>Material y métodos (a)</b>	
Información poblacional	11
<b>Simulación primera parte</b>	
Análisis de la mortalidad	"
Estimación de las tasas M y Z con la CPUE total mensual	"
Estimación de las tasas M y Z con la CPUE por grupos de edad	"
Estimación de las tasas M y Z con la captura total mensual por grupos de edad	12
Estimación de las tasas M y Z con la captura total anual	"
Estimación de <i>las tasas</i> M y Z con los parámetros el crecimiento en longitud	13
Estimación de <i>las tasas</i> M y Z con los parámetros el crecimiento en longitud y la TSM	"
Análisis de sensibilidad para la tasa M	"
Simulación de los índices de abundancia	14
<b>Material y métodos (b)</b>	
Información ambiental y oceanográfica	16
<b>Simulación segunda parte</b>	
Análisis exploratorio de correlación	18
Temporadas de reclutamiento y reproducción	"
<b>Simulación tercera parte</b>	
Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia	19
<b>Resultados</b>	
<b>Simulación primera parte</b>	
Análisis de la mortalidad	22
Análisis de sensibilidad para la tasa M	24
Simulación de los índices de abundancia	"
<b>Simulación segunda parte</b>	
Análisis exploratorio de correlación	27
Temporadas de reclutamiento y reproducción	28
<b>Simulación tercera parte</b>	
Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia	36
Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia (sin la CI a)	41
<b>Discusiones</b>	
<b>Simulación primera parte</b>	
Análisis de la mortalidad	44
Simulación de los índices de abundancia	46
<b>Simulación segunda parte</b>	
Análisis exploratorio de correlación	51
Temporadas de reclutamiento y reproducción	"
<b>Simulación tercera parte</b>	
Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia	55
<b>Conclusiones</b>	58
<b>Literatura citada</b>	60
Anexo I	69
Anexo II	71
Anexo III	73

## Listado de figuras

Figura 1. Variación histórica de la captura y del esfuerzo de pesca para la pesquería de camarón en el Golfo de México, período 1963 - 1991. Tomado y modificado de Gracia (2004). **Página 2**

Figura 2. Variación histórica de la captura artesanal y marina de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1949 – 1999. Tomado y modificado de Gracia (2004). **Página 2**

Figura 3. Localización geográfica de la RTnV, mostrando la red fluvial de mayor influencia. Río Bravo (a), Río San Fernando (b), Río Soto La Marina (c), Río Tamesí. Inédito (2015). **Página 9**

Figura 4. Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro). En el recuadro superior derecho, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro) y adicionalmente, se indica el mes con un registro deficiente para la concentración clorofila **a** (Cl **a**) (símbolo \*). Temperatura superficial del mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME). Una imagen de “máscara”, es un corte irregular georreferido, que se superpone en **n** imágenes de satélite, de la que se extrae el valor para una variable oceanográfica específica, en una región costero/marina (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015). **Página 18**

Figura 5. ANDEVA para el número de camarones supervivientes en la cohorte de enero 1978. Tasa de mortalidad natural (M), desviación estándar (DE). **Página 24**

Figura 6. Cluster por similitud para el número de camarones supervivientes en la cohorte de enero 1978. Tasa de mortalidad natural (M). **Página 24**

Figura 7. Análisis de la tasa F sobre los grupos de edad en la población de *F. aztecus*, periodo 1974 - 1992. Los valores decimales, representan a las tasas de mortalidad por pesca (F). **Página 25**

Figura 8. Variación interanual de la abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 - 1992. **Página 26**

Figura 9. Variación interanual de la abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, con respecto a la serie de tiempo del índice multivariado del ENOS (IME), periodo 1974 - 1992. **Página 28**

Figura 10. Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondiente a los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 - 1992. **Página 29**

Figura 11. Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV. Se ilustra una selección temporal arbitraria (e.g. de julio 1982 a septiembre 1986). Los rectángulos grises representan el transcurso de las temporadas de veda marinas (de mayo a julio) (Gracia, 1997; 2004) y los espacios entre rectángulos, representaron el transcurso de las temporadas de pesca (de agosto a abril) (INP, 2007). **Página 29**

Figura 12. Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi) y precipitación pluvial (Pp), periodo 1974 - 1992. **Página 30**

Figura 13. Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), concentración de clorofila **a** (Cl **a**) y temperatura superficial de mar (TSM), periodo 1974 - 1992. **Página 31**

Figura 14. Secuencia cronológica para los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas (FR), periodo 1974 - 1992. **Página 31**

Figura 15. Secuencia cronológica para los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores (DA), período 1974 - 1992. **Página 31**

Figura 16. Secuencia cronológica para la concentración de clorofila **a** (Cl **a**), durante los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de junio y julio. 1979 (a), 1980 (b), 1981 (c), 1982 (d), 1983 (e), 1984 (f), 1985 (g), 1986 (h). Imagen de "máscara" M1 (región marina de pesca en color gris claro). **Página 32**

Figura 17. Secuencia cronológica para la concentración de clorofila **a** (Cl **a**), durante los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de febrero y marzo. 1979 (a), 1980 (b), 1981 (c), 1982 (d), 1983 (e), 1984 (f), 1985 (g), 1986 (h). El compuesto correspondiente a 1978 fue defectuoso. Imagen de "máscara" M1 (región marina de pesca en color gris claro). **Página 33**

Figura 18. Secuencia cronológica para la temperatura superficial del mar (TSM), durante los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses junio y julio. 1985 (a), 1986 (b), 1987 (c), 1988 (d), 1989 (e), 1990 (f), 1991 (g), 1992 (h). Imagen de "máscara" M1 (región marina de pesca en color gris claro). **Página 34**

Figura 19. Secuencia cronológica para la temperatura superficial del mar (TSM), durante los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de febrero y marzo. 1985 (a), 1986 (b), 1987 (c), 1988 (d), 1989 (e), 1990 (f), 1991 (g), 1992 (h). Imagen de "máscara" M1 (región marina de pesca en color gris claro). **Página 35**

Figura 20. Variación interanual de la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV. Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro). Concentración de Clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial del mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp). Entre 1981 y 1992, las predicciones observadas no alcanzan a apreciarse (línea gris continua), porque resultaron iguales a las esperadas (línea gris discontinua). **Página 40**

Figura 21. Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), concentración de clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial de mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi) y precipitación pluvial (Pp), período 1993 - 1995. Los registros de Cl **a** corresponden al periodo de enero 1982 a diciembre 1984. **Página 40**

Figura 22. Variación interanual en la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índice de abundancia para reclutas (FR) de *F. aztecus* en la RTnV (sin el efecto de la concentración de Cl **a**). Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro). **Página 43**

Figura 23. Variación interanual en la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices de abundancia para reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV (sin el efecto de la concentración de Cl **a**). Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro). **Página 43**

Figura 24. Secuencia cronológica para concentración de clorofila **a** (Cl **a**) y la temperatura superficial del mar (TSM) 2013, indicando que las condiciones oceanográfica actuales del 2013 en la RTnV, han sido persistentemente las mismas, como en las que históricamente, se han desarrollado las generaciones

principales de *F. aztecus*. Para el índice de abundancia FR, los compuestos de promedio son para los meses junio y julio (b y d); para el índice de abundancia DA, los compuestos de promedio son para los meses de febrero y marzo (a y c). Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro). **Página 44**

Figura 25. Compuestos regionalizados para la CI **a** en los golfos de Tehuantepec y Papagayo. Temporada de Nortes sin “El Niño” (La Niña) (a), temporada de Nortes con “El Niño” (b). Tomado y modificado de Frías-Velasco (2004). **Página 57**

Figura 26. Concentración media mensual de la clorofila **a** en el Golfo de Tehuantepec, periodo de septiembre 1997 a agosto 2008. Tomado de Salmerón-García *et al.* (2010). **Página 58**

## Listado de tablas

Tabla I. Modelo estadístico para simular índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 – 1992.  $G_{xrq}$  es el valor de la abundancia virtual en el mes  $x$  para la cohorte  $r$  a la edad  $q$ . Tomado y modificado de Cervantes-Hernández (2008). **Página 16**

Tabla II. Análisis de mortalidad (primera parte). Tasas de mortalidad natural (M), total (Z), por pesca (F), coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), significancia estadística ( $p$ ). **Página 23**

Tabla III. Análisis de mortalidad (segunda parte). Tasas de mortalidad natural (M), total (Z), coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), significancia estadística ( $p$ ). **Página 23**

Tabla IV. Ordenación por ACP, señalando las cargas factoriales significativas (negritas) para cada grupo de edad ( $G_n$ ), en las componentes principales Cp1 (índice DA), Cp2 (índice FR). **Página 25**

Tabla V. Análisis de correlación (primera parte), periodo 1974 - 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 228$ ). Esfuerzo de pesca ( $f_i$ ), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME), concentración de clorofila **a** (CI **a**), temperatura superficial del mar (TSM). **Página 27**

Tabla VI. Análisis de correlación (segunda parte), periodo 1974 - 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 228$ ). Esfuerzo de pesca ( $f_i$ ), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME), concentración de clorofila **a** (CI **a**), temperatura superficial del mar (TSM). **Página 27**

Tabla VII. Registros complementarios para la TSM, obtenidos del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration. **Página 34**

Tabla VIII. Registros complementarios para la TSM, obtenidos del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration. **Página 35**

Tabla IX. Abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus*, esfuerzo de pesca ( $f_i$ ), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila **a** (CI **a**), temperatura superficial del mar (TSM). Periodo de junio 1982 a septiembre 1983. **Página 36**

Tabla X. Resultados para el MCC. Índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca ( $f_i$ ), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila **a** (CI **a**), temperatura superficial del mar (TSM). Los valores inscritos, representan a las cargas factoriales o efectos de correlación canónicos. **Página 36**

Tabla XI. Predicciones retrospectivas del MCC (1) sobre la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo de junio 1982 a septiembre 1983. **Página 39**

Tabla XII. Predicciones retrospectivas del MCC (6) sobre la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo de junio 1982 a septiembre 1983. **Página 39**

Tabla XIII. Análisis de correlación auxiliar, periodo de junio 1982 a 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 126$ ). Abundancia virtual esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial del mar (TSM). **Página 41**

Tabla XIV. Análisis de correlación auxiliar, periodo 1993 – 1995 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 36$ ). Abundancia virtual esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial del mar (TSM). **Página 41**

Tabla i. Algoritmos de escala (a.e.), rangos válidos de operación (r.v), valor digital (v.d.), precisión (pr.). Tomado y modificado de Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia (2015). **Página 69**

Tabla ii. Características ópticas del sensor CZCS. Tomado de Aguirre-Gómez (2002). **Página 70**

Tabla iii. Características del sensor AVHRR. Tomado de Aguirre-Gómez (2002). **Página 70**

Tabla anexo III. Matriz de captura marina de *F. aztecus* con separación de grupos de edad ( $10^6$  número de ejemplares), periodo 1974 - 992. Edad estimada (Et, en meses). **Página 73**

## Producción académica derivada de este trabajado

Con los modelos estadísticos desarrollados en este trabajo, paralelamente se generó la siguiente producción académica:

### Artículos científicos

(1) Ramos-Cruz, S., Sánchez-Meraz, B., Carrasco-Ayuso, F. & P. Cervantes-Hernández. 2006. Estimación de la tasa de mortalidad natural de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes 1900) y *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41(2):221-229.

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47941210>

(2) Cervantes-Hernández, P. 2008. Method to obtain indices of abundance in the population of brown shrimp from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Revista Biología Marina y Oceanografía* 43(1):111-119.

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47943111>

(3) Cervantes-Hernández, P., B. Sánchez-Meraz, J. S. Serrano-Guzmán, A. Frías-Velasco, S. Ramos-Cruz & A. Gracia. 2008a. Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 18(3):215-226.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v18n3/v18n3a5.pdf>

(4) Cervantes-Hernández, P., M. I. Gallardo-Berumen, S. Ramos-Cruz, M. A. Gómez-Ponce & A. Gracia. 2008b. Análisis de las temporadas de veda en la explotación marina de camarones del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(2):285-294.

<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47943206>

(5) Cervantes-Hernández, P. & A. Gracia. 2011. Análisis de la mortalidad para el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Decapoda, Dendrobranchiata) del Banco de Campeche, México. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 6(2):100-108.

[http://www.panamjas.org/pdf\\_artigos/PANAMJAS\\_6\(2\)\\_100-108.pdf](http://www.panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_6(2)_100-108.pdf)

### Artículos de difusión científica

Cervantes-Hernández, P. 2007. Un modelo para corregir la predicción canónica. *Ciencia y Mar* 11(31):39-44.

[www.umar.mx/revistas/31/prediccion-canonica.pdf](http://www.umar.mx/revistas/31/prediccion-canonica.pdf)

Cervantes-Hernández, P. 2011. Conversión de imágenes de satélite en formato HDF a Arc/Info ASCII.ASC, para su posterior utilización en el programa computacional MaxEnt. *Ciencia y Mar* 15(44):61-64.

[http://www.umar.mx/revistas/44/10\\_icyt.pdf](http://www.umar.mx/revistas/44/10_icyt.pdf)

## Dirección de tesis

Vázquez-Gil, A. 2003. Análisis de la mortalidad del caracol púrpura *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) en bahías de Huatulco, Oaxaca. Tesis Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México. 41 p.

Frías-Velasco, A. 2004. Regionalización de los Golfos de Tehuantepec , Papagayo, Panamá y áreas adyacentes mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes satelitales. Tesis Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México. 66 p.

Gallardo-Berumen, M. I. 2005. Análisis del sistema de vedas sobre la explotación del recurso camarón el Golfo de Tehuantepec. Tesis Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México. 48 p.

Sánchez-Meraz, B. 2005. Respuestas del reclutamiento del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) a la variación interanual de la temperatura superficial del mar en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. Tesis Maestría, Universidad del Mar Puerto Ángel, Oaxaca, México. 64 p.

Llaguno-Aguinaga, A. 2006. Fluctuación de la abundancia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931), en el Golfo de Tehuantepec. Su relación con la temperatura superficial del mar y clorofila *a* cuantificados por percepción remota. Tesis Maestría, Universidad del Mar Puerto Ángel, Oaxaca, México. 74 p.



## Citación para los artículos científicos

(1) Ramos-Cruz, S. 2009. Tallas, sexo y desarrollo gonádico de *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) durante la veda de 1999 en el Golfo de Tehuantepec, México. *Ciencia Pesquera* 17(2):29-39.

<http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/publicaciones/cienciapesquera/CP17-2/Tallas,%20sexo%20y%20desarrollo%20gon%C3%A1dico%20de%20Litopenaeus%20vannamei,%20durante%20la%20veda%20de%201999%20en%20el%20Golfo%20de%20Tehuantepec,%20M%C3%A9xico.pdf>

(1, 4) Ramírez Rivera, E. J., G. L. Ramón-Canul, Y. Huante-González, A. J. Shaín-Mercado, H. Bravo-Delgado & C. Martínez-Liévana. 2009. Caracterización sensorial del camarón ahumado (*Litopenaeus vannamei*) mediante la técnica perfil flash. *Ciencia y Mar* XIII(38):27-34.

[http://www.umar.mx/revistas/38/Camaron\\_ahumado-CyM-038.pdf](http://www.umar.mx/revistas/38/Camaron_ahumado-CyM-038.pdf)

(1) Jason S. L. & J. S. Idoine. 2009. Estimates of predator consumption of the northern shrimp *Pandalus borealis* with implications for estimates of population biomass in the Gulf of Maine. *North American journal of Fisheries Management* 29:1567-1583.

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1577/M08-233.1>

(4) Madrid-Vera, J., D. Chávez-Herrera, J. Melchor-Aragón, R. Meraz-Sánchez, & J. A. Rodríguez-Preciado. 2012. Management for the white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from the Southeastern Gulf of California through Biomass Models Analysis. *Open Journal of Marine Science* (2):8-15.

[http://file.scirp.org/Html/2-1470020\\_17063.htm](http://file.scirp.org/Html/2-1470020_17063.htm)

(1, 2, 4, 5) Giménez-Hurtado, E. R., R. Alzugaray-Martínez, Y. Garcés-Rodríguez, G. Delgado Miranda & A. Ventura Flores. 2012. Reclutamiento del camarón rosado *Fafantepenaeus notialis* (Decapoda:Penaeidae) en el Golfo de Ana María, Cuba. *Serie Oceanológica* 10:77-88.

[http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/reclutamiento\\_camaron\\_108.pdf](http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/reclutamiento_camaron_108.pdf)

(1, 4) Perera-García, M. A., M. Mendoza-Carranza, M. Huerta-Ortiz, W. M. Contreras-Sánchez, M. I. Gallardo-Berumen, R. E. Hernández-Gómez, R. Jiménez-Vera, A. Castillo-Domínguez & M. Ortiz-Hernández. 2012. Evaluación de la pesquería del robalo blanco *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae), Tabasco, México. *Kuxulkab* 18(34):29-35.

[http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/34/d\\_Perera\\_Garcia\\_etal.pdf](http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/34/d_Perera_Garcia_etal.pdf)

(1) Ramos-Cruz, S. 2012. Aspectos biológicos y poblacionales del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) durante la veda de 2006 en el Golfo de Tehuantepec, México. *CICIMAR Oceanides* 27(1):11-24.

<http://www.cicimar.ipn.mx/oacis/Medios/oceanides/P%20011%20Sebastian%20ramos.pdf>

(1) Cruz-Escalona, V. H., M. V. Morales-Zarate, A. F. Navia, J. M. Rodríguez-Barón & P. Del Monte-Luna. 2013. Análisis funcional de la red trófica de Bahía Magdalena Baja California Sur, México. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(3):519-544.

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-560X2013000300015](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2013000300015)

(3) Alejo-Plata, C., J. L. Gómez & S. Serrano-Guzmán. 2014. Variabilidad en la abundancia relativa, estructura por tallas y proporción de sexos del dorado *Coryphaena*

*hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) en el Golfo de Tehuantepec, México. Revista de Biología Tropical 62 (2):611-626.

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442014000100017&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442014000100017&script=sci_arttext)

<sup>(5)</sup> Diario Oficial de la Federación (28 de marzo 2014). Acuerdo por el que se da a conocer el plan de manejo pesquero de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), de la Sonda de Campeche.

[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5338728&fecha=28/03/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5338728&fecha=28/03/2014)

## Introducción

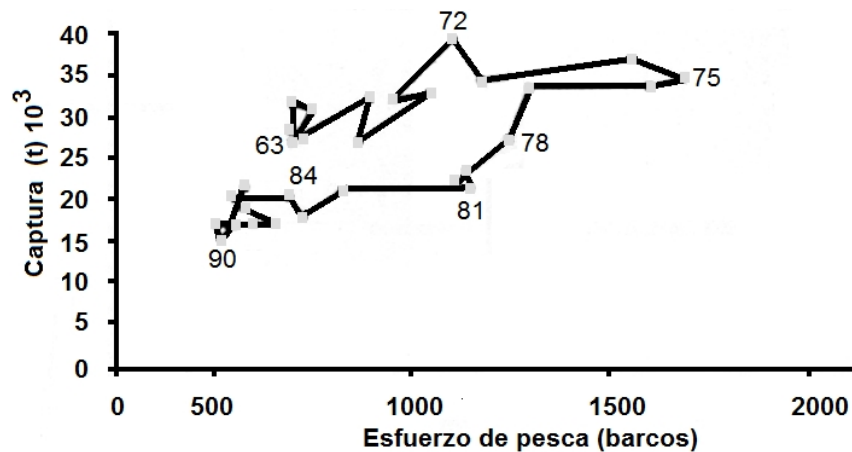
De acuerdo a los principales núcleos de agregación en la abundancia de camarón, para el Golfo de México, se definen tres regiones camaroneras: (i) Tamaulipas-Veracruz, (ii) Sonda de Campeche y (iii) Contoy, Quintana Roo. Para estas regiones, está documentada la presencia de las especies de camarón “café” *Farfantepenaeus aztecus* Ives, 1891, “blanco” (*Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767)), “rosado” *Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939 y “rojo” *Farfantepenaeus brasiliensis* Latreille, 1817. El camarón café es dominante en la primera región y en la segunda, los camarones blanco y rosado presentan una alta abundancia; en la tercera región, la mayor captura corresponde al camarón rojo (Gracia, 2004).

En el Golfo de México, la pesquería de camarón inició en 1950, alcanzando el máximo de explotación en la década de los setenta; particularmente en 1972, se reportó una producción record de 35,500 t (Fig. 1), que fue extraída por las flotas camaroneras de México, E.U. y Cuba, conjuntando un nivel de esfuerzo de 1,100 barcos arrastreros (Gracia y Vázquez-Bader, 1999). Anterior a 1984, el rendimiento máximo se documentó en 10,000 t para la región Tamaulipas-Veracruz, de 30,000 t para la Sonda de Campeche y en 2,000 t para Contoy (Arreguín-Sánchez y Chávez, 1985). Para la primera región, el INP (2011) reportó una captura de 15,374 t, 33% se obtuvo en las áreas de crianza y el resto, en la región marina de pesca.

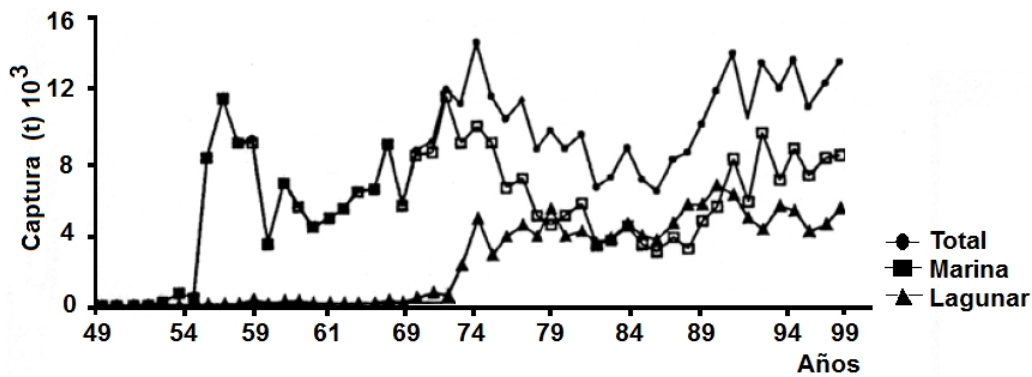
En la región Tamaulipas - norte de Veracruz (RTnV, en adelante), el historial de explotación sobre *F. aztecus*, es similar al registrado en el Golfo de México (Fig. 1), con máximos de captura obtenidos en la década de los setenta (Fig. 2). Durante este mismo periodo, se documentó el inicio de la pesca artesanal en las áreas de crianza, principalmente en la Laguna Madre, Tamaulipas (Fig. 3) y la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. Gracia (1997; 2004), indicó que con el establecimiento y desarrollo de la pesca ribereña, comenzó la reducción histórica de la captura marina; y para corregir lo anterior, en 1993 comenzó el establecimiento de vedas temporales en la región marina de pesca (de 45 a 90 días entre mayo y julio) y en las áreas de crianza (de 45 días entre junio y julio).

La implementación de vedas temporales en la pesquería de *F. aztecus* inició en el mar territorial de Texas, E.U., entre los meses de mayo y julio 1959 (Klima, 1989). Para la RTnV, además de lo descrito por Gracia (1997; 2004), se sabe están documentados los resultados de la veda experimental marina del 15 de junio al 31 de julio de 1974. (Castro y Villalobos, 1976). En los últimos nueve años y en función a los cambios en la fuerza del reclutamiento, las temporadas de veda se han ido modificando; pero consistentemente, dentro en el rango de mayo a agosto (para la región marina de pesca) y de mayo a julio (para las áreas de crianza) (INP, 2007; 2011). Los objetivos principales de éstas, son la protección de los estadios juveniles, la maximización de la talla y el incremento en el valor de la captura.

La especie que actualmente mantiene activa a la pesca de camarón en el Golfo de México, es *F. aztecus*; porque según Gracia (2004), esta pesquería se reporta en mejor condición de explotación, en comparación, con el resto de las otras pesquerías de camarón.



**Figura 1.** Variación histórica de la captura y del esfuerzo de pesca para la pesquería de camarón en el Golfo de México, período 1963 - 1991. Tomado y modificado de Gracia (2004)



**Figura 2.** Variación histórica de la captura artesanal y marina de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1949 – 1999. Tomado y modificado de Gracia (2004)

Para las especies de camarón del Golfo de México, diferentes autores han utilizado registros históricos de captura comercial, para simular procesos dinámicos poblacionales (e.g.: mortalidad, reclutamiento y reproducción). (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Solana-Sansores *et al.*, 1989; 1993; Gracia, 1989; 1991). Al respecto, Ye (2000) señaló que esos procesos son difíciles de obtener, toda vez que sean simulados exclusivamente con registros de captura comercial o captura por unidad de esfuerzo (CPUE); porque en éstas, no se considera la separación entre la captura correspondiente para reclutas y reproductores. Por lo anterior, en este trabajo, se analizó la captura comercial marina de *F. aztecus*, separando de ésta, índices de abundancia para reclutas (índice FR, en adelante) y reproductores (índice DA, en adelante). En la RTnV entre 1974 y 1992, las temporadas de veda aún no habían sido implantadas, pero se consideró incluir a las reportadas por (Gracia, 1997; 2004), para verificar por primera vez, con la variación interanual de la abundancia FR y DA, cuál temporada biológica se ha protegiendo entre el pasado y el presente (la temporada de reclutamiento o la temporada de reproducción). Adicionalmente y anterior a la implementación de vedas, se obtuvieron conclusiones acerca de nivel de explotación histórico, que se ejerció sobre los grupos de edad, con los que se estructuraron a los índices de abundancia FR y DA.

Son escasos los trabajos en los que para explicar la variación interanual de la abundancia para reclutas y reproductores, se ha integrado información oceanográfica satelital. Lo anteriores de suma importancia (Joint y Groom, 2000), si se pretende

evaluar a las pesquerías de camarón a nivel de macro-escala (Cervantes-Hernández *et al.*, 2012), porque para una misma especie, son indispensables trabajos en diferentes regiones marinas y áreas lagunares. Para el caso marino, un ejemplo de esto fue documentado en el Golfo de Tehuantepec por Cervantes-Hernández *et al.* (2008a), quienes analizaron y describieron la variación interanual en la abundancia para reclutas y reproductores de *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 (de 1989 a 1998), con respecto, a la variación interanual en la concentración de la clorofila *a* (Cl *a*, en adelante) y la temperatura superficial del mar (TSM, en adelante). Cervantes-Hernández *et al.* (2008b), puntualizaron que el trabajo anterior, fue fundamental para sentar las bases ecológicas, pesqueras y oceanográficas, con las que se propuso y fundamentó un cambio en la implementación de vedas, separando el manejo de camarón entre la región del Golfo de Tehuantepec y resto del Pacífico mexicano.

Uno de los principales intereses en ecología pesquera, es comprender a macro-escala, los procesos oceanográficos que condicionan la variación interanual de la producción primaria neta (Malone y Roederer, 1985; Kahru, 2008). Ésta última, se ha monitoreado con información satelital de Cl *a* ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) o “color del mar”, radiación fotosintética activa (RFA,  $\text{Einstein m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) y TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo y debido a la dificultad técnica que representa el cuantificar a todas éstas en diferentes regiones oceánicas (conservando la simultaneidad en tiempo), el uso de la información oceanográfica satelital se ha extendido ampliamente en el área de la ecología pesquera (Joint y Groom, 2000; Aguirre-Gómez, 2002; Gracia, 2001; Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b; Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015).

Para el estudio del color del mar, se han implementado sensores ópticos que funcionan en la banda electromagnética del visible, de 400 a 700 nm. (Sturm, 1983, Austin y Petzold, 1981; Herron *et al.*, 1989). La primera generación de éstos, corresponde al sensor Coastal Zone Color Scanner (CZCS, en adelante), cuyos registros, están documentados de noviembre 1978 a junio 1986 (Anexo I). Para la segunda generación, se emplearon los sensores Ocean Color and Temperature Sensor (OCTS) y el Sea-viewing Wide Field-of-view Scanner (SeaWiFS, en adelante), cuyos registros están documentados entre noviembre 1996 y junio 1997 y de septiembre 1997 a diciembre 2010, respectivamente (Gordon y Wang, 1994; Aguirre-Gómez, 2002; Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015) (Anexo I). Para el estudio de la TSM, se han implementado sensores que trabajan en los rangos del infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico (Aguirre-Gómez, 2002) (Anexo I). Entre 1985 y 2009, la TSM se registró con los satélites NOAA del 1 al 5, que incluyeron al sensor Very High Resolution Radiometer (AHRR, en adelante); y los satélites NOAA del 6 al 9, que incluyen al sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR, en adelante), cuyos registros van de noviembre 1985 a la fecha. Además de la información oceanográfica satelital antes descrita, en el portal Ocean Color Web<sup>1</sup> están disponibles en el formato Hierarchical Data Format (HDF)<sup>2</sup>, otros tipos de información oceanográfica (e.g.: PAR, altimetría y viento entre otros) a 4 y 9 km, con diferente nivel de procesamiento (del L<sub>1</sub> al L<sub>4</sub>)<sup>3</sup>.

<sup>1</sup><http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

<sup>2</sup><http://www.hdfgroup.org/products/hdf4/>

<sup>3</sup><http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/Formats.html>

Con la implementación de nuevas técnicas para el análisis estadístico - pesquero, se analizó la captura comercial marina de *F. aztecus*, registrada en la RTnV entre 1974 y 1992. Con base en lo anterior, se simularon: (i) el intervalo confiable de la tasa de mortalidad natural (M, en adelante) y (ii) los índices de abundancia FR y DA, con su correspondiente variación interanual en abundancia. Para este periodo, se recabó información ambiental (e.g.: precipitación pluvial (Pp, en adelante), descarga fluvial total (Df, en adelante), índice multivariado del ENOS (IME, en adelante)), oceanográfica (e.g.: CI a y TSM) y del esfuerzo de pesca (fi, en adelante). Para cada tipo de información, se crearon series de tiempo con las que se realizó un análisis exploratorio de correlación; y a partir de éste, se identificaron y seleccionaron de entre el grupo ambiental y oceanográfico (además de fi), a las que resultaron significativas con respecto a los índices de abundancia FR y DA (el resto, no se consideró para la realización de otros análisis). Lo anterior fue necesario por hacer, porque entre 1974 y 1992, no se tuvo un registro completo y consistente en la información ambiental y oceanográfica, con excepción del periodo de junio 1982 a septiembre 1983. Las series de tiempo que fueron seleccionadas (incluidos los índices de abundancia), se transformaron a ciclos armónicos, para describir con mayor detalle los efectos de correlación. Los ciclos armónicos de FR y DA, se utilizaron para delimitar con una mayor exactitud, las temporadas de reclutamiento y reproducción, así como para identificar las fechas en la que ocurrieron los respectivos máximos y mínimos de abundancia. Para éstas últimas, se consideró una descripción detallada de las condiciones oceanográfica ocurridas en la RTnV, respecto a la CI a y la TSM, Tomando como referencia el periodo de junio 1982 a septiembre 1983 y con las series de tiempo seleccionadas, se estructuró un modelo de correlación canónica (MCC, en adelante), para predecir retrospectivamente, la variación interanual de la abundancia FR y DA. Para validar al MCC, se realizaron predicciones del mismo tipo en el periodo de junio 1982 a 1992 (primera validación); y prospectivamente, entre 1993 y 1995 (segunda validación). Debido a que para los dos últimos periodos, no existe un registro continuo de CI a, el MCC se corrió y validó nuevamente, sin incluir el efecto de la CI a.

## Antecedentes

### Simulación de índices de abundancia

Al noroeste del Golfo de México, Solana-Sansores *et al.* (1989) simularon la variación interanual de la abundancia para reclutas y reproductores de *F. aztecus*. Los autores utilizaron el valor mensual del número de camarones capturados por grupos de edad entre 1974 y 1982. La información fue analizada virtualmente y posteriormente se ordenó con la técnica de componentes principales; con éste último, se estructuraron dos índices de abundancia: (i) la fuerza del reclutamiento y (ii) la densidad de adultos reproductores. El primer índice, se estructuró con el número de camarones correspondientes a los grupos de edad con tres y hasta siete meses. El segundo índice, se estructuró con el número de camarones correspondientes a los grupos de edad entre ocho y 12 meses. La fuerza del reclutamiento, registró máximos en el número de camarones durante el verano. La densidad de adultos reproductores, registró máximos en el número de camarones a finales del verano y principios del otoño.

Con base en la simulación canónica entre 1974 y 1982, Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez (1993), analizaron los efectos de la precipitación pluvial y del esfuerzo de

pesca, sobre la fuerza del reclutamiento y la densidad de adultos reproductores de Solana-Sansores *et al.* (1989). La fuerza del reclutamiento estuvo altamente correlacionada canónicamente con el esfuerzo de pesca ( $R_{cc}^2 = 0.91$ ,  $p < 0.05$ ); mientras que, la densidad de adultos reproductores, tuvo una correlación canónica fuerte con la precipitación pluvial ( $R_{cc}^2 = 0.99$ ,  $p < 0.05$ ).

Cervantes-Hernández (2008), propuso un modelo estadístico para estructurar índices de abundancia para reclutas y reproductores de *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec (entre 1989 y 1998). La información fue analizada virtualmente y posteriormente se ordenó con la técnica de componentes principales; con éste último, se estructuraron dos índices de abundancia: (i) la abundancia de reclutas o índice FR y (ii) la abundancia de reproductores o índice DR. El primer índice, se estructuró con la abundancia de las cohortes correspondientes al grupo de edad con cuatro meses. Para estructurar la abundancia DA, se consideró la adición de la abundancia de las cohortes correspondientes a los grupos de edad entre seis y 11 meses. Los grupos de edad con los que se estructuraron a los índices de abundancia, se reportaron sub-explotados y fueron los que mantuvieron la continuidad de la pesquería. Los grupos de edad entre 12 y 16 meses se reportaron sobre-explotados; mientras que, en el ambiente marino, el grupo de edad con tres meses, se encontró parcialmente reclutado a la población de adultos. Entre julio y agosto/septiembre, la abundancia de reclutas fue mayor a la abundancia de reproductores; y de octubre a enero, la abundancia de reproductores fue mayor a la abundancia de reclutas.

Los índices de abundancia reportados por Cervantes-Hernández (2008), se correlacionaron con la TSM de 1989 a 1998 (primer periodo); y para un segundo periodo (entre noviembre 1996 y mayo 1998), con la TSM y la CI a (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008a). Para el primer periodo, la TSM tuvo un efecto de correlación directo con el índice de abundancia FR; e inverso, con el índice de abundancia DA. Por otra parte y para éste último periodo, los máximos de la abundancia FR ocurrieron entre 29.3 y 29.7°C; y los máximos de la abundancia DR de 28.1 a 28.7°C. Para el segundo periodo, la CI a tuvo un efecto de correlación inverso con el índice de abundancia FR; y directo, con el índice de abundancia DA. Durante el último periodo, la abundancia máxima FR ocurrió a una TSM cálida (1.5°C mayor), que la registrada durante la abundancia máxima DA. La CI a fue menor durante el máximo de abundancia FR (0.13 mg·m<sup>-3</sup>) y mayor, durante los máximos de la abundancia DR (de 0.42 a 1.10 mg·m<sup>-3</sup>).

Con los resultados obtenidos por Cervantes-Hernández *et al.* (2008a), Cervantes-Hernández *et al.* (2008b), analizaron el estado de explotación para las pesquerías de *F. californiensis* y *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 en el Golfo de Tehuantepec (de 1993 a 1997). Complementariamente, para la última especie, se estructuraron índices de abundancia según Cervantes-Hernández (2008). A cada índice de abundancia (series de tiempo), les fueron extraídos dos componentes espectrales: (i) el ciclo y (ii) la tendencia. La variación interanual del ciclo, se utilizó para analizar la pertinencia de cinco temporadas de veda (de mayo/junio a agosto). Los resultados indicaron, que las vedas protegieron al 100% de los reclutas de *L. vannamei* y 90% de *F. californiensis*. La pesquería de *L. vannamei* se evidenció sobre-explotada, porque las tendencias en la abundancia para reclutas y reproductores se observaron al descenso. La pesquería de *F. californiensis* se reportó un estado aceptable de explotación, porque las tendencias

en la abundancia para reclutas y reproductores se observaron estables (sin una clara ascendente o descendente). Los autores mencionaron, que el sistema de vedas implantado para todo el Pacífico mexicano, no es funcional en el Golfo de Tehuantepec (particularmente en la zona marina 90 de pesca), porque no se cumple con los objetivos para los cuales éstas fueron creadas; esto es, la protección simultánea de los períodos de reproducción y de desove. Se propuso un corrimiento en las fechas para la implementación de las vedas temporales, que va de julio/junio a octubre, para asegurar en ambas especies, la protección parcial de los reproductores y del crecimiento del crecimiento de los reclutas.

### **Mortalidad natural**

En la fase marina de explotación, Ramos-Cruz *et. al.* (2006) estimaron la tasa  $M$  para *F. californiensis* y *L. vannamei* en el Golfo de Tehuantepec. Los datos que se analizaron fueron: (i) la captura comercial (en t), (ii) el esfuerzo de pesca (en número de viajes), (ii) la CPUE (toneladas por número de viajes) y (iv) los parámetros de crecimiento en longitud de Chávez (1979). Los periodos analizados fueron (i) entre diciembre 1989 y diciembre 1998 para *F. californiensis* y (ii) de octubre 1992 a diciembre 1998 para *L. vannamei*. Los modelos basados en la talla, resultaron los más confiables para estimar la tasa  $M$ ; la que resultó para *F. californiensis* en 0.22 mensual y para *L. vannamei*, en 0.20 mensual. Por otra parte, la mortalidad por pesca se incrementó entre los cuatro y 16 meses de edad ( $F_4 = 0,02$  y  $F_{16} = 0,79$  mensual para camarón blanco) y ( $F_4 = 0,18$  y  $F_{16} = 1,61$  mensual para camarón café). Para ambas especies de camarón, se ejerció una menor explotación sobre de los reclutas y mayor, sobre los reproductores. Esta tendencia, aparentemente continúa vigente según lo reportado por el Instituto Nacional de la Pesca en la temporada de pesca 2003 - 2004.

Cervantes-Hernández y Gracia (2011), realizaron el análisis de mortalidad para *F. duorarum* del Banco de Campeche, México (periodo 1974 -1989). Los datos que se analizaron fueron: (i) la captura comercial (en t), (ii) el esfuerzo de pesca (en número de viajes), (ii) la CPUE (toneladas por número de viajes) y (iv) los parámetros de crecimiento en longitud de Gracia (1995). Para esta población, la tasa  $M$  fue de 0.21 mensual. Por otra parte, se reportó un manejo inadecuado en la pesquería, con una reducción marcada de la captura comercial entre 1980 y 1989, con niveles aún más bajos en 1993. Posterior a este último año, se desconoce el estado de explotación de la pesquería. Los juveniles de camarón rosado entre cinco y seis meses de edad, fueron capturados intensamente antes de alcanzar la edad de madurez sexual (siete meses de edad). La protección de los juveniles en los sistemas lagunares costeros, es recomendable para incrementar la fecundidad poblacional, porque los adultos reproductores entre ocho y 16 meses de edad, resultaron con muy baja abundancia poblacional.

### **Otras investigaciones relevantes**

En la Laguna Madre, Tamaulipas, México (localidades: Carrizal y Carbonera), durante la temporada de pesca de octubre 2007 a agosto 2008, Pérez-Castañeda *et. al.* (2015), analizaron el cambio en la estructura de tallas para *F. aztecus*, *F. duorarum* y *L. setiferus*. Se colectaron 1,654 ejemplares de camarón; de los cuales, *F. aztecus* fue el más abundante, seguido de *F. duorarum* y *L. setiferus*. Las capturas estuvieron



conformadas predominantemente por ejemplares subadultos (80.4%) y adultos (4.4%); mientras que, el 15.2% fueron juveniles. El registro de la talla, presentó variaciones mensuales, reportándose una disminución de ésta entre abril y octubre (entre 16 y 18 mm); mientras que de noviembre a marzo, se documentó una mayor talla (entre 20 y 20 mm).

Penn y Caputi (1986), ponderaron el papel de los factores ambientales sobre la relación stock-reclutamiento del “camarón tigre” (*Penaeus esculentus*) del Golfo Exmouth, Australia. Los incrementos en la turbidez provocada por las descargas fluviales intensas (en la temporada de ciclones), incrementó la supervivencia de los reclutas en el ambiente marino, al reducir en la tasa de mortalidad por depredación.

Gracia *et al.* (1997), presentaron una revisión sobre la ecología de las principales especies de camarón del Golfo de México: *F. aztecus*, *F. duorarum*, *L. setiferus* y *F. brasiliensis*. En este trabajo, se analizó la influencia de la descarga fluvial y la precipitación pluvial, sobre la variación interanual de la abundancia en las distintas fases del desarrollo; a sí mismo, se ofrece un estudio detallado acerca de las etapas críticas del ciclo de vida, reproducción, relaciones bióticas y estrategias reproductivas.

### Aspectos ambientales

Leming y Stuntz (1984) describieron los efectos del exceso en la precipitación pluvial provocados por el evento “El Niño”, sobre las poblaciones de camarón al suroeste de Louisiana, E.U. En junio de 1982, se reportó una zona de hipoxia en esta región, que fue detectada con el sensor CZCS (el 14 de junio de 1982). Después de 10 días, la hipoxia ( $< 3 \text{ mg l}^{-1}$ ) provocó la disminución de la captura de *F. aztecus* en las áreas circundantes al Río Mississippi (6,000 km<sup>2</sup>). Las imágenes CZCS, evidenciaron que la Cl a varió entre cinco y 10 mg·m<sup>-3</sup>; adicionalmente, se reportó una elevada correlación entre ésta y los sólidos suspendidos ( $p < 0.05$ ). En la región, se evidenció una fuerte estratificación en la columna de agua, con excesos en la producción primaria neta, que redujo los niveles de oxígeno disuelto hasta los 50 m. La TSM en la región de estratificación, se registró entre 31 y 34°C.

Para poblaciones sujetas a explotación, las alteraciones que se presentan de manera inmediata asociadas al evento “El Niño”, son los cambios en los patrones de distribución y abundancia (Magaña *et al.*, 1997). En el caso de las pesquerías de camarón nacionales, éstos cambios se han documentado con efectos positivos (Gracia, 2001). En la península de Baja California, México, se reportó un máximo histórico de captura para *F. californiensis* (1,900 t), durante el evento “El Niño” de 1997 - 1998; que resultó contrastante, con el promedio histórico de capturas de años anteriores (697 t) (Magaña *et al.*, 2001).

Durante el evento “La Niña” de 1987 - 1988, Childers *et al.* (2002) reportaron un descenso del aporte de agua, en las zonas de inundación cercanas a la planicie deltaica del Río Mississippi, Louisiana, E.U.; que ocasionó, la reducción en las capturas de camarón. Los autores explicaron, que lo ocurrió, se debió a la reducción en el ingreso de postlarvas a los estuarios del delta. La relación entre el nivel del agua y la producción de camarón, resultó en una función exponencial positiva; esto es, la captura de camarón fue menor a bajos niveles de inundación. Los máximos de captura,

ocurrieron a niveles de inundación intermedia (1984, 1985 y 1986); mientras que, los mínimos, coincidieron con la anomalía negativa del índice IME o la “La Niña”. Ésta última, provocó que los estuarios del delta, estuvieran mayormente expuestos a la insolación, reduciendo el hábitat preferencial para los juveniles, particularmente de *F. aztecus*.

Para cuantificar la presencia, magnitud y duración del ENOS, se reportan dos tipos de índices: (i) el índice de la Oscilación del Sur (IOS) y (ii) IME. El primero se ha registrado desde 1876 a la fecha y se define, como la diferencia normalizada de presión al nivel del mar entre Tahití (18° S - 150° O) y Darwin (10° S - 130° O) (Ortiz-Sánchez, *et al.*, 2002). El segundo índice descrito en Wolter y Timlin (1998), está registrado desde 1950 a la fecha y fue estructurado para el Pacífico Tropical, con la medición de diversas variables oceanográficas: (i) la presión a nivel del mar meridional y zonal, (ii) la componente del viento superficial, (iii) la temperatura del aire, (iv) la TSM y (v) la fracción total de nubosidad en el cielo. La fase cálida del ENOS (“El Niño”), se describe con valores de anomalía positiva IME ( $> 0$ ); mientras que, la fase fría del ENOS (“La Niña”), se describe con valores de anomalía positiva IME ( $< 0$ ).

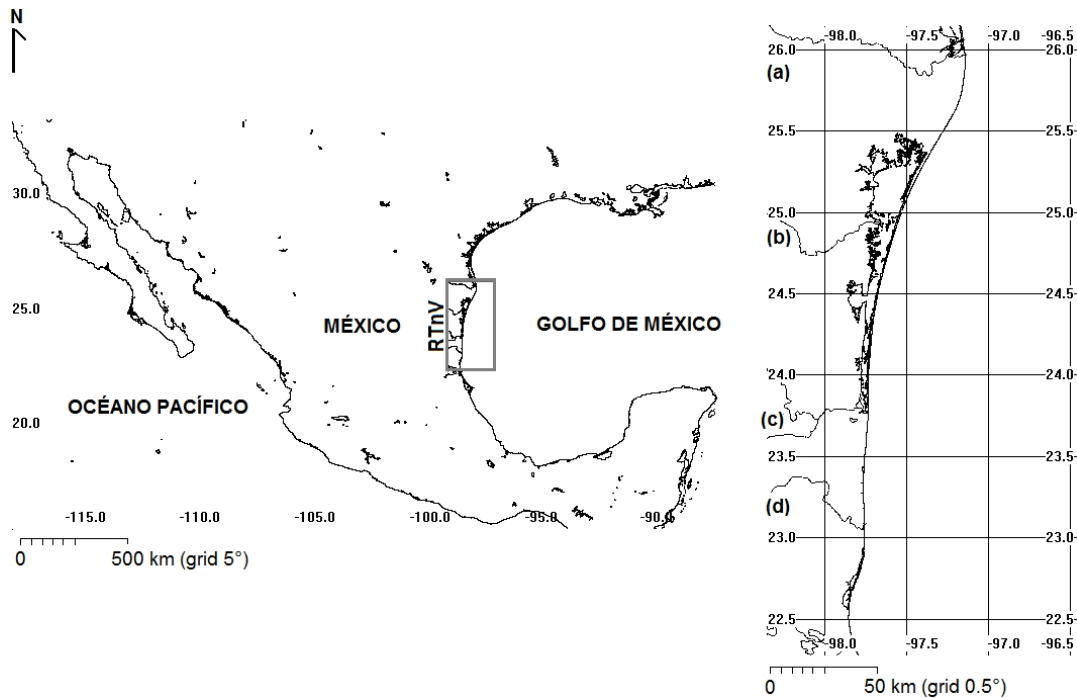
### Área de estudio

La RTnV se localiza al noreste del Golfo de México, entre los estados de Tamaulipas y Veracruz; limitan al norte los depósitos deltaicos del Río Bravo y al sur, el Río Tamesí (Fig. 3). El clima al norte es seco semiárido del tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)C(w<sub>2</sub>) (de -3 a 18°C) y al sur, el clima es cálido del tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)C(w<sub>0</sub>) ( $> 18^{\circ}\text{C}$ ) (García, 1973).

En la RTnV, están incluidas las regiones hidrográficas: **(A)** 24 BRAVO - CONCHOS, cuyas cuencas son: (i) Río Bravo – Matamoros - Reynosa, (ii) Río Bravo - San Juan, (iii) Río Bravo - Sosa, (iv) Presa Falcón- Río Salado, (vi) Río Bravo - Nuevo Laredo. **(B)** 25 SAN FERNANDO - SOTO LA MARINA, cuyas cuencas son: (i) Laguna de San Andrés - Laguna Morales, (i) Río Soto La Marina, (iii) Laguna Madre, (iv) Río San Fernando. **(C)** 26 PÁNUCO, cuyas cuencas son: (i) Río Pánuco, (ii) Río Tamesí y (ii) Río Tamuín (INEGI, 1995).

Al norte de Tamaulipas, se localiza la Laguna Madre entre los 23° 77' - 25° 36' N y 97° 37' - 97° 74' O (Fig. 3). Posee una superficie aproximada de 200,000 ha, con una profundidad media de 0.70 m. El vaso de la laguna se separa del Golfo de México por una barrera litoral, que en la costa de barlovento es recta y uniforme, en contraste con la orilla continental, que es irregular. La desembocadura del Río San Fernando, propicia que la depresión de la laguna se rellene parcialmente y se divida en dos partes: la cuenca septentrional y la cuenca meridional. La primera es de mayor dimensión: 20 km de ancho, 55 km de largo y con una profundidad máxima de 3 m, La segunda es menos ancha, más alargada y con menor profunda (1.3 m); exhibiendo su máxima amplitud al sur (entre 2 y 3 km), cerca de la desembocadura del Río Soto La Mariana (INEGI, 1995). Se reportan 11 bocas con comunicación directa al mar, estas son: (i) Los Bueyes, (ii) El Mezquital, (iii) San Juan, (iv) San Rafael, (v) Santa María, (vi) Ciega, Sandoval, (vii) Carbonera, (viii) Algodones, (ix) San Antonio, (x) Jesús María y (xi) Cartán (García, 1973).

En la actualidad, en la RTnV operan un promedio de 700 barcos arrastreros (Gracia, 2004), con sede en los puertos de Tampico, Tuxpan y Alvarado, Veracruz, México. La pesca de los adultos reproductores del camarón, se realiza en el ambiente marino, entre los 12 y 75 m de profundidad (INP, 2011).



**Figura 3.** Localización geográfica de la RTnV, mostrando la red fluvial de mayor influencia. Río Bravo (a), Río San Fernando (b), Río Soto La Marina (c), Río Tamesí. Inédito (2015)

### Hipótesis de trabajo

1.- Para diferentes especies de camarón, la captura total y la CPUE se reportan correlacionadas directamente con la precipitación pluvial y la descarga fluvial, sin embargo, en los antecedentes respectivos, no se consideró la separación entre la captura para reclutas y reproductores; por esta razón, se espera que los efectos de correlación sean diferentes, al considerar la separación con índices de abundancia.

2.- Para la RTnV, escasamente están documentados los efectos de correlación de la CI a y la TSM, sobre la variación interanual de la abundancia para reclutas y reproductores de *F. aztecus*. Considerando los trabajos realizados con *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec, se espera:

- Un efecto de correlación inverso entre la variación interanual de CI a y el índice FR; porque en el ambiente marino, los reclutas de camarón presentan hábitos alimenticios preferenciales “detritívoros”.
- Un efecto de correlación directo entre la variación interanual de TSM y el índice FR; porque en su más fase cálida, la TSM estimula el crecimiento en talla y peso de los jóvenes reclutas.

- Un efecto de correlación directo entre la variación interanual de  $CI_a$  y el índice DA; porque el aumento en la disponibilidad del alimento (fitoplancton y de zooplancton), incrementa la supervivencia de los estados larvarios producto del desove, que lo requieren para su rápido crecimiento y desarrollo, antes de alcanzar la fase de post-larva béntica.
- Un efecto de correlación inverso la variación interanual de  $CI_a$  y TSM, consistente con estudios oceanográficos a nivel de macro-escala; por lo anterior, se espera el mismo efecto de correlación entre la variación interanual de TSM y el índice DA.

3.- Como en el caso de todas las pesquerías de camarón a nivel nacional, es factible un nivel de explotación mayor sobre los reproductores, que sobre de los reclutas.

### **Objetivo general**

Mediante la estructuración de índices de abundancia, simular la variación interanual para reclutas y reproductores de camarón café en la región RTnV.

### **Metas específicas**

- 1.- Estimar un intervalo confiable para la tasa de mortalidad natural, período 1974 - 1992.
- 2.- Diseñar y validar un modelo estadístico, para separar de la captura comercial marina, índices de abundancia para reclutas (índice FR) y reproductores (índice DA); enfatizando, en los grupos de edad que los constituyen, así como el nivel de explotación a la que estuvieron sometidos.
- 3.- Correlacionar la variación interanual de la abundancia FR y DA, con respecto a las series de tiempo para  $f_i$ ,  $P_p$ ,  $D_f$ , IME,  $CI_a$  y TSM.
- 4.- Para las fechas en las que ocurrieron los máximos de la abundancia FR y DA, describir las condiciones oceanográficas ocurridas en la RTnV, respecto a la  $CI_a$  y la TSM.
- 5.- Diseñar y validar un modelo estadístico, para simular predicciones retrospectivas sobre la variación interanual de la abundancia FR y DA, en los periodos: (i) junio 1982 - septiembre 1983 y (ii) junio 1982 - 1992; y prospectivas, para el periodo 1993 - 1995. Para los dos últimos periodos, correr y validar nuevamente el modelo estadístico, sin incluir el efecto de la  $CI_a$ .

## Material y métodos (a)

### Información poblacional

Se utilizó la captura comercial marina de *F. aztecus* clasificada por categorías (10-14, 15-20, 21-25, 26-30, 31-35, 36-40, 41-50, 51-60 y 60 abdómenes por libra de peso), que fue obtenida en la RTnV de 1974 a 1992; y registrada en los puertos de Tampico, Tuxpan y Alvarado. Esta información, así como el fi (en número de viajes), se proporcionaron para su análisis al Laboratorio de “Ecología Pesquera de Crustáceos” del ICMYL, UNAM, a través de los Centros de Investigación Pesquera Tamaulipas y Veracruz del Instituto Nacional de la Pesca.

### Simulación primera parte

#### Análisis de la mortalidad

Para poblaciones sujetas a explotación, se reportan una gran cantidad de modelos para estimar las tasas de mortalidad  $M$  y total ( $Z$ , en adelante) (Ricker, 1975). Para el caso de los camarones de la familia Penaeidae y en la fase marina de explotación, diferentes autores (Álvarez *et al.*, 1987; Cervantes-Hernández, 1999; Ramos-Cruz *et al.*, 2006; Cervantes-Hernández y Gracia, 2011), recomiendan a los siguientes:

1.- Estimación de las tasas  $M$  y  $Z$  con la CPUE total mensual.

El modelo supone que después de un incremento en la CUPE, ésta disminuirá debido a la acción de pesca. Entre  $t_1$  y  $t_2$ , los cambios en la CPUE son cuantificables por periodos cortos de tiempo (considerados como independientes). Los  $i$  cambios registrados en la CPUE, se relacionan con la tasa  $Z$  en el modelo de Berry (1967):

$$\ln(\text{CPUE}) = \alpha - \beta \cdot t(i)$$

Donde:  $\beta$  es el valor de la tasa  $Z$  entre  $t_1$  y  $t_2$ .

Los valores  $Z_i$  y del esfuerzo promedio ( $f_i$ ) se incluyen en el modelo de Paloheimo (1961), para estimar la tasa  $M$ , entre  $t_1$  y  $t_2$ . La relación para dicho propósito es:

$$Z(i) = (q \cdot f_i) + M$$

2.- Estimación de las tasas  $M$  y  $Z$  con la CPUE por grupos de edad.

Cuando la CPUE varía continuamente en la fase marina de explotación, la pesquería entre  $t_1$  y  $t_2$ , manifiesta un estado de no equilibrio y a partir de este supuesto, la tasa  $Z(i)$  se estima con la relación propuesta por Beverton y Holt (1957):

$$Z(i) = \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \right) \cdot \ln \left( \frac{\text{CPUE}(t_1)}{\text{CPUE}(t_2)} \right)$$

Paloheimo (1961) propuso una nueva aproximación de  $M$  con base en los valores de

Z(i) y adicionalmente, integrando el esfuerzo efectivo (fe), definido como:

$$f_e = \left( \frac{f_i + f_{i+1}}{2} \right)$$

Para el caso que compete a este trabajo, el modelo combinado se aplicó considerando el año normal (enero–diciembre) y biológico (entre fechas de reclutamiento máximos).

3.- Estimación de las tasas M y Z con la captura total mensual por grupos de edad.

Cuando el esfuerzo de pesca es constante entre  $t_1$  y  $t_2$ , la tasa de supervivencia (S) se estima con base en la siguiente relación:

$$S = \left( \frac{(C_a + C_b + \dots + C_i)_2}{(C_a + C_b + \dots + C_i)_1} \right)$$

Donde:  $C_a$ ,  $C_b$  y  $C_i$  son los grupos de edad plenamente reclutados a la pesquería, los subíndices 1 y 2 delimitan el intervalo de tiempo entre dos meses consecutivos.

Si la tasa M permanece constante en n periodos consecutivos y S es un estimador de la tasa Z; entonces, el valor de la tasa M, para el período total de estudio, se estima con el sistema de ecuaciones lineales de Silliman (1943):

$$\begin{aligned} F_1 + M &= Z_1 = -\ln(S_1) \\ F_2 + M &= Z_2 = -\ln(S_2) \end{aligned}$$

El lado derecho de ambas ecuaciones es conocido, y el sistema resuelve las variables  $F_1$ ,  $F_2$  y M; siempre que se cumplan las siguientes relaciones: (i)  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{f_1}{f_2}$  y (ii)  $q = \frac{F_1}{f_1} = \frac{F_2}{f_2}$

4.- Estimación de las tasas Z y M con la captura total anual.

Con base en el modelo de Schaefer (1954), Csirke y Caddy (1983) propusieron la siguiente expresión cuadrática en equilibrio:

$$Y = c + b \cdot Z + a \cdot Z^2$$

Donde:

$$a = -B_\infty / r$$

$$b = B_\infty ((r + 2 \cdot M) / r)$$

$$c = -B_\infty ((r \cdot M + M^2) / r)$$

-  $B_\infty$  y r son la biomasa máxima y la tasa de crecimiento poblacional, respectivamente

Si  $F = 0$  y  $Z = M$  en la fase del pre-reclutamiento, el modelo de Csirke y Caddy se transforma en:

$$Y = c + b \cdot M + a \cdot M^2$$

La tasa  $M$  en equilibrio, se obtiene a partir de la siguiente solución cuadrática

$$M = -b + \sqrt{\frac{b^2 - 4a \cdot c}{2 \cdot a}}$$

Para obtener una mejor aproximación para la tasa  $M$ , el modelo Csirke y Caddy se resolvió separadamente, con los modelos Silliman y Berry.

5.- Estimación de las tasas  $M$  y  $Z$  con los parámetros de crecimiento en longitud.

Considerando el tiempo que un organismo requiere para alcanzar el 95% del valor de la longitud máxima ( $L_{\infty}$ ), el modelo de Taylor (1958), proporciona una estimación de la tasa  $M$  y de la longevidad máxima ( $A_{0.95}$ ). Las relaciones para dichos propósitos son:

$$A_{0.95} = t_0 + \left( \frac{2.996}{k} \right)$$

$$M = \left( \frac{2.996}{A_{0.95}} \right)$$

Donde: 2.996 es la constante que se requiere para que un organismo alcance el 95% de  $L_{\infty}$ ,  $k$  es la constante catabólica de la ecuación de Von Bertalanffy (1938).

En el presente trabajo, se utilizaron los parámetros de crecimiento en longitud reportados por Gracia (1997): (i)  $L_{\infty} = 204$  mm, (ii)  $W_{\infty} = 72$  g, (iii)  $t_0 = 0.2914$  y (iv)  $k = 0.2115$  mensual.

6.- Estimación de la tasa  $M$  con los parámetros de crecimiento en longitud y la TSM.

El modelo de Pauly (1980), genera una estimación de la tasa  $M$  a partir de los registros de  $k$ ,  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ; y adicionalmente, con el promedio anual para la TSM.

La versión con  $L_{\infty}$  es:

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 \cdot \ln L_{\infty} + 0.6543 \cdot \ln k + 0.463 \cdot \ln TSM$$

La versión con  $W_{\infty}$  es:

$$\ln M = -0.2107 - 0.0824 \cdot \ln W_{\infty} + 0.6757 \cdot \ln k + 0.4687 \cdot \ln TSM$$

Para desarrollar ambos tipos modelos, el promedio anual para la TSM, se obtuvo con la información oceanográfica descrita en la sección de material y métodos (B).

### **Análisis de sensibilidad para la tasa $M$**

Para acotar el intervalo confiable de la tasa  $M$  en la población de *F. aztecus*, se propuso una técnica estadística, que supone a la tasa  $M$  no constante entre  $t_1$  y  $t_2$ , con  $M < Z$  en

$Z = M + F$  (Beverton y Holt, 1957; Ricker, 1975), donde  $F$  es la tasa de mortalidad por pesca (designada así en adelante).

La técnica estadística utiliza  $n$  valores de la tasa  $M$ , estimados con diferentes modelos (e.g., los descritos anteriormente), con los que se estructuraron  $n$  Análisis de Población Virtual (APV, en adelante) (Anexo II). Del proceso anterior, se generaron  $n$  matrices de abundancia virtual por grupos de edad (sección: simulación de los índices de abundancia) y de cada una de las anteriores, se seleccionó una misma cohorte al azar. Una vez que los efectos de la tasa  $M$  fueron integrados en cada APV según las funciones de Pope (1972) (Anexo II); con un ANDEVA ( $\alpha = 0.05$ ), se analizó el comportamiento de la varianza, respecto al número de camarones supervivientes en las cohortes extraídas. De existir diferencias significativas, con la técnica exploratoria de cluster, se detectaron las cohortes más similares y con ello, el intervalo confiable de la tasa  $M$ ; en donde para diferentes valores de la tasa  $M$ , el número de camarones supervivientes fue aproximadamente el mismo entre  $t_1$  y  $t_2$ . Para la realización de otros análisis, de este intervalo, se seleccionó la tasa  $M$  de menor magnitud.

Para desarrollar la técnica estadística de mortalidad, se utilizó el software "STATISTICA<sup>®</sup> 6.0".

### **Simulación de los índices de abundancia**

Los registros mensuales de la captura comercial marina de *F. aztecus* clasificada por categorías y la técnica de Gracia (1991), se utilizaron para aproximar la abundancia mensual del número de camarones capturados por grupos de edad. La técnica se adaptó para sexos combinados, porque la información separada por sexos no estuvo disponible. El primer proceso se realizó de la siguiente manera:

1.- Bajo el supuesto de que el peso de los abdómenes dentro de cada categoría se distribuye normalmente  $Z(0, 1)$ ; se estimó la probabilidad del peso  $P(a)$ , usando para cada caso, el promedio y la desviación estándar.

2.- La división del peso total por categoría, entre la sumatoria total de las  $P(a)$ , generó un factor de conversión (por categoría), que se multiplicó por su correspondiente  $P(a)$  y dividido entre la frecuencia de los abdómenes. Con base en lo anterior, se aproximó el número total de camarones capturados por unidad de peso abdominal.

3.- Para obtener una estimación aproximada de la edad para los camarones por unidad de peso abdominal, se utilizaron los parámetros de crecimiento en longitud reportados por Gracia (1997). Con este último proceso, se creó una matriz con los registros aproximados para la captura marina de *F. aztecus*, separada por grupos de edad (Anexo III).

Con la información anterior, se propuso un modelo estadístico, para separar de la matriz antes señalada (Anexo III), a los índices de abundancia  $FR$  y  $DA$ . El modelo estadístico, se describe a continuación:

Con la matriz inscrita en el anexo III, se corrió el APV utilizando la magnitud más baja de la tasa  $M$ ; y de este proceso, se obtuvo una nueva matriz denominada ( $X_{APV}$ ), con la



que se simuló la abundancia virtual por grupos de edad. Para este caso en particular, la abundancia virtual se interpretó como el número total de ejemplares que debieron estar presentes en la RTnV, cuando en su región marina de pesca, se realizó la captura real de *F. aztecus*. Las dimensiones de la matriz inscrita en el anexo III y de la matriz  $X_{APV}$ , corresponden a  $r$  renglones (o número de meses) y  $q$  columnas (o grupos de edad).

La matriz  $X_{APV}$  fue normalizada con base en la distribución de probabilidad normal, tomando como criterio para la normalización, a los grupos de edad en:

$$Z_{xrq} = \frac{(G_{xrq} - G_q)}{\sigma_q}$$

Donde:

$Z_{xrq}$  es el valor normalizado de la abundancia virtual en el mes  $x$  para la cohorte  $r$  a la edad  $q$

$G_{xrq}$  es el valor de la abundancia virtual en el mes  $x$  para la cohorte  $r$  a la edad  $q$

$G_q$  es el promedio de la abundancia virtual del grupo de edad  $q$

$\sigma_q$  es la desviación estándar de la abundancia virtual del grupo de edad  $q$

La matriz  $Z_{APV}$  y las funciones propuestas por Pielou (1984), se utilizaron para estimar la matriz de correlación entre los grupos de edad obtenidos, esto es:

$$CSPC = Z_{APV} \cdot Z'_{APV}$$

$$m\_corr. = \frac{CSPC}{r}$$

Donde:

CSPC es la matriz para la suma cuadrada de productos cruzados

$Z'_{APV}$  es la matriz transpuesta de  $Z_{APV}$

$m\_corr.$  es la matriz de correlación entre los grupos de edad

$r$  es el número total de cohortes o renglones en  $Z_{APV}$

Siguiendo el procedimiento de Hair *et al.* (1999), se aplicó a la matriz de correlación ( $m\_corr.$ ), un análisis de componentes principales (ACP, en adelante), para generar una nueva ordenación de los grupos de edad; que sirvió de base, para estructurar a los índices de abundancia FR y DA.

Para identificar y validar estadísticamente a los grupos de edad con los que se estructuraron a los índices de abundancia FR y DA, se utilizó el criterio de carga factorial mayor o igual a 0.70 (Hair *et al.*, 1999). La carga factorial es la correlación que se genera entre una variable independiente (e.g., un  $G_n$  grupo de edad), con respecto a la componente principal en la que fue ordenada (e.g., índices de abundancia) (Uriel, 1995). Para validar biológicamente la presencia de los grupos de edad en cada índice de abundancia, se tomaron en cuenta las características biológicas del reclutamiento y la reproducción, documentadas por Gracia (1995), en el ciclo de vida de los camarones de la familia Penaeidae.

Del ACP se obtuvieron dos funciones lineales, con las que se simuló la variación interanual de la abundancia FR y DA (series de tiempo). Éstas son:

$$\begin{aligned} FR &= \lambda_i \cdot G_{xrq} \\ DA &= \lambda_i \cdot G_{xrq} \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

FR es la abundancia virtual observada para reclutas de *F. aztecus*

DA es la abundancia virtual observada para reproductores de *F. aztecus*

$\lambda_i$  es el coeficiente lineal o eigen-vector estimado para cada grupo de edad ( $G_{xrq}$ ) con carga factorial significativa en cada índice de abundancia (i)

$G_{xrq}$  es el valor de la abundancia virtual en el mes x para la cohorte r a la edad q

En la tabla I, se resume el modelo estadístico anteriormente explicito.

**Tabla I**

Modelo estadístico para simular índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 – 1992.  $G_{xrq}$  es el valor de la abundancia virtual en el mes x para la cohorte r a la edad q. Tomado y modificado de Cervantes-Hernández (2008)

<b>Paso 1</b>
Entrada: captura comercial marina
Aplicación de la técnica Gracia (1991)
Salida: matriz de captura marina
<b>Paso 2</b>
Entradas: matriz de captura marina y tasa M
Aplicación del análisis de población virtual (APV)
Salida: matriz de abundancia virtual ( $X_{APV}$ )
<b>Paso 3</b>
Entrada: matriz $X_{APV}$
Aplicación de la distribución de probabilidad normal
Salida: matriz de abundancia virtual normalizada ( $Z_{APV}$ )
<b>Paso 4</b>
Entrada: matriz $Z_{APV}$
Aplicación de las funciones de Pielou (1984)
Salida: matriz de correlación entre los $G_{xrq}$
<b>Paso 5</b>
Entrada: matriz de correlación entre los $G_{xrq}$
Ordenación de los $G_{xrq}$ y obtención de las funciones lineales ACP
Salida: índices de abundancia FR y DA, con la respectiva variación interanual

Del APV, se derivó un análisis secundario, que consistió en la evaluación de la tasa F sobre los grupos de edad que constituyeron a los índices de abundancia FR y DA.

No se consideró la interacción de la población de *F. aztecus* con otras poblaciones en la RTnV, pero según Pope (1972), el efecto de M en el APV, incluyó indirectamente las muertes ocasionadas por la depredación, la edad avanzada y las enfermedades (mortalidad denso-dependiente), además de las ocasionadas por la variación ambiental (mortalidad denso-independiente).

Para desarrollar el modelo estadístico inscrito en la tabla I, se utilizaron los software “STATISTICA® 6.0” y “Matlab® 9.0”.

## Material y métodos (b)

### Información ambiental y oceanográfica

La información ambiental estuvo integrada por registros mensuales de Pp (mm) y Df ( $10^3 \cdot m^3$ ). La primera de éstas cubrió el periodo 1974 - 1995; y la segunda, los periodos: (i) 1987 - 1988 y (ii) 1991 - 1995 (Fig. 4). La Df corresponde a la suma total para las

descargas de los ríos San Fernando y Soto la Marina (Fig. 3). Toda la información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional del estado de Tamaulipas.

La información oceanográfica satelital estuvo integrada por imágenes mensuales de Cl **a** y TSM. La información fue obtenida del portal Ocean Color Web a 4 km, en el formato HDF y con un nivel de procesamiento L<sub>3</sub> (en grados decimales Long-Lat). Los registros de Cl **a** provienen del sensor CZCS y cubren el periodo de noviembre 1978 a noviembre 1986. Los correspondientes a la TSM, provienen del sensor AVHRR y cubren el periodo de noviembre 1985 a 1995 (Fig. 4). Registros para la TSM anteriores a noviembre 1985 (periodo 1981 - 1984, boyas) (Fig. 4), se obtuvieron del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration (NOAA)<sup>4</sup>.

La Cl **a** fue cuantificada con el algoritmo de escala estándar SeaWiFS (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015):

$$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} = \left( (10^{0.015 \cdot \text{VD}}) \right) - 2.0$$

La TSM fue cuantificada con el algoritmo de escala estándar AVHRR “Pathfinder” (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015):

$$^{\circ}\text{C} = (\text{VD} - 3.0) \cdot 0.15$$

Donde:

Para la Cl **a**, VD es el valor digital de los pixel que constituyen a una imagen CZCS

Para la TSM, VD es el valor digital de los pixel que constituyen a una imagen AVHRR

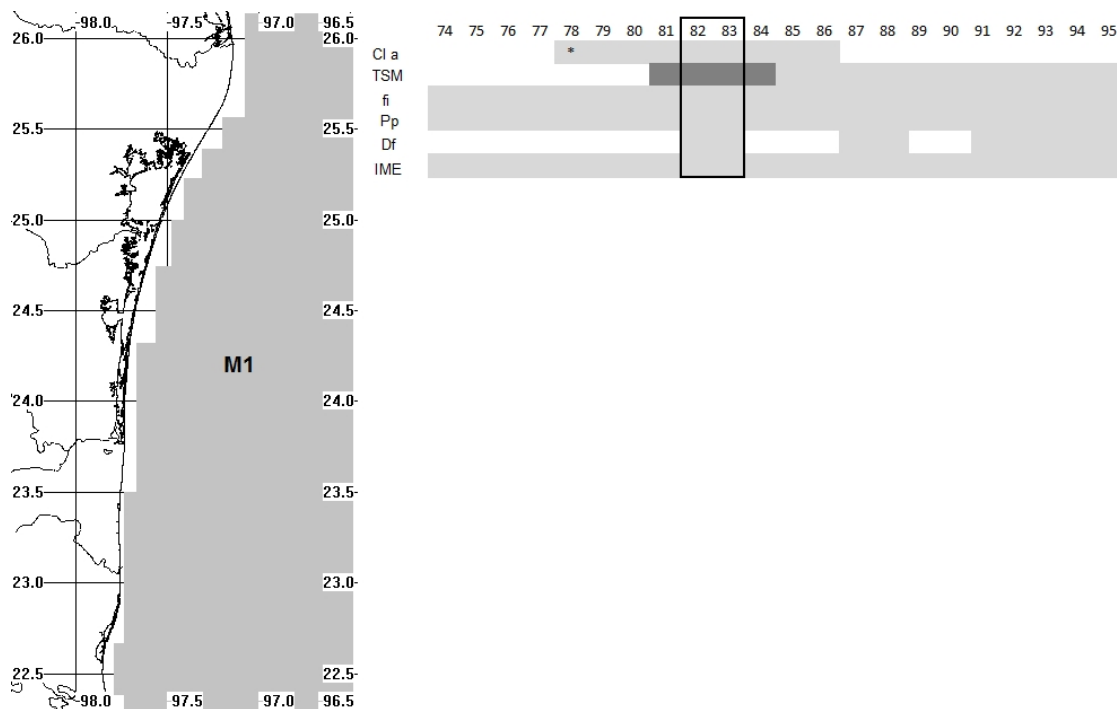
El algoritmo de escala estándar SeaWiFS, se acotó al rango válido operativo de 0.01 a 64.0 mg·m<sup>-3</sup> y el AVHRR “Pathfinder”, entre 0 y 35.25°C (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015).

Se estructuró una imagen de “máscara” (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015), identificada como M1 (Fig. 4), para delimitar la región marina de pesca en la RTnV; de la que se extrajo, sobre de cada tipo de imagen, el valor promedio mensual de Cl **a** y TSM. Con base en lo anterior, se estimaron compuestos de promedio bimensuales, considerando los meses en lo que ocurrieron los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA (sección: temporadas de reclutamiento y reproducción).

Debido a que para el periodo 1993 - 1995, no existen registros de Cl **a** (Fig. 4), se procesó un segundo lote de imágenes de Cl **a** y TSM, correspondientes al año 2013, para demostrar que las condiciones oceanográficas actuales en la RTnV, han sido las mismas como en las que históricamente, se han desarrollado los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA. Finalmente, para cada tipo de información ambiental y oceanográfica, se simulieron las correspondientes series de tiempo (sección: temporadas de reclutamiento y reproducción).

La información satelital, se procesó con software WIM/WAM<sup>®</sup> 2012. Las características instrumentales para los sensores CZCS y AVHRR, se muestran en el anexo I.

<sup>4</sup>[http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn\\_SmithOlv1/.monthly/.sst/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOlv1/.monthly/.sst/)



**Figura 4.** Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro). En el recuadro superior derecho, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro) y adicionalmente, se indica el mes con un registro deficiente para la concentración clorofila **a** (CI **a**) (símbolo \*). Temperatura superficial del mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME). Una imagen de “máscara”, es un corte irregular georreferido, que se sobrepone en *n* imágenes de satélite, de la que se extrae el valor para una variable oceanográfica específica, en una región costero/marina (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015)

## Simulación segunda parte

### Análisis exploratorio de correlación

Con las series de tiempo FR, DA, CI **a**, TSM, fi, Pp, Df y IME, se realizó un análisis exploratorio de correlación; y a partir de éste, se identificaron y seleccionaron de entre el grupo ambiental y oceanográfico (además de fi), las que resultaron significativas con respecto a los índices de abundancia FR y DA (el resto, no se consideró para la realización de otros análisis). La razón por la que este análisis exploratorio se realizó, es que para el periodo 1974 - 1992, no se tuvo un registro completo y consistente de la información ambiental y oceanográfica, con excepción del periodo de junio 1982 a septiembre 1983 (Fig. 4).

### Temporadas de reclutamiento y reproducción

Para delimitar las temporadas de reclutamiento y reproducción de *F. aztecus*, se propuso un modelo estadístico, que consiste en extraer de las series de tiempo FR y DA, la componente espectral cíclico (CEC, en adelante) (Kendall, 1984).

La CEC, es un patrón armónico de variación, que transforma la variación interanual de la abundancia FR y DA, a ciclos con igual magnitud (entre cero y el máximo, en escala

ordinaria) y amplitud (Kendall, 1984). La CEC se utilizó para delimitar y describir las temporadas de reclutamiento y reproducción; y con base en éstas, se identificaron las fechas en las que ocurrieron los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA. Al gráfico de la CEC, le fueron acoplados  $n$  rectángulos, para representar el transcurso de las temporadas de veda (específicamente, las marinas de mayo a julio) (Gracia, 1997; 2004) y los espacios entre rectángulos, representaron el transcurso de las temporadas de pesca (de agosto a abril) (INP, 2007). Con base en lo anterior, se verificó por primera vez, con la variación interanual de la abundancia FR y DA, cuál temporada biológica se ha protegiendo entre el pasado y el presente (la temporada de reclutamiento o la temporada de reproducción).

En apego a Uriel (1995), la CEC se simuló en términos de  $Y_{ik}$  ( $i$  año,  $k$  mes del  $i$  año) con  $m = 12$  meses, esto es:

1.- Se estimó el valor medio general para las medias anuales ( $\bar{Y}_i$ ) y los valores medios mensuales por cada  $i$  año ( $\bar{Y}_{.k}$ ) (e.g.: índices de abundancia FR o DA).

2.- Finalmente, la CEC se simuló con  $C_{ik} = \bar{Y}_i - \bar{Y}_{.k}$ .

Una vez identificadas las fechas en la que ocurrieron los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA; se estructuró para éstas, una descripción detallada de las condiciones oceanográfica ocurridas en la RTnV, respecto a la CI a y la TSM. Para complementar la descripción, se consideraron las CEC de las series de tiempo que resultaron significativas en el análisis exploratorio de correlación.

Para extraer la CEC, se utilizó los software “STATISTICA® 6.0 XP”.

## Simulación tercera parte

### Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia

Tomando como referencia el periodo de junio 1982 a septiembre 1983 y con las series de tiempo seleccionadas en el análisis exploratorio de correlación, se estructuró un MCC. Específicamente, un MCC predice simultáneamente dos o más variables dependientes, analizando el efecto que tienen sobre de éstas, dos o más variables independientes (Morrison, 1967). El modelo teórico es el siguiente:

$$Y_1 + \dots + Y_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (1)$$

Donde  $Y_n$  son el grupo de las variables dependientes y  $X_n$ , son el grupo de las variables independientes.

El MCC (1) está estructurado por un sistema de ecuaciones lineales independientes (e.g., para el caso con dos variables  $Y_n$ ) (Calvo-Gómez, 1993; Dallas, 2002; Hair *et al.*, 1999; Sharon, 1999); en donde cada ecuación lineal, predice por separado a una única variable  $Y_n$ .

Durante los ensayos de simulación usando MCC, se detectó mediante ensayo-error, que cuanto mayor es índice de redundancia ( $Ir$ )<sup>5</sup> entre el grupo  $Y_n$  (e.g.,  $Ir > 0.70$ ), el sistema de ecuaciones lineales (1) se torna dependiente; de manera que, para predecir a  $Y_1$  se requiere del efecto de  $Y_2$  y viceversa, esto es:

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 + X_2 + \dots + X_n + Y_2 \\ Y_2 &= X_1 + X_2 + \dots + X_n + Y_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Para subsanar lo anterior, se propuso una corrección matemática, para cambiar el sistema de ecuaciones lineales (1) al sistema (2). Todo lo anterior inicia con la elección de una variable  $X_n$ , que se distingue del resto, porque su variación interanual depende en gran medida del grupo  $Y_n$ ; y en menor grado, del grupo  $X_n$ .

Suponiendo que en el MCC (3),  $Y_1$  y  $Y_2$  representan a los índices de abundancia FR y DA (grupo dependiente),  $X_n$  son las variables ambientales y oceanográficas (incluido  $f_i$ ) (grupo independiente) y de entre  $X_n$ ,  $f_i$  tiene las características antes explicitas, entonces:

$$\begin{aligned} Y_1 &= c_{11}f_i + c_{12}X_{12} + c_{13}X_{13} \\ Y_2 &= c_{21}f_i + c_{22}X_{22} + c_{23}X_{23} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde,  $c_{ij}$  son los valores de carga canónica para cada  $X_{ij}$

La corrección matemática da comienzo al despejar  $f_i$  en (3)

$$\begin{aligned} f_i &= \frac{Y_1 - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}}{c_{11}} \\ f_i &= \frac{Y_2 - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}}{c_{21}} \end{aligned} \quad (4)$$

Ambos despejes se igualan y se realiza la correspondiente simplificación algebraica

$$C_{21}(Y_1 - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}) = c_{11}(Y_2 - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}) \quad (5)$$

El proceso continúa despejando nuevamente a las variables  $Y_1$  y  $Y_2$  en (5), identificadas en (6) como  $Y_1'$  y  $Y_2'$

$$\begin{aligned} Y_1' &= \frac{(c_{11}Y_2) - (c_{11}c_{22}X_{22}) - (c_{11}c_{23}X_{23}) + (c_{21}c_{12}X_{12}) + (c_{21}c_{13}X_{13})}{c_{21}} \\ Y_2' &= \frac{(c_{21}Y_1) - (c_{21}c_{12}X_{12}) - (c_{21}c_{13}X_{13}) + (c_{11}c_{22}X_{22}) + (c_{11}c_{23}X_{23})}{c_{11}} \end{aligned} \quad (6)$$

$Y_1'$  y  $Y_2'$ , se sustituyen en (4) para generar dos nuevas variables de corrección canónica, identificadas en (7) como ( $f_i: Y_1$ ) y ( $f_i: Y_2$ ), respectivamente

<sup>5</sup>Índice de Redundancia ( $Ir$ ): Nivel de asociación o de correlación entre el grupo de variables dependientes  $Y_n$ .

$$\begin{aligned} (fi: Y_1) &= \frac{Y_1' - c_{12}X_{12} - c_{13}X_{13}}{c_{11}} \\ (fi: Y_2) &= \frac{Y_2' - c_{22}X_{22} - c_{23}X_{23}}{c_{21}} \end{aligned} \quad (7)$$

Éstas últimas se sustituyen por  $f_i$  en el MCC (3), para finalmente estructurar al MCC corregido, que es:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_1 &= c_{11}(fi: Y_2) + c_{12}X_{12} + c_{13}X_{13} \\ \hat{Y}_2 &= c_{21}(fi: Y_1) + c_{22}X_{22} + c_{23}X_{23} \end{aligned} \quad (8)$$

Donde:

$\hat{Y}_1$  y  $\hat{Y}_2$  son el grupo esperado dependiente (e.g.: índices de abundancia FR y DA)  
 $f_i$  es la variable independiente seleccionada para realizar la corrección matemática  
 $(fi: Y_1)$  es la variable que integra el efecto de  $Y_2$  en  $Y_1$  en términos de  $f_i$   
 $(fi: Y_2)$  es la variable que integra el efecto de  $Y_1$  en  $Y_2$  en términos de  $f_i$   
 $X_{ij}$  es la  $j$ -ésima variable independiente contenida en la función canónica  $i$   
 $c_{ij}$  es la  $j$ -ésima carga canónica para cada  $X_{ij}$

El modelo CC (8) fue validado con los siguientes sellos de garantía estadística:

- a) Correlación Canónica ( $R_{cc}$ ): nivel de asociación o de correlación entre los grupos de variables  $Y_n$  y  $X_n$ .
- b) Determinación Canónica ( $R_{cc}^2$ ): porcentaje de varianza total explicada por el MCC.

Para validar estadísticamente la pertinencia predictiva del MCC corregido, su estructura matemática original, se utilizó para realizar predicciones retrospectivas en el periodo de junio 1982 a septiembre 1983; y separadamente, para el periodo de junio 1982 a 1992 (primera validación). Por otra parte y manteniendo la misma estructura matemática, se realizaron predicciones prospectivas para el periodo 1993 - 1995 (segunda validación).

Debido a que para los dos últimos periodos no existe un registro continuo de CI **a** (Fig. 4), en las simulaciones correspondientes, se utilizaron los registros de CI **a** disponibles de enero 1979 a noviembre 1986 (Fig. 4); asignando y repitiendo, para meses iguales en diferentes años, los mismos registros. Por lo anterior, en la primer ronda de simulaciones, la variación interanual de CI **a** se consideró con variación interanual constante. Para los fines comparativos de validación, la estructura matemática del MCC corregido, se modificó, eliminando de éste, el efecto de CI **a**; y con base en lo anterior, se realizó una segunda ronda de simulaciones, para evaluar la importancia de incluir o no, el efecto específico de la CI **a**.

Para el periodo de junio 1982 a septiembre 1983, el MCC corregido se validó con la distribución de  $\chi^2$  ( $gl = n-1$ ,  $\alpha = 0.05$ ), confrontando las predicciones esperadas de los índices de abundancia FR y DA, con respecto a las simuladas con el ACP (consideradas aquí como observadas) (Tabla I). Lo mismo se realizó para el periodo de junio 1982 y 1992.

Para el periodo 1993 - 1995, la distribución de  $\chi^2$  no aplicó, porque para este periodo, no son disponibles registros observados sobre la variación interanual de la abundancia FR y DA; y en su lugar, la validación se realizó cualitativamente. Para lo realizar lo anterior, se utilizó la información oceanográfica satelital del año 2013 (CI a y TSM), en el entendido, de que las condiciones oceanográficas actuales en la RTnV, han sido las mismas como en las que históricamente, se han desarrollado los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA.

Para los tres periodos antes indicados, se realizaron análisis de correlación “auxiliares”, con los que se verificó, la persistencia en los efectos de correlación, que se registraron con base en el análisis exploratorio de correlación.

Para desarrollar el modelo MCC y la confrontación de  $\chi^2$ , se utilizó los software “STATISTICA® 6.0 XP”.

## **Resultados**

### **Simulación primera parte**

#### **Análisis de la mortalidad**

En la fase marina de explotación, las tasas de mortalidad estimadas para la población de *F. aztecus*, periodo 1974 - 1992, se muestran en la tablas II y III.

Aunque los valores estimados para las tasas M y Z, correspondientes a los modelos combinados de Berry - Paloheimo, cumplieron con el supuesto de  $M < Z$  en  $Z = M + F$  (Beverton y Holt, 1957; Ricker, 1975); éstas se descartaron, por ser estadísticamente no significativas ( $p > 0.05$ ) (Tabla II).

Con el modelo de Silliman, el valor estimado de la tasa M fue de 0.47 mensual y cumplió con el supuesto antes citado (Tabla II).

El modelo de Csirke y Caddy, resultó en una sobreestimación para las tasas M y Z; por esta razón, éstas fueron descartadas. La combinación de este modelo con el de Silliman, generó estimaciones similares y éstas, no fueron tomadas en cuenta. El mismo criterio se aplicó a la combinación de los modelos de Csirke y Caddy - Berry ( $p > 0.05$ ) (Tabla II).

El modelo de Taylor generó valores para la tasa M de 0.20 mensual y para la  $A_{0.95}$  de 15 meses. Los valores de la tasa M según el modelo de Pauly, fueron con  $L_{\infty}$  y  $W_{\infty}$ , de  $M = 3.36$  anual (0.28 mensual) y  $M = 0.28$  anual (0.069 mensual), respectivamente; el último valor, no fue tomado en cuenta, por ser extremadamente pequeño (Tabla II).

Con los modelos combinados de Beverton y Holt - Paloheimo, el valor de la tasa Z por año normal, fue de 0.43 mensual. Específicamente para este caso, no se tomó en cuenta el valor de la tasa M estimada para el grupo de edad con tres meses, porque fue extremadamente pequeño (Tabla III). La estimación correspondiente al grupo de edad con cinco meses, resultó muy próxima al valor de la tasa Z; y por esta razón, no se



tomó en cuenta (Tabla III). Lo anterior aplicó para caso del grupo de edad con seis meses, en donde la tasa M fue mayor a la tasa Z (Tabla III). La tasa M estimada para el grupo de edad con cuatro meses, resultó en 0.23 mensual y cumplió con el supuesto de  $M < Z$  en  $Z = M + F$  (Beverton y Holt, 1957; Ricker, 1975) (Tabla III).

Por año biológico, el análisis de mortalidad resultó en estimaciones similares al año normal; siendo el valor de la tasa Z de 0.42 mensual. La tasa M estimada para el grupo de edad con cuatro meses, fue de 0.24 mensual y cumplió con supuesto antes citado (Tabla III).

**Tabla II**

Análisis de mortalidad (primera parte). Tasas de mortalidad natural (M), total (Z), por pesca (F), coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), significancia estadística (p)

MODELO	Z	M	F	R	$R^2$	p
Berry (1967) - Paloheimo (1961)	0.35	0.16	0.19	0.053	0.002	0.769
Silliman (1943)	0.61	0.47	0.14			
Csirke y Caddy (1983)	250.4	301.1	50.7			
Csirke y Caddy (1983) - Silliman (1943)	0.61	0.44	0.17	0.443	0.196	0.139
Csirke y Caddy (1983) - Berry (1967)	0.35	0.11	0.24	0.249	0.062	0.393
Taylor (1958)		0.20				
Pauly (1980)						
$L_{\infty}$		0.28				
$W_{\infty}$		0.06				

**Tabla III**

Análisis de mortalidad (segunda parte). Tasas de mortalidad natural (M), total (Z), coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), significancia estadística (p)

Edad	Z	M	R	$R^2$	p
Año Normal					
Edad 3		0.02	0.490	0.240	< 0.023
Edad 4	0.43	0.23	0.556	0.309	< 0.008
Edad 5		0.41	0.541	0.292	< 0.011
Edad 6		0.60	0.645	0.416	< 0.001
Año Biológico					
Edad 3		0.02	0.385	0.148	< 0.093
Edad 4	0.42	0.24	0.478	0.229	< 0.032
Edad 5		0.43	0.481	0.231	< 0.031
Edad 6		0.62	0.604	0.364	< 0.004

Los modelos que no fueron descartados (Tablas II y III), se utilizaron para acotar un intervalo preliminar de la tasa M entre 0.20 y 0.47 mensual (de 1974 a 1992). Comparando éste, con otro estructurado según la bibliografía disponible, que resultó entre 0.19 y 0.31 mensual (de 1960 a 1992) (Klima, 1989; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Gracia, 1997), el valor de 0.47 mensual (Tabla II), fue descartado. Al respecto, Gracia *et al.* (1997) puntualizó que estimaciones de la tasa M mayores a 0.40 mensual, se consideran demasiado altas en el caso de las pesquerías de camarón de la familia Penaeidae.

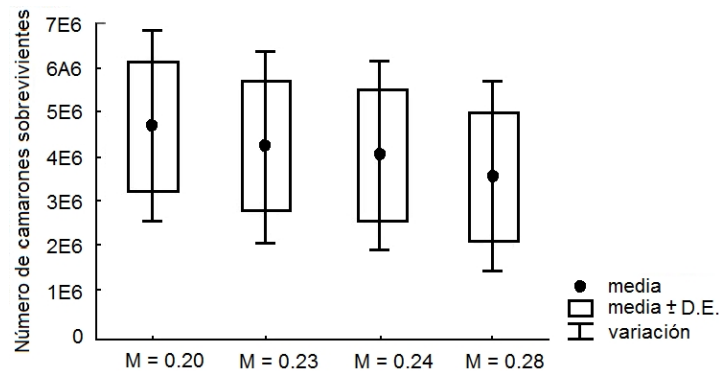
Con base en lo anterior, el intervalo que se acotó preliminarmente para la tasa M fue modificado; y en su lugar, para el análisis de sensibilidad, se utilizó el intervalo acotado entre 0.20 y 0.28 mensual (Tablas II y III).

## Análisis de sensibilidad para la tasa M

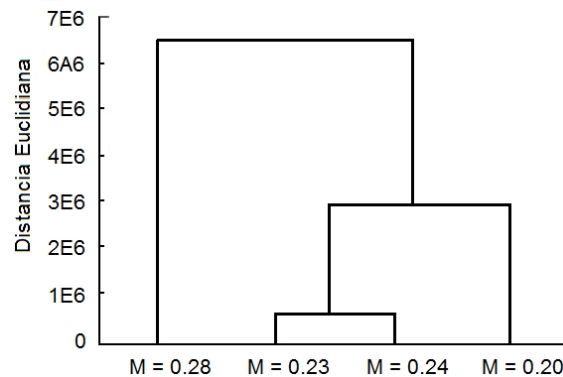
Para obtener el intervalo de la tasa M más confiable para la población de *F. aztecus*, se corrió el APV a valores de 0.20, 0.23, 0.24 y 0.28 mensual (Tablas II y III). En cada uno de éstos, la cohorte seleccionada al azar, fue la de enero 1978. Los resultados del análisis de sensibilidad, se muestran en la figuras 5 y 6.

Una vez que los efectos de la tasa M fueron integrados en cada APV según las funciones de Pope (1972) (Anexo II); el ANDEVA indicó, que no se tuvo una diferencia significativa entre el número de camarones supervivientes a los valores de la tasa M indicados ( $F = 0.1851$ ,  $p < 0.05$ ) (Fig. 5). Sin embargo, con el análisis cluster (Fig. 6), se observó una similitud a valores de la tasa M entre 0.23 y 0.24 mensual.

Con base en las figuras 5 y 6, se sugiere que para la población de *F. aztecus* en la fase marina de explotación, el intervalo confiable para la tasa M resultó de 0.23 ( $R^2 = 0.309$ ,  $p < 0.05$ ) a 0.24 mensual ( $R = 0.229$ ,  $p < 0.05$ ) (Tabla III), periodo 1974 - 1992.



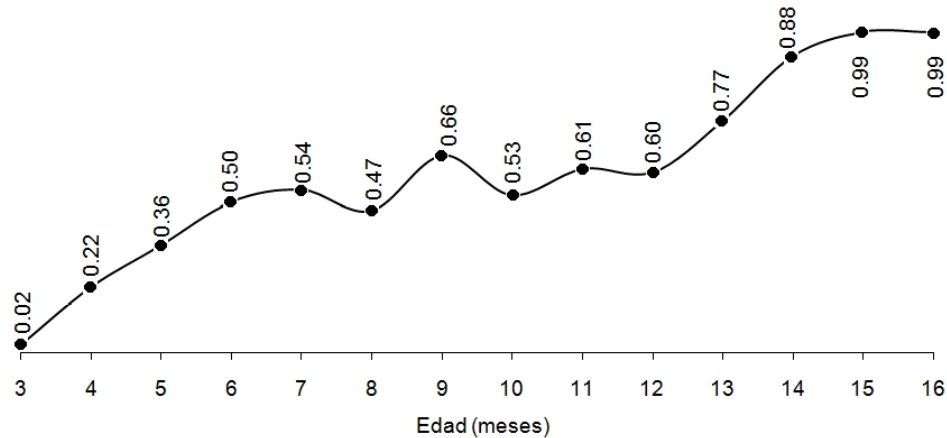
**Figura 5.** ANDEVA para el número de camarones supervivientes en la cohorte de enero 1978. Tasa de mortalidad natural (M), desviación estándar (DE)



**Figura 6.** Cluster por similitud para el número de camarones supervivientes en la cohorte de enero 1978. Tasa de mortalidad natural (M)

## Simulación de los índices de abundancia

Después de correr el APV con una tasa M de 0.23 mensual, se corroboró la presencia de 16 grupos de edad para la población de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 - 1992. El análisis de la tasa F por grupos de edad, se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** Análisis de la tasa F sobre los grupos de edad en la población de *F. aztecus*, periodo 1974 - 1992. Los valores decimales, representan a las tasas de mortalidad por pesca (F)

La tasa F se incrementó gradualmente entre los grupos de edad con cuatro ( $F_4 = 0.22$  mensual) y 16 meses ( $F_{16} = 0.99$  mensual) (Fig. 7). El valor más bajo de ésta se observó en el grupo de edad con tres meses ( $F_3 = 0.02$  mensual); indicando que este grupo de edad, estuvo parcialmente reclutado a la población marina o que su abundancia fue mínima en la fase marina de explotación (Fig. 7). Por esta razón, este grupo de edad no se ordenó significativamente en ninguna de las componentes extraídas vía el ACP (Tabla V).

Del ACP se extrajeron dos componentes principales, que fueron: (i) Cp1 con un eigenvalor de 7.48 y (ii) Cp2 con un eigenvalor de 2.53. La varianza total explicada por ambos componentes, fue de 71%. En Cp1 se registraron cargas factoriales significativas en los grupos de edad con seis y 13 meses; mientras que en Cp2, se evidenció una única carga factorial significativa en el grupo de edad con cuatro meses (Tabla IV).

**Tabla IV**

Ordenación por ACP, señalando las cargas factoriales significativas (negritas) para cada grupo de edad ( $G_n$ ), en las componentes principales Cp1 (índice DA), Cp2 (índice FR)

	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$	$G_7$	$G_8$	$G_9$	$G_{10}$	$G_{11}$	$G_{12}$	$G_{13}$	$G_{14}$	$G_{15}$	$G_{16}$	Eigen-Valor	% de varianza
Cp1 = DA	0.34	0.53	0.66	<b>0.79</b>	<b>0.88</b>	<b>0.93</b>	<b>0.93</b>	<b>0.91</b>	<b>0.86</b>	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	0.58	0.43	0.34	7.48	0.53
Cp2 = FR	-0.69	<b>-0.81</b>	-0.69	-0.47	-0.17	0.09	0.27	0.32	0.35	0.33	0.27	0.17	0.10	0.28	2.53	0.18

En ninguna de las CPn, los grupos de edad con 14, 15 y 16 meses registraron cargas factoriales significativas ( $> 0.70$ ) (Tabla IV); lo anterior se debe en parte, a que su correspondiente abundancia virtual observada, resultó muy baja en la población, tal y como pudo apreciarse con anterioridad en el Anexo III. Lo anterior está en relación, con los altos niveles de explotación F a la que estuvieron sometidos, entre 0.88 y 0.99 mensual (Fig. 7 y Tabla IV). Por esta razón, estos grupos de edad, se identificaron como sobre-explotados durante el periodo 1974 - 1992.

En comparación con los grupos de edad antes mencionados, los específicamente entre seis y 13 meses (en CP1, de  $F_6 = 0.50$  a  $F_{13} = 0.77$  mensual) y el grupo de edad de edad con cuatro meses (en Cp2,  $F_4 = 0.22$  mensual), resultaron con una menor

magnitud en las tasas  $F$ . (Fig. 7 y Tabla IV). Por esta razón, estos grupos de edad, se identificaron como sub-explotados durante el periodo 1974 - 1992.

En conclusión, los índice de abundancia FR y DA, se estructuraron con los grupos de edad que registraron cargas factoriales significativas en Cp2 y Cp1, respectivamente (Tabla IV). Para estructura al índice FR, se utilizó la abundancia de todas las cohortes correspondientes al grupo de edad con cuatro meses (que comenzó a ser sujeto de explotación en el ambiente marino). Para estructurar al índice DA, se consideró adicionar la abundancia de todas las cohortes correspondientes a los grupos de edad entre seis y 13 meses (que estuvieron plenamente reclutados al ambiente marino).

La variación interanual de la abundancia FR y DA, se simuló mediante series de tiempo con las siguientes funciones lineales del ACP:

$$FR = 0.41 \cdot E_4$$

$$DA = 0.30 \cdot E_6 + 0.16 \cdot E_7 - 0.25 \cdot E_8 - 0.41 \cdot E_9 + 0.68 \cdot E_{10} - 0.17 \cdot E_{11} - 0.05 \cdot E_{12} - 0.03 \cdot E_{13}$$

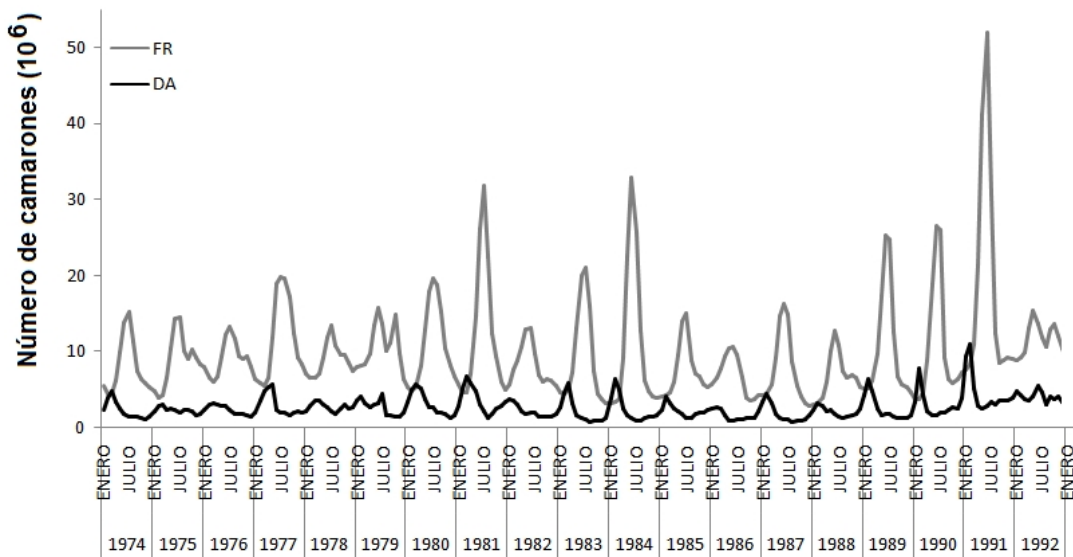
Donde:

FR es la abundancia virtual observada para reclutas de *F. aztecus*

DA es la abundancia virtual observada para reproductores de *F. aztecus*

Las correspondientes constantes, son los coeficientes lineales o eigen-vectores estimados para cada grupo de edad en FR y DA

La variación interanual de la abundancia FR y DA, se muestra en la figura 8. Para ambos casos, se registraron cambios interanuales en la magnitud; pero la abundancia del índice FR, se observó persistentemente por arriba del índice de DA. Los máximos de la abundancia FR, ocurrieron entre junio y julio de cada año y sus mínimos, entre febrero y marzo (Fig. 8). Los máximos de la abundancia DA, ocurrieron entre febrero y marzo de cada año y sus mínimos, entre junio y julio (Fig. 8).



**Figura 8.** Variación interanual de la abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 - 1992

## Simulación segunda parte

### Análisis exploratorio de correlación

Los resultados para el análisis exploratorio de correlación, se muestran en la tabla V.

**Tabla V**

Análisis de correlación (primera parte), periodo 1974 - 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 228$ ). Esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME), concentración de clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial del mar (TSM)

	FR	DA
fi	-0.025, $p < 0.05$	0.654, $p < 0.05$
Pp	0.915, $p < 0.05$	-0.625, $p < 0.05$
Df	0.070, $p > 0.05$	0.030, $p > 0.05$
IME	0.020, $p > 0.05$	0.030, $p > 0.05$
Cl <b>a</b>	-0.675, $p > 0.05$	0.846, $p > 0.05$
TSM	0.719, $p < 0.05$	-0.833, $p < 0.05$

La variación interanual de la abundancia FR, registró efectos de correlación inversos con las series de tiempo fi y Cl **a**; mientras que, los efectos fueron directos con Pp, Df, IME y TSM (Tabla V). La variación interanual de la abundancia DA, registró efectos de correlación inversos con las series de tiempo Pp y TSM; mientras que, los efectos fueron directos con fi, Df, IME y Cl **a** (Tabla V). Entre la variación interanual de la abundancia FR y DA, se registró un efecto de correlación inverso ( $R = -0.731$ ,  $p < .05$ ) (Tabla V).

Para las series de tiempo correspondientes a la información ambiental y oceanográfica (incluido fi), los resultados exploratorios de correlación se muestran en la tabla VI.

**Tabla VI**

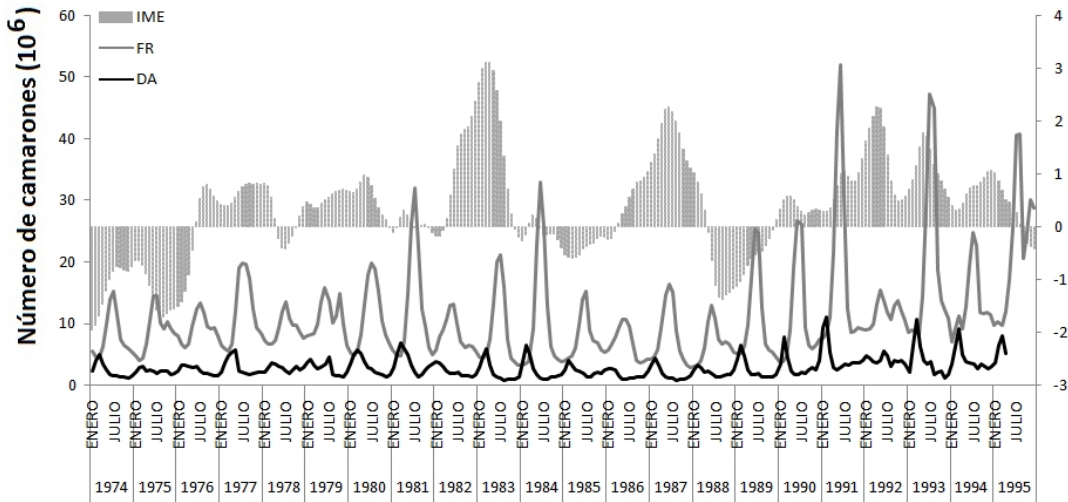
Análisis de correlación (segunda parte), periodo 1974 - 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 228$ ). Esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), descarga fluvial total (Df), índice multivariado del ENOS (IME), concentración de clorofila **a** (Cl **a**), temperatura superficial del mar (TSM)

	fi	Pp	Df	IME	Cl <b>a</b>	TSM
fi	1					
Pp	-0.209, $p > 0.05$	1				
Df	-0.035, $p > 0.05$	0.061, $p > 0.05$	1			
IME	-0.000, $p > 0.05$	0.080, $p > 0.05$	0.000, $p > 0.05$	1		
Cl <b>a</b>	-0.324, $p < 0.05$	-0.598, $p < 0.05$	0.010, $p > 0.05$	-0.022, $p > 0.05$	1	
TSM	0.651, $p < 0.05$	0.900, $p < 0.05$	0.050, $p > 0.05$	0.093, $p > 0.05$	-0.734, $p < 0.05$	1

Con respecto a toda la información inscrita en las tablas V y VI, se registraron persistentemente, efectos de correlación no significativos en presencia de la Df y el IME; por lo anterior, éstas últimas no se consideraron para la realización de otros análisis. El error de correlación generado por Df, tiene relación con la escasa e interrumpida información disponible (Fig. 4). Respecto al IME, el error de correlación se

generó porque este índice está disponible en anomalías; mientras que, el resto de la información analizada, posee una escala ordinaria.

A pesar de lo ocurrido con el IME (Tablas V y VI), se observó que al transcurrir los eventos “El Niño” con anomalías mayores a uno (Wolter y Timlin, 1998), la variación interanual de la abundancia FR y DA, descendió en magnitud durante los siguientes periodos: (i) entre abril 1982 y agosto 1983, (ii) entre mayo 1986 y abril 1988 y (iii) de noviembre 1991 a noviembre 1994 (Fig. 9).



**Figura 9.** Variación interanual de la abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, con respecto a la serie de tiempo del índice multivariado del ENOS (IME), periodo 1974 - 1992

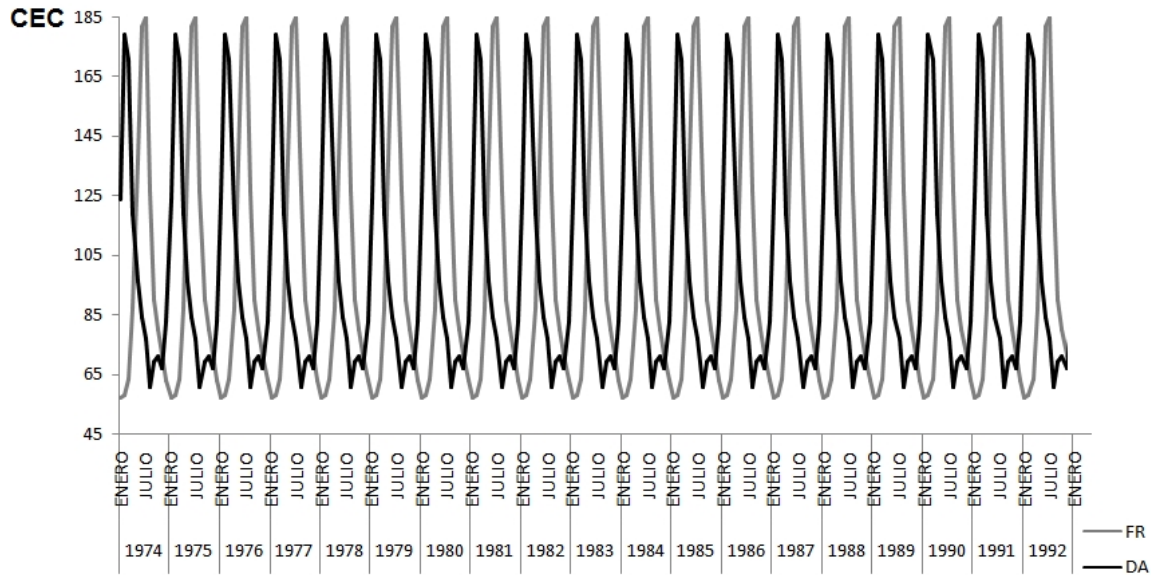
### Temporadas de reclutamiento y reproducción

En la RTnV y para *F. aztecus*, las temporadas de reclutamiento se acotaron de marzo a enero, con máximos de la abundancia FR entre junio y julio (Figuras 10 y 11). Por otra parte, las temporadas de reproducción se acotaron de noviembre a agosto, con máximos de la abundancia DA entre febrero y marzo (Figuras 10 y 11). Las temporadas de recuperación reproductiva resultaron muy breves (señaladas con los mínimos de la abundancia DA, entre agosto y noviembre); lo cual sugiere, que *F. aztecus* puede reproducirse todo el año (Figuras 10 y 11).

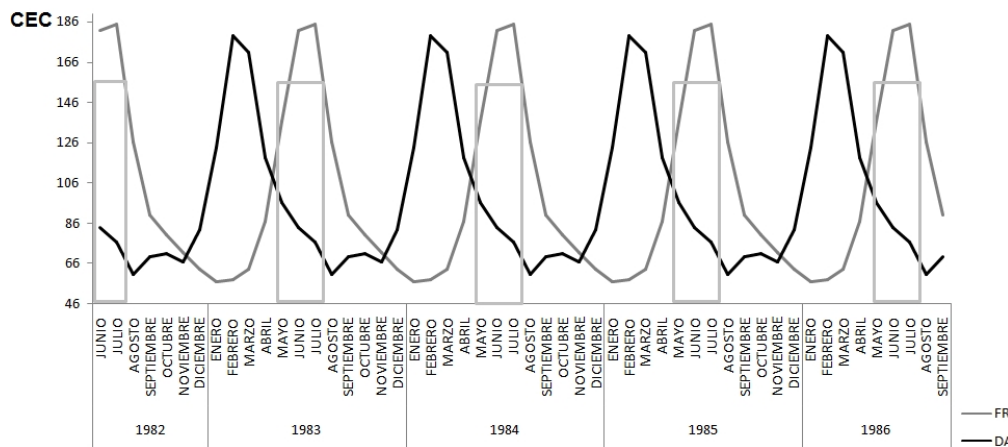
Con base en las figuras 10 y 11, se concluyó lo siguiente:

- De marzo a enero y a la edad de cuatro meses (Tabla IV), los juveniles de *F. aztecus* comenzaron a reclutarse al ambiente marino, con eventos máximos en el reclutamiento entre junio y julio (Figuras 10 y 11).
- De noviembre a agosto, los reproductores de *F. aztecus* entre los seis y 13 meses (Tabla IV), incrementaron su abundancia en el ambiente marino; sugiriendo, un incremento en la actividad reproductiva, que se supone fue mayor entre febrero y marzo (Figuras 10 y 11).

- Entre los máximos de la abundancia FR y DA, se observó un desfase próximo a los cuatro meses (Figuras 10 y 11).
- Si las vedas temporales hubiesen sido implantadas como lo son actualmente en la RTnV; entonces entre 1974 y 1992, éstas debieron proteger al 99% de los reclutas y a una fracción de los reproductores, al final de la temporada de reproducción (Fig. 11).
- Las temporadas de pesca, siempre han estado dirigidas a explotar el 99% de los reproductores y a una fracción de los reclutas, al final de la temporada de reclutamiento (Fig. 11).



**Figura 10.** Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondiente a los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo 1974 - 1992



**Figura 11.** Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV. Se ilustra una selección temporal arbitraria (e.g. de julio 1982 a septiembre 1986). Los rectángulos grises representan el transcurso de las temporadas de veda marinas (de mayo a julio) (Gracia, 1997; 2004) y los espacios entre rectángulos, representaron el transcurso de las temporadas de pesca (de agosto a abril) (INP, 2007)



Las CEC de los índices de abundancia FR y DA, se compararon con sus similares para CI a, TSM, fi, Pp, Df y IME (Figuras 12 y 13). A partir de esta comparación, se concluyó lo siguiente:

- De junio a julio, los máximos de la abundancia FR, coincidieron con los máximos de Pp y con el ascenso gradual de la TSM (en su fase más cálida). Los mínimos de la abundancia FR, coincidieron con los mínimos de CI a y con el descenso gradual de fi (durante las temporadas de veda) (Figuras 12 y 13).

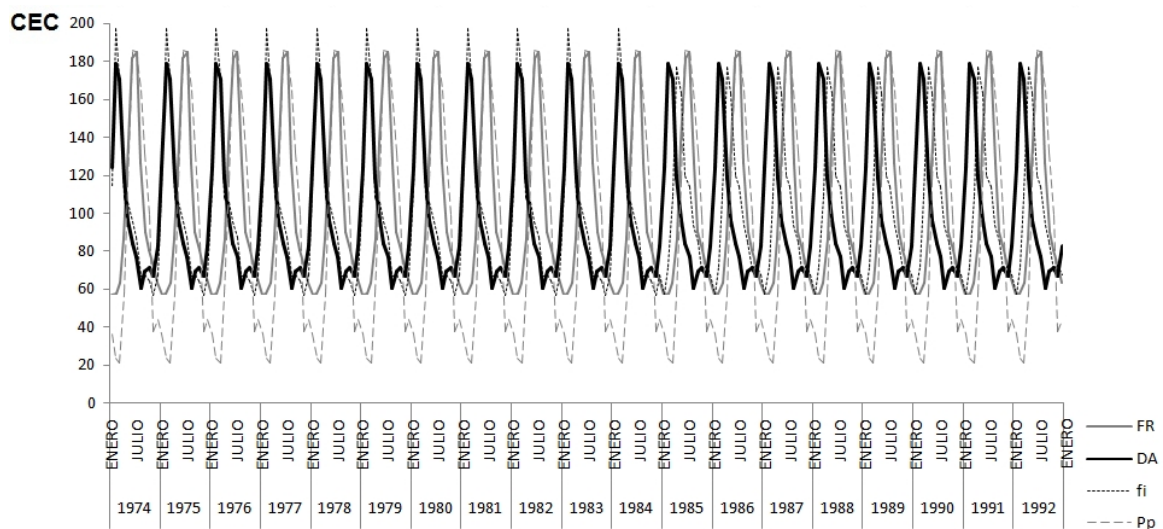
- De febrero a marzo, los máximos de la abundancia DA, coincidieron con los máximos de CI a y con el ascenso gradual de fi (durante las temporadas de pesca). Los mínimos de la abundancia DA, coincidieron con los mínimos de Pp y con el descenso gradual de la TSM (en su fase más fría) (Figuras 12 y 13).

En las figuras 14 y 15, se ilustran a detalle las fechas identificadas en las que ocurrieron los máximos de la abundancia FR y DA (o generaciones principales). Por otra parte, en las figuras de la 16 a la 19, están referidas las condiciones oceanográficas ocurridas en la RTnV, respecto a la CI a y la TSM (en compuestos bimensuales).

Para el caso de las generaciones principales, se concluyó lo siguiente:

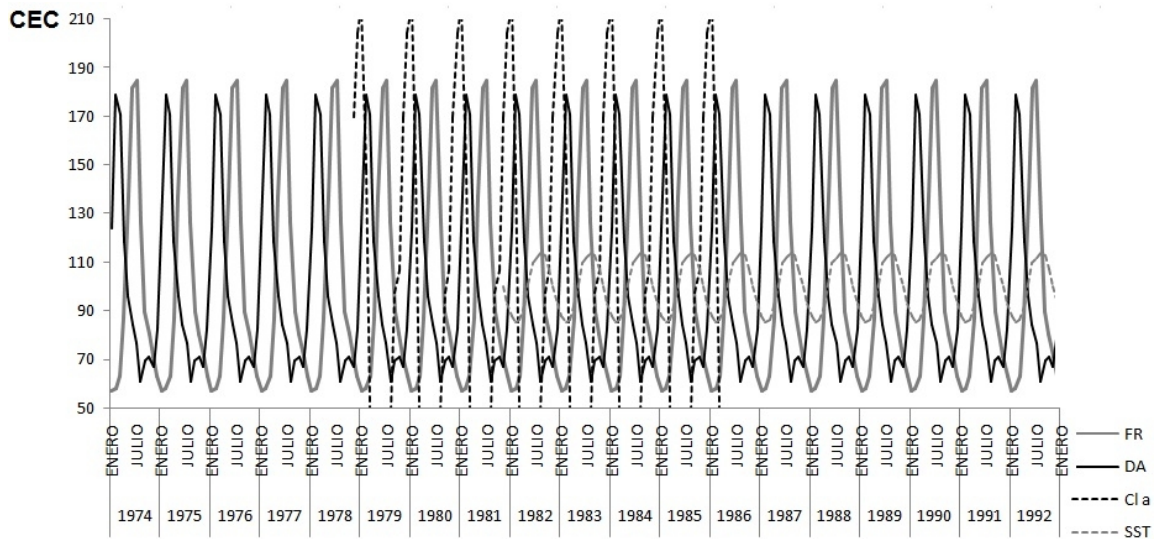
- Fue consistente que entre junio y julio, los máximos de la abundancia FR, ocurrieran bajo condiciones oceanográficas de CI a de  $0.03$  a  $0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 16) y para la TSM, entre  $27$  y  $29.5^\circ\text{C}$  (Fig. 18).

- Fue consistente que entre febrero y marzo, los máximos de la abundancia DA, ocurrieran bajo condiciones oceanográficas de CI a de  $0.5$  a  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 17) y para la TSM, entre  $21.0$  y  $24.8^\circ\text{C}$  (Fig. 19).

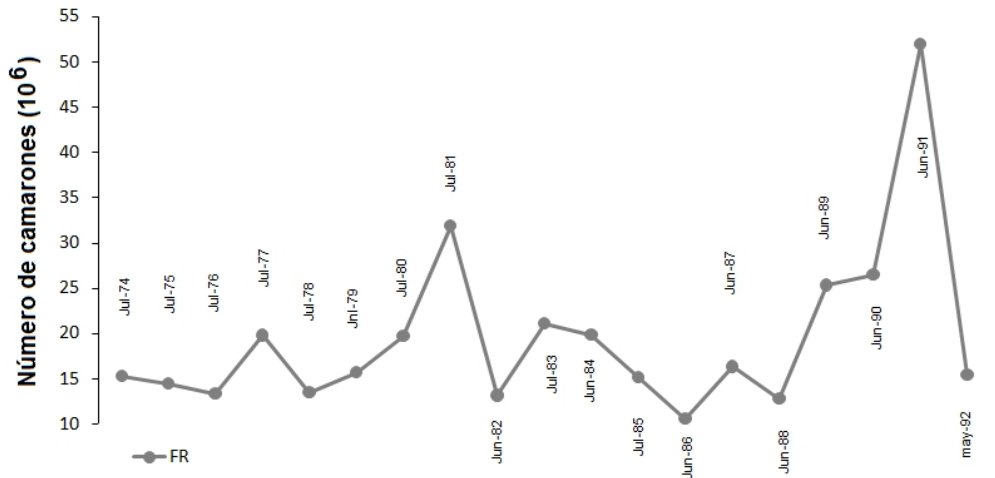


**Figura 12.** Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi) y precipitación pluvial (Pp), periodo 1974 - 1992

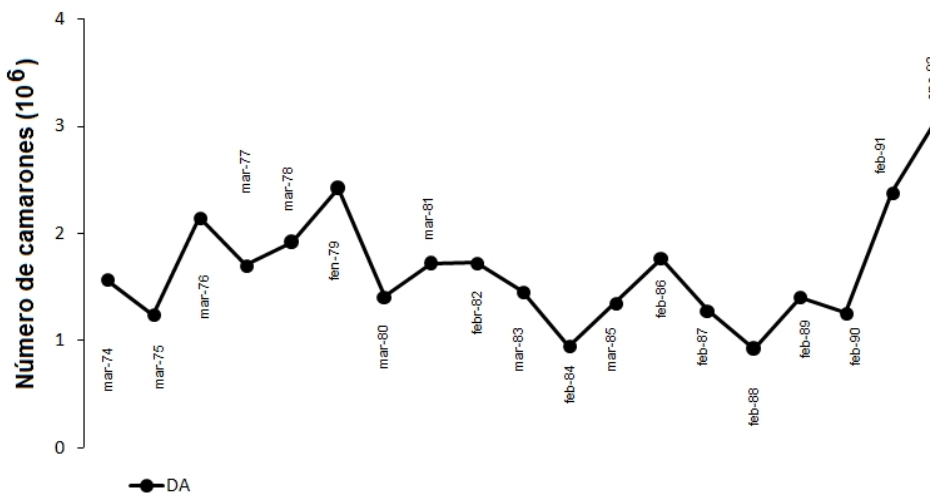




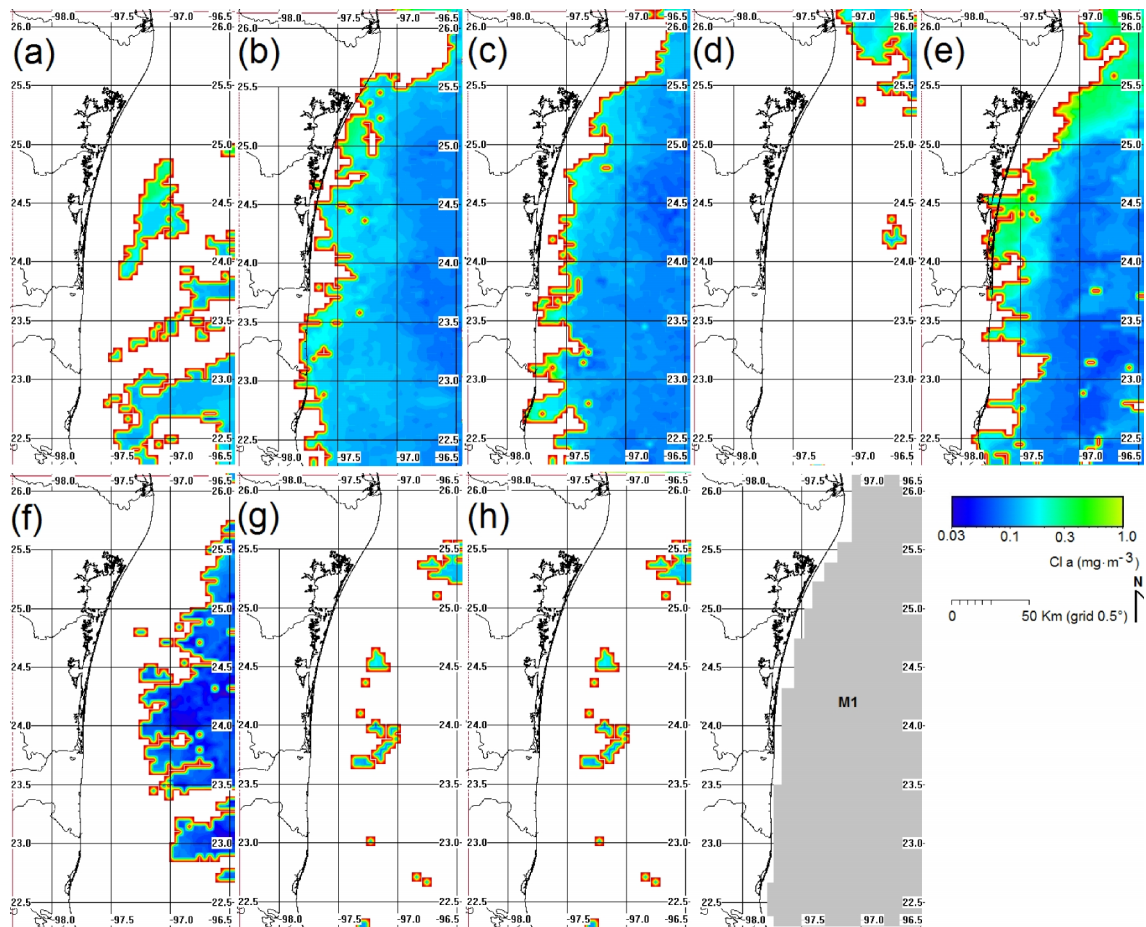
**Figura 13.** Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), concentración de clorofila a (Cl a) y temperatura superficial de mar (TSM), periodo 1974 - 1992



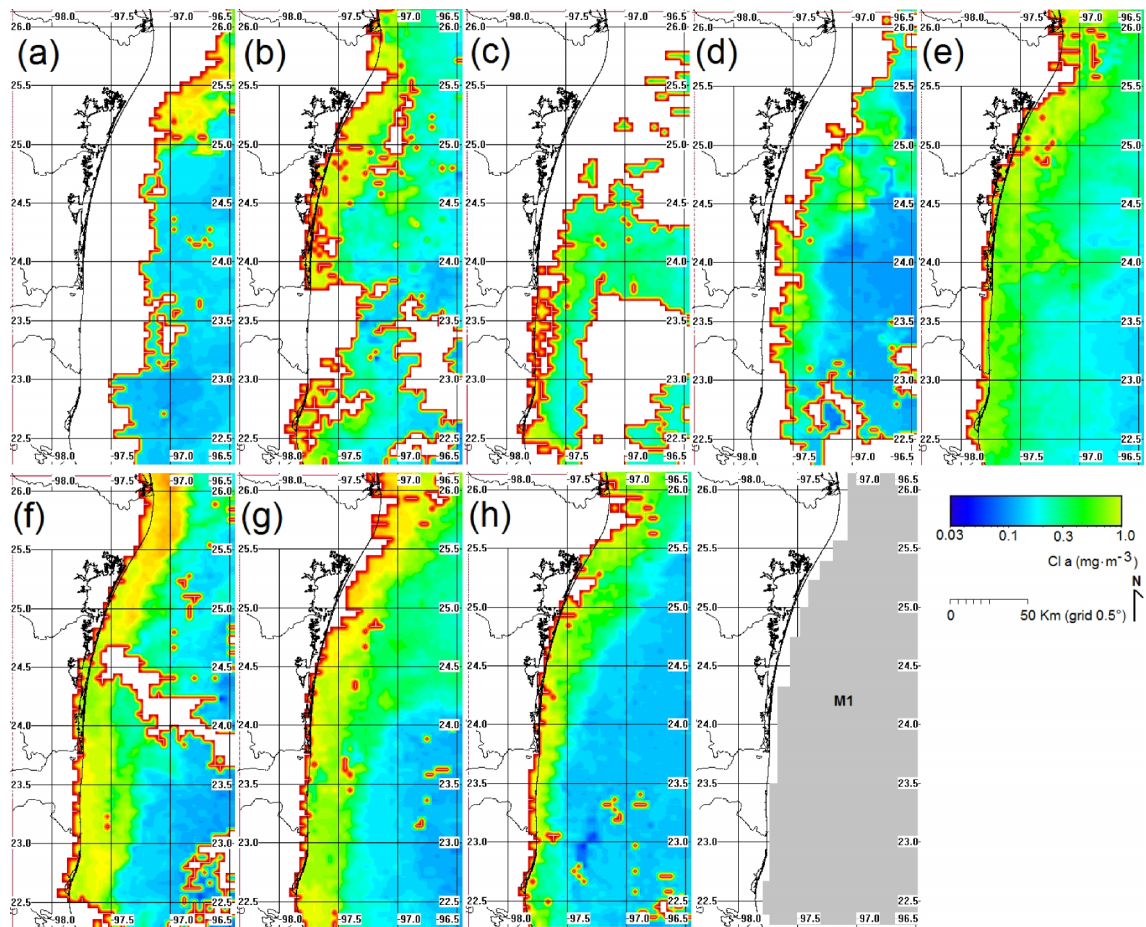
**Figura 14.** Secuencia cronológica para los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas (FR), periodo 1974 - 1992



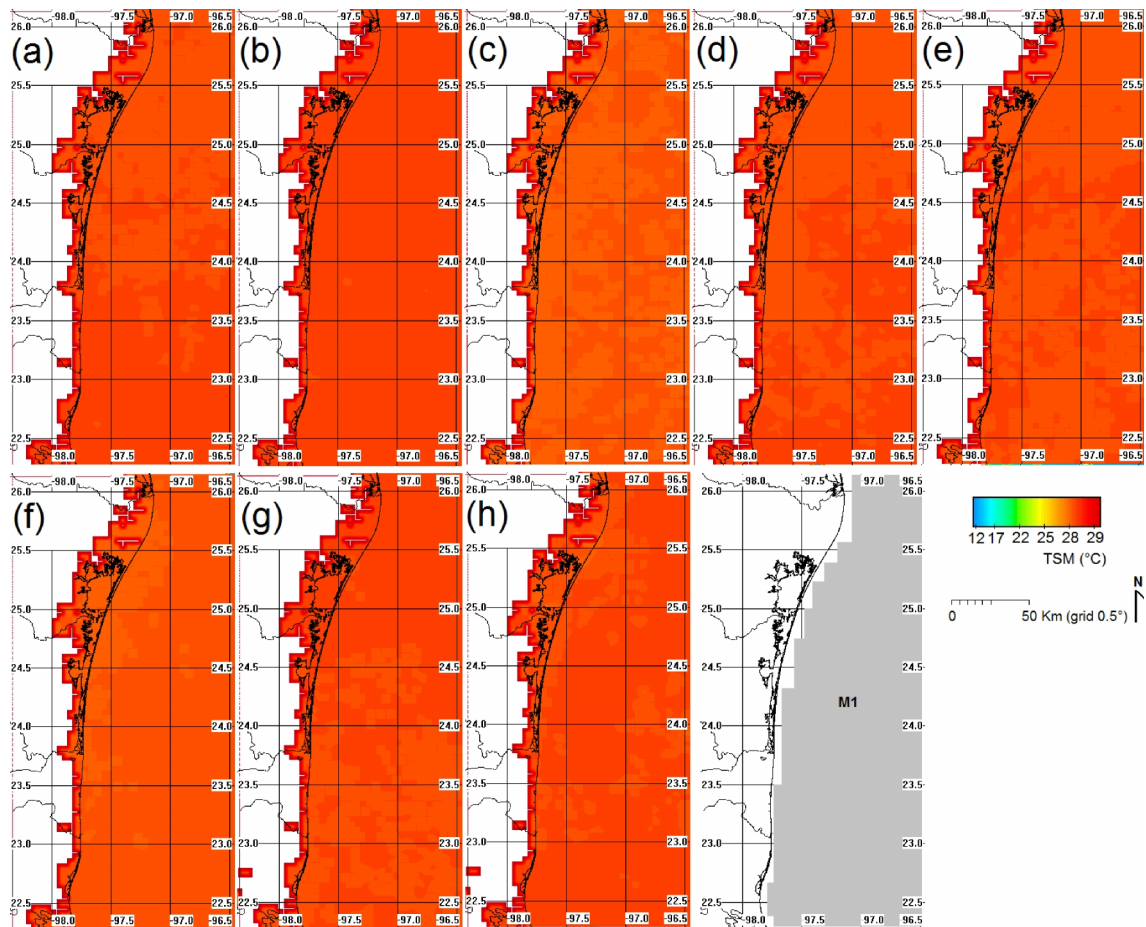
**Figura 15.** Secuencia cronológica para los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores (DA), periodo 1974 - 1992



**Figura 16.** Secuencia cronológica para la concentración de clorofila **a** (CI **a**), durante los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de junio y julio. 1979 (a), 1980 (b), 1981 (c), 1982 (d), 1983 (e), 1984 (f), 1985 (g), 1986 (h). Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro)



**Figura 17.** Secuencia cronológica para la concentración de clorofila *a* (Cl *a*), durante los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de febrero y marzo. 1979 (a), 1980 (b), 1981 (c), 1982 (d), 1983 (e), 1984 (f), 1985 (g), 1986 (h). El compuesto correspondiente a 1978 fue defectuoso. Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro)



**Figura 18.** Secuencia cronológica para la temperatura superficial del mar (TSM), durante los máximos de la abundancia FR o generaciones principales de reclutas, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses junio y julio. 1985 (a), 1986 (b), 1987 (c), 1988 (d), 1989 (e), 1990 (f), 1991 (g), 1992 (h). Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro)

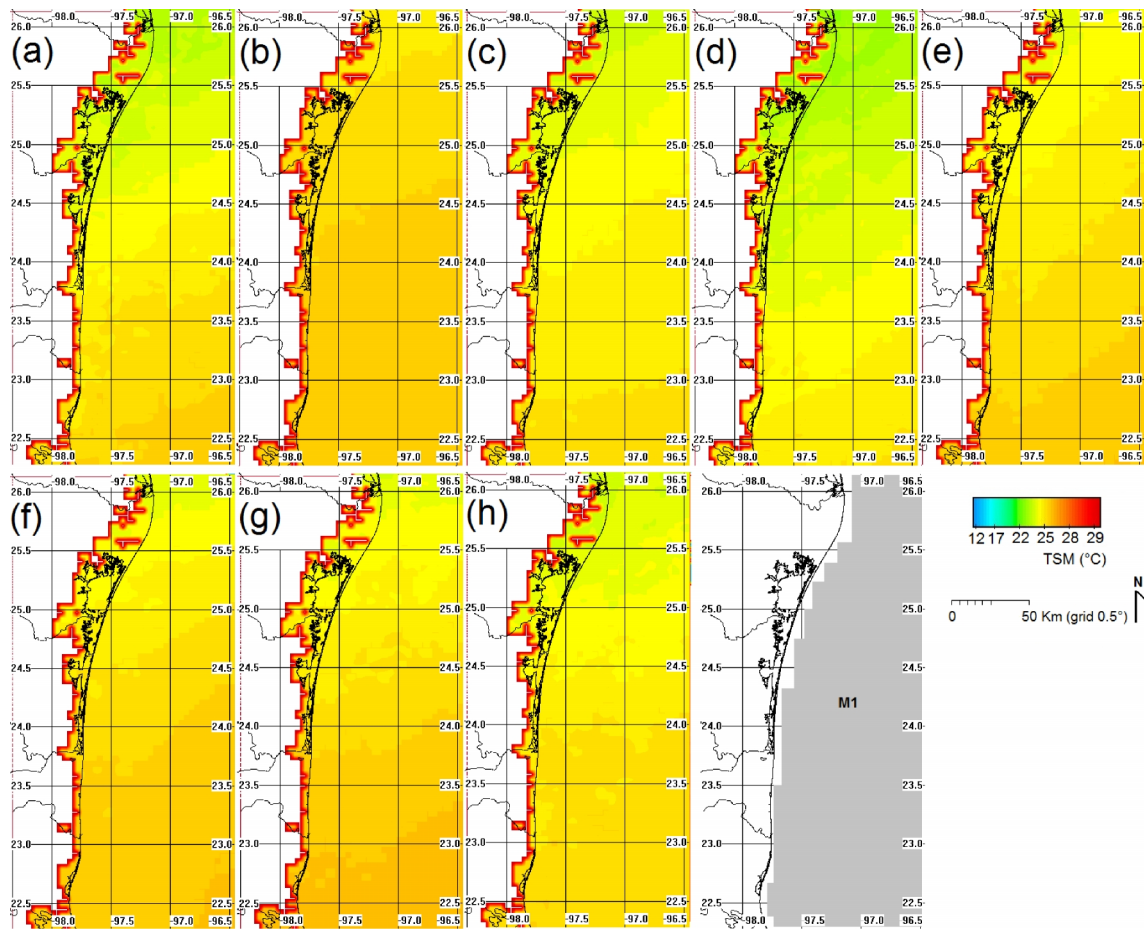
Los registros mensuales para la TSM anteriores a noviembre 1985 (periodo 1981 - 1984, boyas) (Fig. 4), se muestran en la tabla VII.

**Tabla VII**

Registros complementarios para la TSM, obtenidos del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration

	TSM (°C)
Julio 1980	27.3
Julio 1981	29.1
Junio 1982	28.0
Julio 1983	28.8
Junio 1984	28.1





**Figura 19.** Secuencia cronológica para la temperatura superficial del mar (TSM), durante los máximos de la abundancia DA o generaciones principales de reproductores, período 1974 - 1992. Compuestos de promedio para los meses de febrero y marzo. 1985 (a), 1986 (b), 1987 (c), 1988 (d), 1989 (e), 1990 (f), 1991 (g), 1992 (h). Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro)

Los registros mensuales para la TSM anteriores a noviembre 1985 (período 1981 - 1984, boyas) (Fig. 4), se muestran en la tabla VIII.

**Tabla VIII**

Registros complementarios para laTSM, obtenidos del Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration

	TSM (°C)
marzo 1980	22.0
marzo 1981	22.5
febrero 1982	22.5
marzo 1983	21.7
febrero 1984	21.2

## Simulación tercera parte

### Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia

Para estructurar al MCC en el periodo de junio 1982 a septiembre 1983, se consideraron las siguientes series de tiempo para *fi*, *Pp*, *Cl a* y TSM (Tablas V y IX). Con base en la figura 9, se corroboró que durante este periodo, el evento “El Niño” no tuvo afectos sobre la variación interanual de la abundancia FR y DA.

**Tabla IX**

Abundancia virtual observada para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus*, esfuerzo de pesca (*fi*), precipitación pluvial (*Pp*), concentración de clorofila *a* (*Cl a*), temperatura superficial del mar (TSM). Periodo de junio 1982 a septiembre 1983

		FR 10 <sup>6</sup>	DA 10 <sup>6</sup>	<i>fi</i> viajes	<i>Pp</i> mm	<i>Cl a</i> mg·m <sup>-3</sup>	TSM °C
1982	junio	13.1	1.91	58.60	21.10	0.00	27.98
	julio	9.79	1.99	43.62	20.60	0.18	29.09
	agosto	6.89	1.44	33.49	31.20	0.29	29.40
	septiembre	6.06	1.47	29.07	85.50	0.118	28.97
	octubre	6.30	1.46	22.88	76.30	0.188	27.37
	noviembre	6.17	1.36	32.21	9.30	0.328	25.24
	diciembre	5.41	1.68	33.02	36.90	0.952	23.31
1983	enero	4.56	2.71	14.79	11.20	0.507	22.20
	febrero	4.37	4.54	6.53	45.70	0.510	22.10
	marzo	4.89	5.9	9.40	23.00	0.783	21.30
	abril	7.29	3.1	3.35	0.10	0.225	21.65
	mayo	13.13	1.55	3.83	79.00	0.00	24.16
	junio	19.94	1.19	9.09	48.30	0.240	27.40
	julio	21.08	1.06	20.73	222.60	0.188	28.84
agosto	15.85	0.73	27.09	91.30	0.00	29.21	
septiembre	7.35	0.95	14.81	146.90	0.293	28.82	

Los resultados obtenidos para el MCC, se muestran en la tabla X.

**Tabla X**

Resultados para el MCC. Índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca (*fi*), precipitación pluvial (*Pp*), concentración de clorofila *a* (*Cl a*), temperatura superficial del mar (TSM). Los valores inscritos, representan a las cargas factoriales o efectos de correlación canónicos

grupo dependiente	Raíz 1	Raíz 2
FR	0.553802	<u>0.832648</u>
DA	<u>0.987980</u>	0.154583
Grupo independiente		
<i>fi</i>	0.6404	-0.5143
<i>Pp</i>	-0.3808	0.5799
<i>Cl a</i>	0.6082	-0.4008
TSM	-0.6410	0.6545

El MCC generó un sistema de ecuaciones lineales (R1 y R2) y para identificar, cuál de éstas predice por separado a la variación interanual de la abundancia FR y DA; se utilizó el valor de carga canónica con magnitud ( $> 0.70$ ), que resultó para el grupo dependiente (Tabla X). Para el caso del índice de abundancia FR, la variación interanual se simuló con la ecuación lineal R2 (0.832648) y para el índice de abundancia DA, se utilizó la ecuación lineal R1 (0.987980) (Tabla X). El MCC resultó con los siguientes sellos de garantía:  $R_{cc} = 0.955$  y  $R_{cc}^2 = 0.912$  ( $p < 0.05$ ).

Los efectos de correlación canónicos fueron inversos entre la variación interanual de la abundancia FR y las series de tiempo  $f_i$  y  $Cl_a$ ; mientras que, los efectos fueron directos con Pp y TSM (Tabla X). La variación interanual de la abundancia DA, registró efectos de correlación inversos con las series de tiempo Pp y TSM; mientras que, los efectos fueron directos con  $f_i$  y  $Cl_a$  (Tabla X). Los efectos de correlación canónicos inscritos en la tabla X, fueron consistentes con los inscritos en la tabla V; aunque entre éstos, se registró una modificación en la magnitud (Tablas V y X).

Con base en la información inscrita en la tabla X, se estructuró el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} FR_e &= -0.5143 \cdot f_i + 0.5799 \cdot Pp - 0.4008 \cdot Cl_a + 0.6545 \cdot TSM \\ DA_e &= 0.6404 \cdot f_i - 0.3808 \cdot Pp + 0.6082 \cdot Cl_a - 0.6410 \cdot TSM \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

$FR_e$ , es la abundancia virtual esperada para reclutas de *F. aztecus*

$DA_e$ , es la abundancia virtual esperada para reproductores de *F. aztecus*

$f_i$  es el esfuerzo de pesca

Pp es la precipitación pluvial

$Cl_a$  es la concentración de clorofila *a*

TSM es la temperatura superficial del mar

-0.5143, 0.5799, -0.4008 y 0.6545 son las cargas canónicas estimadas para  $f_i$ , Pp,  $Cl_a$  y TSM

0.6404, -0.3808, 0.6082 y -0.6410 son las cargas canónicas estimadas para  $f_i$ , Pp,  $Cl_a$  y TSM

Para el periodo de junio 1982 a septiembre 1983, las predicciones retrospectivas usando el MCC (1), se muestran en la tabla XI. Todas éstas resultaron con residuos diferentes de cero y para ambos casos (observados (o) y esperados (e)), la confrontación estadística resultó en la aceptación de la hipótesis  $H_a$  ( $FR_o - FR_e$ :  $\chi^2 = 801$ ,  $\chi^2_\alpha = 24.99$ ,  $n = 16$ ,  $gl = 15$ ,  $p < 0.05$ ) y ( $DA_o - DA_e$ :  $\chi^2 = 366$ ,  $\chi^2_\alpha = 24.99$ ,  $n = 16$ ,  $gl = 15$ ,  $p < 0.05$ ). Por lo anterior y para este periodo, se concluyó que el MCC (1), **no fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*. Por otra parte y debido a que para el MCC (1), el  $lr$  entre el grupo dependiente resultó de 0.72, el sistema de ecuaciones lineales (1) se corrigió matemáticamente.

Para realizar la corrección matemática, del grupo independiente, se seleccionó a  $f_i$ , porque su variación interanual depende en gran medida de la disponibilidad interanual de la abundancia FR y DA (Tablas VI y XI); y en menor grado, de Pp,  $Cl_a$  y la TSM (Tablas V y X).

La corrección matemática se describe a continuación:

$$f_i = \frac{-FR_e - 0.4008 \cdot Cl_a + 0.6545 \cdot TSM + 0.5799 \cdot Pp}{0.5143} \quad (2)$$

$$f_i = \frac{DA_e - 0.6082 \cdot Cl_a + 0.6410 \cdot TSM + 0.3808 \cdot Pp}{0.6404}$$

$$0.6404(-FR_e - 0.4008 \cdot Cl_a + 0.6545 \cdot TSM + 0.5799 \cdot Pp) = 0.5143(DA_e - 0.6082 \cdot Cl_a + 0.6410 \cdot TSM + 0.3808 \cdot Pp) \quad (3)$$

$$FR'_e = \frac{-0.5143 \cdot DA_e + 0.0561 \cdot Cl_a + 0.0894 \cdot TSM + 0.1756 \cdot Pp}{0.6404} \quad (4)$$

$$DA'_e = \frac{-0.6404 \cdot FR_e + 0.0561 \cdot Cl_a + 0.0894 \cdot TSM + 0.1756 \cdot Pp}{0.5143}$$

$$(f_i : FR) = \frac{-FR'_e - 0.4008 \cdot Cl_a + 0.6545 \cdot TSM + 0.5799 \cdot Pp}{0.5143} \quad (5)$$

$$(f_i : DA) = \frac{DA'_e - 0.6082 \cdot Cl_a + 0.6410 \cdot TSM + 0.3808 \cdot Pp}{0.6404}$$

El modelo MCC corregido es:

$$\begin{aligned} FR_e &= -0.5143 \cdot (f_i : DA) + 0.5799 \cdot Pp - 0.4008 \cdot Cl_a + 0.6545 \cdot TSM \\ DA_e &= 0.6404 \cdot (f_i : FR) - 0.3808 \cdot Pp + 0.6082 \cdot Cl_a - 0.6410 \cdot TSM \end{aligned} \quad (6)$$

Donde:

FR<sub>e</sub>, es la abundancia virtual esperada para reclutas de *F. aztecus*

DA<sub>e</sub>, es la abundancia virtual esperada para reproductores de *F. aztecus*

f<sub>i</sub>:FR es la variable que integra el efecto de FR en DA en términos de f<sub>i</sub>.

f<sub>i</sub>:DA es la variable que integra el efecto de DA en FR en términos de f<sub>i</sub>.

Pp es la precipitación pluvial

Cl<sub>a</sub> es la concentración de clorofila a

TSM es la temperatura superficial del mar

-0.5143, 0.5799, -0.4008 y 0.6545 son las cargas canónicas estimadas para f<sub>i</sub>:DA, Pp, Cl<sub>a</sub> y TSM

0.6404, -0.3808, 0.6082 y -0.6410 son las cargas canónicas estimadas para f<sub>i</sub>:FR, Pp, Cl<sub>a</sub> y TSM

Para el periodo de junio 1982 a septiembre 1983, las predicciones retrospectivas usando el MCC (6), se muestran en la tabla XII y figura 20a. Todas éstas resultaron con residuos iguales a cero y para ambos casos (observados (o) y esperados (e)), la confrontación estadística resultó en la aceptación de la hipótesis Ho (FR<sub>o</sub>-FR<sub>e</sub>:  $\chi^2 = 0.00$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 24.99$ , n = 16, gl = 15, p = 0.99) y (DA<sub>o</sub>-DA<sub>e</sub>:  $\chi^2 = 0.00$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 24.99$ , n = 16, gl = 15, p = 0.99). Por lo anterior y para este periodo, se concluyó que el MCC (6), **fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*.

Para el periodo de junio 1982 a 1992, las predicciones retrospectivas usando el MCC (6), se muestran en la figura 20b. Todas éstas resultaron con residuos iguales a cero y para ambos casos (observados (o) y esperados (e)), la confrontación estadística resultó en la aceptación de la hipótesis Ho (FR<sub>o</sub>-FR<sub>e</sub>:  $\chi^2 = 0.00$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 125.09$ , n = 126, gl = 125, p = 0.99) y (DA<sub>o</sub>-DA<sub>e</sub>:  $\chi^2 = 0.00$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 125.09.99$ , n = 126, gl = 125, p = 0.99). Por lo anterior y para este periodo, se concluyó que el MCC (6), **fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*.



**Tabla XI**

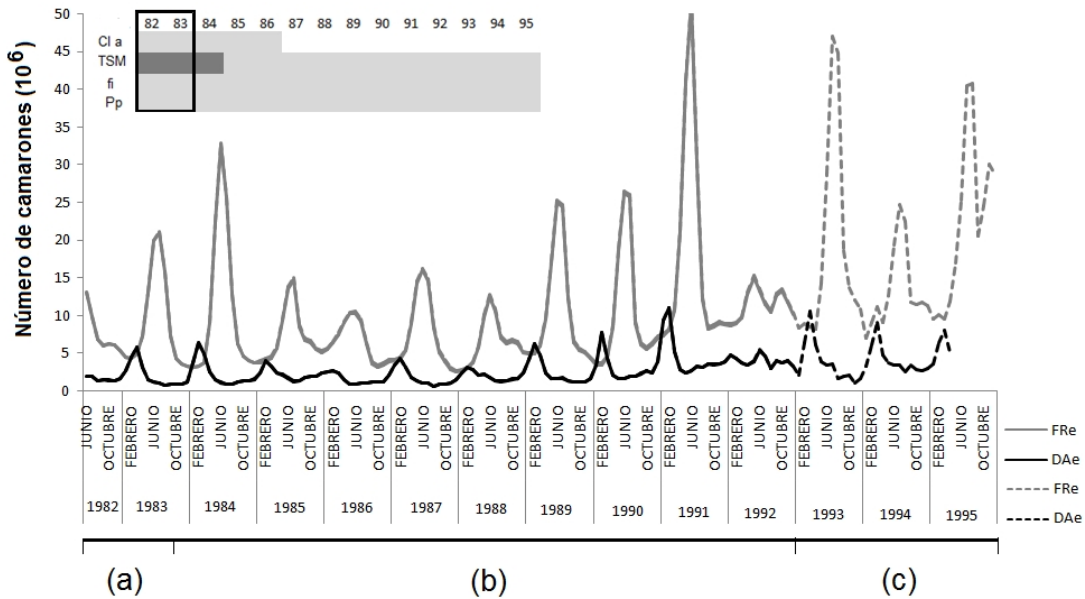
Predicciones retrospectivas del MCC (1) sobre la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo de junio 1982 a septiembre 1983

		FRo	DAo	FRe	DAe
		10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>
1982	junio	13.1	1.91	0.41	11.6
	julio	9.79	1.99	8.47	1.60
	agosto	6.89	1.44	19.99	9.10
	septiembre	6.06	1.47	53.54	32.40
	octubre	6.30	1.46	50.31	31.80
	noviembre	6.17	1.36	5.21	1.10
	diciembre	5.41	1.68	19.29	7.30
	1983	enero	4.56	2.71	13.22
febrero		4.37	4.54	37.40	27.10
marzo		4.89	5.9	22.13	15.90
abril		7.29	3.1	12.42	11.60
mayo		13.13	1.55	59.65	43.10
junio		19.94	1.19	41.17	30.00
julio		21.08	1.06	137.22	89.90
agosto		15.85	0.73	58.13	36.10
septiembre		7.35	0.95	96.32	64.80

**Tabla XII**

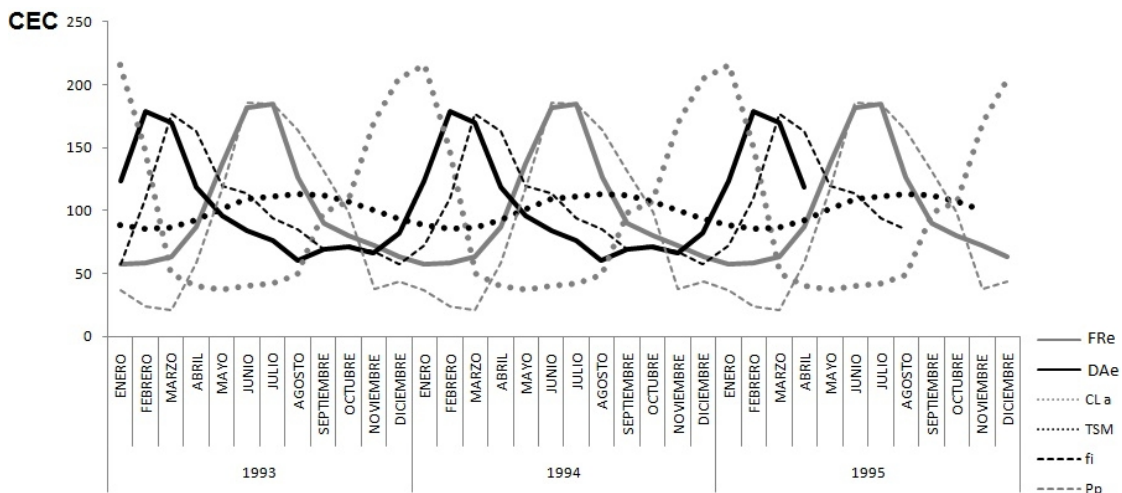
Predicciones retrospectivas del MCC (6) sobre la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV, periodo de junio 1982 a septiembre 1983

		FRo	DAo	FRe	DAe
		10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>
1982	junio	13.1	1.91	13.1	1.91
	julio	9.79	1.99	9.79	1.99
	agosto	6.89	1.44	6.89	1.44
	septiembre	6.06	1.47	6.06	1.47
	octubre	6.30	1.46	6.30	1.46
	noviembre	6.17	1.36	6.17	1.36
	diciembre	5.41	1.68	5.41	1.68
	1983	enero	4.56	2.71	4.56
febrero		4.37	4.54	4.37	4.54
marzo		4.89	5.9	4.89	5.9
abril		7.29	3.1	7.29	3.1
mayo		13.13	1.55	13.13	1.55
junio		19.94	1.19	19.94	1.19
julio		21.08	1.06	21.08	1.06
agosto		15.85	0.73	15.85	0.73
septiembre		7.35	0.95	7.35	0.95



**Figura 20.** Variación interanual de la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV. Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro). Concentración de Clorofila a (Cl a), temperatura superficial del mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp). Entre 1981 y 1992, las predicciones observadas no alcanzan a apreciarse (línea gris continua), porque resultaron iguales a las esperadas (línea gris discontinua)

Para el periodo de 1993 a 1995, las predicciones prospectivas usando el MCC (6), se muestran en figura 20c. Los detalles para sus correspondientes CEC, se ilustran en la figura 21.



**Figura 21.** Componentes espectrales cíclicos (CEC), correspondientes a los índices de abundancia para reclutas (FR), reproductores (DA), concentración de clorofila a (Cl a), temperatura superficial de mar (TSM), esfuerzo de pesca (fi) y precipitación pluvial (Pp), periodo 1993 - 1995. Los registros de Cl a corresponden al periodo de enero 1982 a diciembre 1984

Los resultados del análisis de correlación auxiliar, correspondiente al periodo de junio 1982 a 1992, se muestran en la tabla XIII; para este caso, entre la variación interanual de la abundancia virtual esperada (e) de los índices FR y DA, registró un efecto de correlación inverso ( $R = -0.447$ ,  $p < .05$ ).

**Tabla XIII**

Análisis de correlación auxiliar, periodo de junio 1982 a 1992 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 126$ ). Abundancia virtual esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila a (Cl a), temperatura superficial del mar (TSM)

	FR <sub>e</sub>	DA <sub>e</sub>
fi	-0.026, $p < 0.05$	0.582, $p < 0.05$
Pp	0.911, $p < 0.05$	-0.634, $p < 0.05$
Cl a	-0.684, $p > 0.05$	0.749, $p > 0.05$
TSM	0.707, $p < 0.05$	-0.839, $p < 0.05$

Los resultados del análisis de de correlación auxiliar, correspondiente al periodo 1993 - 1995, se muestran en la tabla XIV; para este caso, entre la variación interanual de la abundancia virtual esperada (e) de los índices FR y DA, registró un efecto de correlación inverso ( $R = -0.503$ ,  $p < .05$ ).

**Tabla XIV**

Análisis de correlación auxiliar, periodo 1993 – 1995 ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 36$ ). Abundancia virtual esperada (e) de los índices para reclutas (FR) y reproductores (DA), esfuerzo de pesca (fi), precipitación pluvial (Pp), concentración de clorofila a (Cl a), temperatura superficial del mar (TSM)

	FR <sub>e</sub>	DA <sub>e</sub>
fi	-0.025, $p < 0.05$	0.605, $p < 0.05$
Pp	0.917, $p < 0.05$	-0.679, $p < 0.05$
Cl a	-0.645, $p > 0.05$	0.801, $p > 0.05$
TSM	0.734, $p > 0.05$	-0.855, $p > 0.05$

Durante la primera ronda de simulaciones y para los tres periodos analizados, los efectos de correlación entre la información involucrada, se mantuvieron consistentes (Tablas V, VI, X, XIII, XIV). Con base en lo anterior y específicamente para el periodo 1993 – 1995 (Tabla XIV), se concluyó que el MCC (6) **fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus* (Figuras 20c y 21).

### **Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia (sin la Cl a)**

Se cambio el estado matemático del MCC (6), eliminando el efecto de la Cl a. Éste es:

$$\begin{aligned} FR_e &= -0.5143 \cdot (f_i : DA) + 0.5799 \cdot Pp + 0.6545 \cdot TSM \\ DA_e &= 0.6404 \cdot (f_i : FR) - 0.3808 \cdot Pp - 0.6410 \cdot TSM \end{aligned} \quad (7)$$

Donde, todas las variables y coeficientes incluidos se definen como anteriormente.

Para el periodo de junio 1982 a septiembre 1983, las predicciones retrospectivas usando el MCC (7), se muestran en las figuras 22a y 23a. Todas éstas resultaron con residuos diferentes de cero y para ambos casos (observados (o) y esperados (e)), la confrontación estadística resultó en la aceptación de la hipótesis  $H_a$  (FRo-FRe:  $\chi^2 = 63.0$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 24.99$ ,  $n = 16$ ,  $gl = 15$ ,  $p = 0.99$ ) y (DAo-DAe:  $\chi^2 = 103.1$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 24.99$ ,  $n = 16$ ,  $gl = 15$ ,  $p = 0.99$ ). Por lo anterior y para este periodo, se concluyó que el MCC (7), **no fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*.

Para el periodo de junio 1982 y hasta 1992, las predicciones retrospectivas usando el MCC (7), se muestran en las figuras 22b y 23b. Todas éstas resultaron con residuos iguales a cero y para ambos casos (observados (o) y esperados (e)), la confrontación estadística resultó en la aceptación de la hipótesis  $H_a$  (FRo-FRe:  $\chi^2 = 491.8$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 125.09$ ,  $n = 126$ ,  $gl = 125$ ,  $p = 0.99$ ) y (DAo-DAe:  $\chi^2 = 784.9$ ,  $\chi^2_{\alpha} = 125.09$ ,  $n = 126$ ,  $gl = 125$ ,  $p = 0.99$ ). Por lo anterior y para este periodo, se concluyó que el MCC (7), **no fue viable** para predecir respectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*.

Para el periodo 1993 -1995, las predicciones prospectivas usando el MCC (7), se muestran en figuras 22c y 23c.

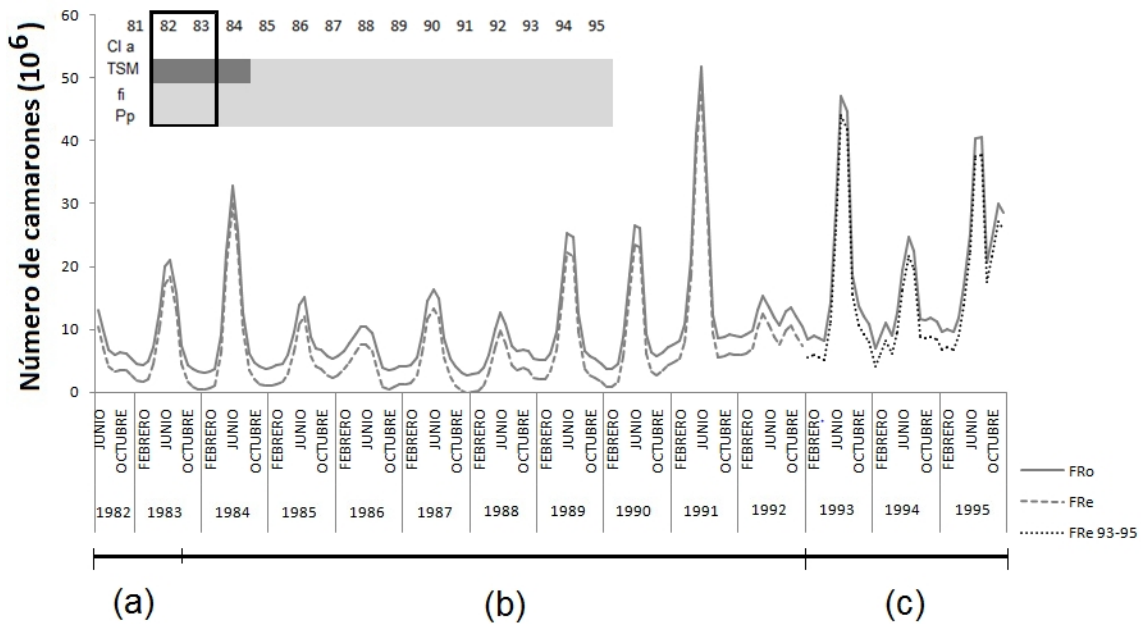
Para todos los periodos analizados, el MCC (7) generó predicciones sub-estimadas, sobre la abundancia virtual esperada para reclutas y reproductores de *F. aztecus* (figuras 22 y 23); sin embargo, la variación interanual de la abundancia simulada se mantuvo sin cambios, con respecto a la simulada con el MCC (6) (Fig. 20). Lo anterior sugiere, que sin el efecto de Cl **a** en el MCC (7), no se modificaron las fechas en las que ocurrieron los máximos de la abundancia FR y DA (Figuras 14 y 15).

Cuando se consideró la información de Cl **a** y TSM del año 2013 (Fig. 24), fue posible corroborar, que las condiciones oceanográfica actuales en la RTnV, han sido persistentemente las mismas (Figuras 17-19), como en las que históricamente, se han desarrollado los máximos y mínimos de la abundancia FR y DA. Luego entonces, los máximos de la abundancia FR y DA, debieron ocurrir consistentemente, entre 1993 y 1995, como se indica:

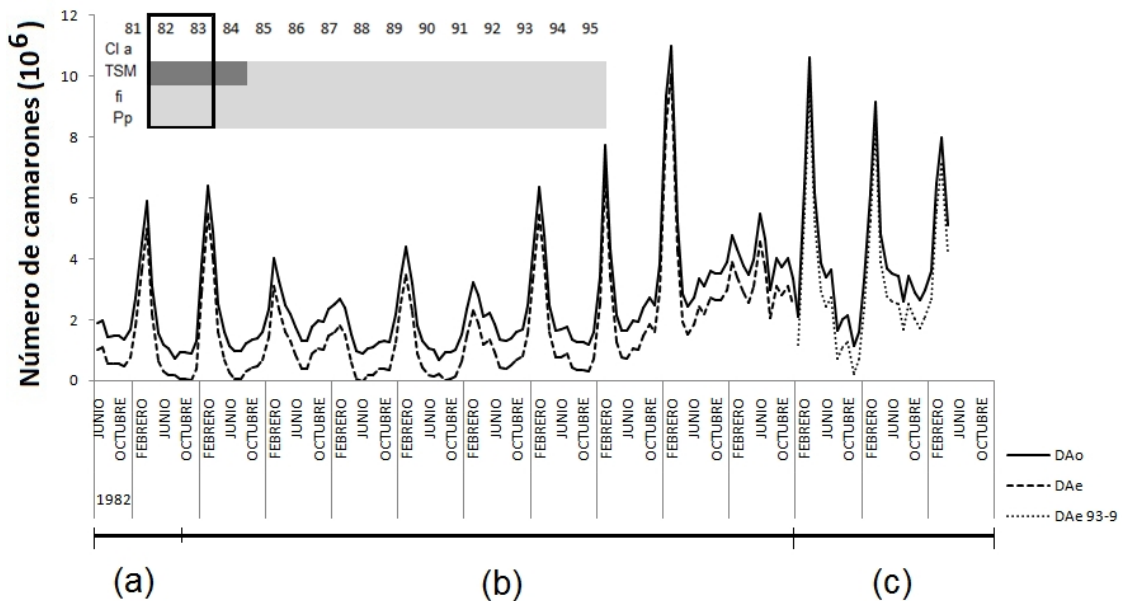
- De junio a julio, los máximos de la abundancia FR, ocurrieron bajo condiciones oceanográficas de baja Cl **a** y alta TSM (Fig. 24).

- De febrero a marzo, los máximos de la abundancia DA, ocurrieron bajo condiciones oceanográficas de alta Cl **a** y baja TSM (Fig. 24).

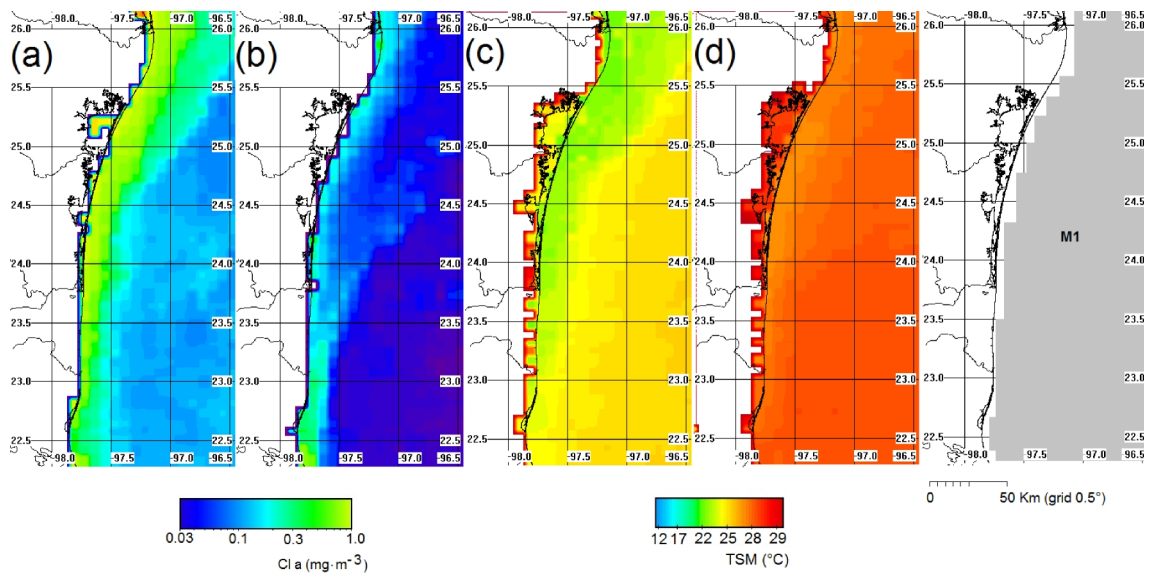
Se concluyó que los MCC (6 y 7), representan escenarios distintos de simulación, útiles para los objetivos de este trabajo y aplicables a la ecología pesquera real; siempre que se consideren, las ventajas y desventajas estadísticas antes explícitas.



**Figura 22.** Variación interanual en la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índice de abundancia para reclutas (FR) de *F. aztecus* en la RTnV (sin el efecto de la concentración de CI a). Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro)



**Figura 23.** Variación interanual en la abundancia virtual observada (o) y esperada (e) de los índices de abundancia para reproductores (DA) de *F. aztecus* en la RTnV (sin el efecto de la concentración de CI a). Predicciones retrospectivas de junio 1982 a septiembre 1983 (a), entre junio 1982 y 1992 (b); y prospectivas, de 1993 a 1995 (c). En el recuadro superior izquierdo, se indica la disponibilidad temporal de la información ambiental y oceanográfica (incluido fi) (en color gris claro) y resaltando en color negro, el periodo en el que ésta fue consistentemente disponible. En el mismo recuadro, se señala la información registrada por boyas (en color gris oscuro)



**Figura 24.** Secuencia cronológica para concentración de clorofila *a* (CI *a*) y la temperatura superficial del mar (TSM), indicando que las condiciones oceanográfica actuales del 2013 en la RTnV, han sido persistentemente las mismas, como en las que históricamente, se han desarrollado las generaciones principales de *F. aztecus*. Para el índice de abundancia FR, los compuestos de promedio son para los meses junio y julio (b y d); para el índice de abundancia DA, los compuestos de promedio son para los meses de febrero y marzo (a y c). Imagen de “máscara” M1 (región marina de pesca en color gris claro)

## Discusión

### Simulación primera parte

#### Análisis de la mortalidad

Para estructurar un plan de uso y manejo de camarón en la RTnV, así como para realizar evaluaciones del estado de explotación en la pesquería de *F. aztecus*, la estimación de la tasa *M* resulta indispensable (Ramos-Cruz *et al.*, 2006). Para la simulación pesquera, un valor confiable de la tasa *M*, permite aproximar (después de la remoción de los ejemplares muertos), el número de supervivientes que persisten en las cohortes naturales; identificando para todas éstas, las muertes ocasionadas por la explotación (tasa *F*) (Cervantes-Hernández, 2008). Vetter (1988) describió las dificultades teórico-técnicas, implícitas en la estimación de la tasa *M*; señalando, que ésta en la mayoría de los modelos pesqueros, es el principal parámetro de entrada (e.g., el APV).

En la fase marina de explotación, para estimar la tasa *M* en la población de *F. aztecus*, se utilizaron un grupo de modelos recomendados para el caso de los camarones de la familia Penaeidae (Álvarez *et al.*, 1987; Cervantes-Hernández, 1999; Ramos-Cruz *et al.*, 2006; Cervantes-Hernández y Gracia, 2011). Con base en lo anterior, se desarrolló una técnica estadística, con la que se acotó, el intervalo confiable de la tasa *M*, suponiendo que ésta no es constante entre  $t_1$  y  $t_2$ , con  $M < Z$  en  $Z = M + F$  (Beverton y Holt, 1957; Ricker, 1975).

Para el caso de las pesquerías de camarón del Golfo de México, Gracia *et al.* (1997), puntualizaron, que estimaciones de la tasa *M* mayores a 0.40 mensual, se consideran

excesivas; por lo anterior, en este trabajo, las que resultaron como el caso anterior fueron descartadas. Por otra parte y específicamente para los modelos que generaron estimaciones de la tasa  $M$  menores a 0.40 mensual, su aceptación o no, estuvo sujeta a la significancia estadística correspondiente y a la comparación de éstas, con respecto a la bibliografía disponible.

Para el Golfo de México, el intervalo histórico de la tasa  $M$  se estructuró con base en la bibliografía disponible entre 0.19 y 0.31 mensual (de 1960 a 1992) (Klima, 1989; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Gracia, 1997). El intervalo acotado para *F. aztecus* en la RTnV resultó de  $M = 0.23$  ( $R = 0.556$ ,  $p < 0.05$ ) a  $M = 0.24$  ( $R = 0.478$ ,  $p < 0.05$ ); que resultó consistente, con el intervalo registrado en la literatura. Por lo anterior, se concluyó que los modelos cuya base teórica de análisis fue la CPUE por grupos de edad (en año normal y biológico) (Tabla III), resultaron para este caso, ser los más confiables.

Un análisis de sensibilidad como el propuesto en este trabajo, fue utilizado por Ramos-Cruz *et al.* (2006) para estimar la tasa  $M$  en las pesquerías de *F. californiensis* y *L. vannamei* del Golfo de Tehuantepec, periodo 1989 - 1998. Para la realización de este trabajo, se utilizaron los mismos modelos que los descritos en la sección para el análisis de mortalidad, pero los autores reportaron como los más confiables, a los que están basados en el análisis de los parámetros de crecimiento en longitud (e.g.: Taylor (1958) y Pauly (1980)). Se documentaron valores de la tasa  $M$  en 0.22 mensual para *F. californiensis* y de 0.20 para *L. vannamei*. Para la realización de este trabajo, se utilizaron los parámetros de crecimiento en longitud de *F. californiensis* y *L. vannamei*, reportados por Chávez (1979); y que cronológicamente, son antiguos con respecto al periodo analizado.

En el presente trabajo, se encontró que para aplicar correctamente la combinación de los modelos de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) (Tabla III), se requirió de un registro del esfuerzo de pesca ininterrumpido. Ramos-Cruz *et al.* (2006), puntualizaron que la combinación de modelos mencionados, fue inviable en el Golfo de Tehuantepec, porque no estuvo disponible un registro completo del esfuerzo de pesca; debido principalmente, a la implementación de vedas en la zona 90 de pesca (entre mayo/junio y agosto). Para la RTnV de 1974 a 1992, los registros del esfuerzo de pesca fueron ininterrumpidos, porque durante este periodo, las vedas temporales en la zona marina de pesca, aún no habían sido implementadas (Gracia, 1997; 2004; INP, 2011).

Debido a los inconvenientes antes señalados y dada la robustez estadística obtenida con la combinación de los modelos de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961), las estimaciones de la tasa  $M$  para *F. aztecus* en la RTnV, en comparación con las estimadas por Ramos-Cruz *et al.* (2006), se consideraron mejor aproximadas. A pesar de lo anterior, para ambos casos, se lograron estimaciones que para las pesquerías de camarón, se consideran confiables; tal y como está documentado en las pesquerías de camarón del Golfo de México (Klima, 1989; Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Gracia, 1997; Cervantes-Hernández, 1999; Cervantes-Hernández y Gracia, 2011) y del Pacífico mexicano (Sierra, 1993; Reyna-Cabrera & Ramos-Cruz, 1998; INP, 2004).

Se concluyó, que dependiendo de la información disponible (e.g.: la CPUE por grupos de edad o los parámetros de crecimiento en longitud), el grupo de modelos

recomendados para el caso de los camarones de la familia Penaeidae, son suficientes y pertinentes para aproximar el valor de la tasa M.

Con la combinación de los modelos de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961), autores como Cervantes-Hernández y Gracia (2011), estimaron un valor de la tasa M en 0.22 mensual, para la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche, México (periodo 1974 - 1989); y al igual como en el presente trabajo, los autores no tomaron en cuenta los valores de la tasas M estimados para los grupos de edad con tres y seis meses (por ser extremadamente pequeños y altos, respectivamente).

Por otra parte y siguiendo con los trabajos antes citados, la estimación de la tasa M correspondiente al grupo de edad con cinco meses, resultó próxima al valor de la tasa Z; por esta razón, los autores no la tomaron en cuenta. La igualdad entre las tasas M y Z, sólo ocurre antes de alcanzar y durante la edad de reclutamiento (Tabla IV) (Cervantes-Hernández, 1999); pero nunca, en un grupo de edad plenamente reclutado a la pesquería (e.g., el de cinco meses). Lo anterior se debe, a que en el ambiente marino de pesca, después del reclutamiento, comienzan a incidir otros mecanismos de mortalidad natural y pesca (Gracia, 1997).

Cuando en este trabajo se analizó la edad de reclutamiento a través del índice de abundancia FR (Tabla IV), se demostró que el reclutamiento marino, inició con los grupos de cohortes que comienzan a ser explotadas a la edad de cuatro meses ( $F_4 = 0.22$  mensual). Esta última estimación de la tasa F, resultó próxima al valor de la tasa M (0.23 mensual); demostrando, que ambas pueden igualarse, antes de reclutarse plenamente a la pesquería (Tabla IV) (Cervantes-Hernández, 1999). Consistentemente, en el ambiente marino de pesca RTnV y a partir del grupo de edad con cinco meses, se registró un incremento en el número de muertes ocasionadas por la pesca ( $\exp^{-F}$ ) (por el cambio entre los ambientes lagunar - marino), con respecto a las muertes naturales ( $\exp^{-M}$ ) (Fig. 7).

### **Simulación de los índices de abundancia**

Para el manejo de las pesquerías de interés comercial, conocer la variabilidad interanual de la abundancia para reclutas y reproductores, es de suma importancia (Penn y Caputi, 1986). En el caso de las especies de camarón del Golfo de México, diferentes autores han utilizado registros históricos de captura comercial, para simular procesos dinámicos poblacionales (e.g.: mortalidad, reclutamiento y reproducción). (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1997; Solana-Sansores *et al.*, 1989; 1993; Gracia, 1989; 1991). Al respecto, Ye (2000) señaló que esos procesos son difíciles de obtener, toda vez que sean simulados exclusivamente con registros de captura comercial o captura por unidad de esfuerzo (CPUE); porque en éstas, no se considera la separación entre la captura correspondiente para reclutas y reproductores.

Por lo anterior, en este trabajo, no se consideró analizar a la CPUE como un índice de abundancia; por lo que se optó, analizar la captura comercial marina de *F. aztecus*, separando de ésta, índices de abundancia para reclutas (FR) y reproductores (DA). Con la combinación del APV a  $M = 0.23$  mensual y adicionalmente con el ACP (Tabla IV), el índice FR se estructuró con la abundancia de todas las cohortes correspondientes al grupo de edad con cuatro meses (que comenzó a ser sujeto de explotación en el



ambiente marino) (Tabla IV). Para estructurar al índice DA, se consideró adicionar la abundancia de todas las cohortes correspondientes a los grupos de edad entre seis y 13 meses (que estuvieron plenamente reclutados al ambiente marino) (Tabla IV). Para validar a los grupos de edad con los que se estructuraron a los índices de abundancia FR y DA, se utilizaron criterios estadísticos (Hair *et al.*, 1999) y biológicos (Gracia, 1995).

Al noroeste del Golfo de México, Solana-Sansores *et al.* (1989) simularon la variación interanual de la abundancia para reclutas y reproductores de *F. aztecus*. Los autores utilizaron el valor mensual del número de camarones capturados por grupos de edad entre 1974 y 1982. La información fue analizada virtualmente y posteriormente se ordenó con la técnica de componentes principales; con éste último, se estructuraron dos índices de abundancia: (i) la fuerza del reclutamiento y (ii) la densidad de adultos reproductores. El primer índice, se estructuró con el número de camarones correspondientes a los grupos de edad con tres y hasta siete meses. El segundo índice, se estructuró con el número de camarones correspondientes a los grupos de edad entre ocho y 12 meses. La fuerza del reclutamiento, registró máximos en el número de camarones durante el verano. La densidad de adultos reproductores, registró máximos en el número de camarones a finales del verano y principios del otoño.

Comparando la estructura de los índices de abundancia FR y DA, con respecto a los reportados por Solana-Sansores *et al.* (1989), se encontró que la fuerza del reclutamiento resultó inconsistente con el índice FR (Tabla IV) y la densidad de adultos reproductores, resultó parcialmente con el índice DA (Tabla IV). En lo que respecta a las fechas en la que se registraron los máximos para la fuerza del reclutamiento, éstas fueron consistentes con las obtenidas para los máximos de la abundancia FR (Fig. 14); pero no así, en el caso de las fechas designadas a los máximos de la densidad de adultos reproductores, con respecto a las reportadas para los máximos de la abundancia DA (Fig. 15).

Para validar la presencia de los grupos de edad con los que se estructuraron a la fuerza del reclutamiento y la densidad de adultos reproductores, Solana-Sansores *et al.* (1989), únicamente consideraron criterios estadísticos y no biológicos. Si se considera que el trabajo anterior fue contemporáneo al realizado aquí, entonces, los resultados inscritos en la tabla IV, siguieren que la fuerza del reclutamiento estructurada por Solana-Sansores *et al.* (1989), presentó errores de ordenación en los grupos de edad con tres, cinco, seis y siete meses. Para sustentar lo anterior, se consideró lo siguiente:

1.- El grupo de edad con tres meses, no puede ser considerado como un recluta pleno, porque éste resultó con el valor más bajo de explotación ( $F_3 = 0.02$  mensual), indicando que su abundancia fue mínima en la fase marina de explotación. Con base en lo anterior, se confirmó la no inclusión del grupo de edad con tres meses en el índice de abundancia FR (Tabla IV). Por otra parte, el mismo grupo de edad fue incluido incorrectamente por Solana-Sansores *et al.* (1989), en el índice fuerza del reclutamiento.

2.- El reclutamiento marino de *F. aztecus*, *F. duorarum*, *F. californiensis*, *L. setiferus* y *L. vanammei*, inicia cuando los organismos alcanzan la edad de cuatro meses. (Chávez, 1974; Chávez, 1979; Chávez y Arreguín-Sánchez, 1982; Gracia y Soto, 1990; Gracia *et*

*al.*, 1997; Reyna-Cabrera y Ramos-Cruz, 1998; Cervantes-Hernández, 1999; INP, 2004; 2007; Macías-Regalado, 2001; Ramos-Cruz *et al.*, 2006). Con base en lo anterior, se confirmó la inclusión del grupo de edad con cuatro meses en el índice de abundancia FR (Tabla IV). Por otra parte, el mismo grupo de edad fue incluido correctamente por Solana-Sansores *et al.* (1989), en el índice fuerza del reclutamiento.

3.- Para diferentes pesquerías de camarón a nivel nacional e internacional, los grupos de edad con cinco, seis y siete meses, no están documentados e identificados como reclutas, sino como reproductores potenciales con diferentes estadios de madurez sexual (Chávez, 1974; Chávez, 1979; Chávez y Arreguín-Sánchez, 1982; Penn y Caputi, 1986; Zimmerman y Minello, 1984; Gracia y Soto, 1990; Gracia *et al.*, 1997; Reyna-Cabrera y Ramos-Cruz, 1998; Cervantes-Hernández, 1999; INP, 2004; 2007; Macías-Regalado, 2001; Ramos-Cruz *et al.*, 2006). Con base en lo anterior, se confirmó la inclusión de los grupos de edad antes mencionados, en el índice de abundancia DA (Tabla IV). Por otra parte, los mismos grupos de edad fueron incluidos erróneamente por Solana-Sansores *et al.* (1989), en el índice fuerza del reclutamiento.

4.- La historia de vida de los camarones del género *Penaeus* abarca aproximadamente entre 15 y 18 meses, la madurez sexual se alcanza de seis a siete meses, pero el 100 % de la población es madura sexualmente entre los 10 y 16 meses (Gracia, 1995). Éste último autor y el INP (2007), reportaron para *F. aztecus* en la RTnV, una madurez sexual entre siete y ocho meses. Reportes similares están documentados para *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec (Chávez, 1979; INP, 2004; Gallardo-Berumen, 2005; Ramos-Cruz *et al.*, 2006). Con base en lo anterior, se confirmó la inclusión de los grupos de edad antes mencionados, en el índice de abundancia DA (Tabla IV). Por otra parte, los mismos grupos de edad fueron incluidos correctamente por Solana-Sansores *et al.* (1989), en el índice densidad de adultos reproductores.

Solana-Sansores *et al.* (1989), ordenaron un grupo de edad parcialmente reclutado al ambiente marino (el de tres meses), junto con los grupos de edad que comienzan a estar reclutados (el de cuatro meses) y los plenamente reclutados (de cinco, seis y siete meses). Luego entonces, el índice fuerza del reclutamiento, no reflejó a plenitud la variación del número de camarones que realmente se reclutaron al ambiente marino. Por otra parte y considerando los errores de ordenación antes descritos, Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez (1993) indicaron que el índice fuerza del reclutamiento, se encontró altamente correlacionado con el esfuerzo de pesca (entre 1974 y 1982). Lo antes mencionado pareciera ser incorrecto, porque si se considerase la presencia de las temporadas de veda en la RTnV (de 1974 a 1992); entonces, éstas según las CEC de los índices de abundancia FR y DA, debieron proteger al 99% de los reclutas (Fig. 11). Finalmente, se sugiere que al incluir a los grupos de edad de edad con cinco, seis y siete meses en el índice fuerza del reclutamiento, Solana-Sansores *et al.* (1989) generó un error estadístico, que le impidió visualizar la verdadera correlación de éste, con respecto al fi. Lo antes mencionado tiene su fundamento, en que estas edades al estar incluidas en el índice DA, la respectiva CEC indicó que las temporadas de pesca, siempre han estado dirigidas a explotar el 99% de los reproductores y a una fracción de los reclutas, al final de la temporada de reclutamiento (Fig. 11).

Para la población de *Pandalus jordani* en las costas de Oregón E.U., Hannah (1999) simuló índices para reclutas y reproductores, en los siguientes periodos: (i) abril-mayo y

(ii) septiembre-octubre entre 1979 y 1996 (con  $M = 0.28$  mensual). El índice de reclutas fue estructurado mediante la adición de dos componentes: (i) una estimación de la abundancia de camarones con dos años de edad, obtenida de la CPUE entre abril-mayo (tiempo  $t$ ) y (ii) la abundancia de camarones con un años de edad, obtenida de la CPUE al tiempo  $t-1$ . El autor utilizó estas mismas edades, para estructurar al índice de reproductores, mediante el promedio de la CPUE de septiembre-octubre entre  $t$  y  $t-1$ . Los máximos de la abundancia para reclutas se reportaron en abril; mientras que, de septiembre a octubre, se reportaron los máximos de la abundancia para reproductores. Al parecer, el modelo de Hannah (1999) es una innovación al modelo de área de barrido de Sparre y Venema (1995), porque los índices de abundancia estructurados, no incluyeron a otros grupos de edad, excepto y únicamente a los de uno y dos años, que se reportan plenamente reclutados al ambiente marino (Lo, 1978; Gracia, 1995; INP, 2007). Por lo anterior, ninguno de los índices de Hannah (1999), reflejaron a plenitud el reclutamiento de los camarones jóvenes al ambiente marino. A pesar de lo anterior, este trabajo arrojó resultados interesantes, porque fue complementado con un análisis del porcentaje de desoves para hembras maduras; identificando a los meses de abril, como los más críticos para la supervivencia de las larvas producto de los desoves; y de septiembre a octubre, en los que ésta fue más favorable.

En apego al trabajo de Hannah (1999), se evidenció la existencia de una relación entre la abundancia de reproductores y el desove masivo de hembras maduras en *P. Jordanii*. Dicha relación fue reportada por Gracia *et al.* (1997) en las poblaciones de camarón del Golfo de México, indicando que el desove masivo de hembras maduras, generalmente coincide con altas abundancias de reproductores en el ambiente marino.

Para explicar en la población de *F. aztecus* lo señalado por Hannah (1999) y Gracia *et al.* (1997), se consideró para la RTnV (de junio a octubre), la siguiente información reportada por el INP (2007). El porcentaje de las hembras maduras en fase IV comenzó a ascender a finales de octubre (46%) y durante los meses subsecuentes (aunque no evaluados), se argumentó un incremento en su porcentaje y por ende, en la intensidad del desove. Según Sandoval-Quintero y Gracia (1998), fase IV en los camarones del género *Penaeus*, se caracteriza por la presencia de ovarios maduros con tonalidad oscura y masa gonadal desovada.

Debido a que no se cuenta con la información pertinente para demostrar lo señalado por INP (2007) (de octubre en adelante); en este trabajo, lo anterior se trató de deducir, siguiendo el desarrollo de las temporadas de reproducción, hasta llegar a los máximos de la abundancia DA. En la RTnV, la temporada de reproducción para *F. aztecus* se acotó de noviembre a agosto (Fig. 10 y 11). Si el porcentaje de las hembras maduras en fase IV comenzó a ascender a finales de octubre (INP, 2007), entonces, siguiendo gradualmente desde noviembre a la CEC del índice de abundancia DA (Fig. 10 y 11) y hasta alcanzar su máximo de abundancia entre febrero y marzo; es factible inferir, un incremento en el porcentaje de las hembras maduras en fase IV y por ende, el incremento en la intensidad del desove.

Por otra parte, el INP (2007) reportó que el porcentaje de las hembras maduras en fase IV, fue mínimo entre junio y julio; lo que coincide con el seguimiento de la CEC del índice de abundancia DA (Fig. 10 y 11). Posterior a los meses de febrero y marzo, la abundancia de este índice registró mínimos entre junio y julio (Fig. 10 y 11); por lo tanto,

es factible inferir, un descenso en el porcentaje de las hembras maduras en fase IV y por ende, la reducción en la intensidad del desove. Todo aquello coincidió con el incremento en la abundancia de reclutas, con máximos entre junio y julio (Fig. 10 y 11).

Es importante aclarar que el índice de abundancia DA, no cuantifica el porcentaje de las hembras maduras en fase IV; pero de éste y considerando el incremento gradual en la abundancia de reproductores (Margalef, 1978); se pudo inferir para la RTnV, lo señalado por Gracia *et al.* (1997) y el INP (2007).

En la Laguna Madre, Tamaulipas, México (localidades: Carrizal y Carbonera), durante la temporada de pesca de octubre 2007 a agosto 2008, Pérez-Castañeda *et al.* (2015), analizaron el cambio en la estructura de tallas para *F. aztecus*, *F. duorarum* y *L. setiferus*. Se colectaron 1,654 ejemplares de camarón; de los cuales, *F. aztecus* fue el más abundante, seguido de *F. duorarum* y *L. setiferus*. Las capturas estuvieron conformadas predominantemente por ejemplares subadultos (80.4%) y adultos (4.4%); mientras que, el 15.2% fueron juveniles. El registro de la talla, presentó variaciones mensuales, reportándose una disminución de ésta entre abril y octubre (entre 16 y 18 mm); mientras que de noviembre a marzo, se documentó una mayor talla (entre 20 y 20 mm).

La temporada de reclutamiento se acotó entre marzo y enero (Fig. 10 y 11), que comparado con Pérez-Castañeda *et al.* (2015), durante estas fechas, se documentaron los registros de menor talla para *F. aztecus* en la Laguna Madre. La temporada de reproducción se acotó entre noviembre y agosto (Fig. 10 y 11), comparando con el autor antes citado, durante estas fechas, se documentaron los registros de mayor talla para *F. aztecus* en la Laguna Madre. Con base en lo anterior, se confirmó y validó que las temporadas de reclutamiento y reproducción fueron correctamente acotadas. Por otra parte, resalta el hecho de que durante la temporada de pesca documentada por Pérez-Castañeda *et al.* (2015), las capturas de camarón estuvieron conformadas predominantemente por ejemplares subadultos y adultos, pero en menor porcentaje, de juveniles. Lo anterior sustenta que las temporadas de pesca en la RTnV, han estado y continúan estando dirigidas a explotar al 99% de los reproductores y a una fracción de los reclutas, al final de la temporada de reclutamiento (Fig. 11).

Cervantes-Hernández (2008), aplicó el mismo modelo estadístico aquí descrito, para estructurar índices de abundancia para reclutas y reproductores de *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec (entre 1989 y 1998). La información fue analizada virtualmente y posteriormente se ordenó con la técnica de componentes principales; con éste último, se estructuraron dos índices de abundancia: (i) la abundancia de reclutas o índice FR y (ii) la abundancia de reproductores o índice DR. El primer índice, se estructuró con la abundancia de las cohortes correspondientes al grupo de edad con cuatro meses. Para estructurar la abundancia DA, se consideró la adición de la abundancia de las cohortes correspondientes a los grupos de edad entre seis y 11 meses. Para esta especie y en el mismo golfo, trabajos realizados por el INP (2004) apuntan a que el porcentaje de las hembras maduras en fase IV y la intensidad del desove, se incrementaron gradualmente entre octubre y enero; por otra parte, los registros anteriores, se reportaron descendiendo de julio y septiembre. Consistente con los autores citados, se documentó que entre julio y agosto/septiembre, la abundancia de reclutas fue mayor a la abundancia de reproductores; y de octubre a enero, la abundancia de reproductores

fue mayor a la abundancia de reclutas. Para este caso en particular y aunque desfasados en fechas, todo lo antes explicitó coincidió con el seguimiento de las CEC de los índices de abundancia FR y DA (Fig. 10 y 11).

Para la población de *F. aztecus* y durante el periodo 1974 - 1992, los grupos de edad con 14, 15 y 16 meses se identificaron como sobre-explotados; mientras que, los grupos de edad con cuatro meses y entre seis y 13 meses, se identificaron como sub-explotados. Un patrón similar de explotación está documentado para otras especies de camarón del Pacífico mexicano (Chávez, 1979; Sierra, 1993; Reyna-Cabrera & Ramos-Cruz, 1998; INP, 2004; Cervantes-Hernández y Gracia, 2011) y del Golfo de México (Gracia, 1991; Solana-Sansores *et al.*, 1989; Gracia y Soto, 1990; Gracia *et al.*, 1997).

## Simulación segunda parte

### Análisis exploratorio de correlación

#### Temporadas de reclutamiento y reproducción

García y Le Reste (1986), señalaron que los incrementos a largo plazo en la descarga fluvial, tienen un efecto negativo sobre la producción de camarón, debido a las limitaciones osmoregulatorias que se imponen en los ambientes lagunares y estuarinos. Ruello (1973), indicó que en periodos cortos, la descarga fluvial estimula la migración de los juveniles de camarón hacia el ambiente marino. Cruz-Orozco y Ley-Lou (1980), indicaron que la precipitación pluvial, en asociación con la descarga fluvial, incrementan el aporte de minerales y materia orgánica a los sistemas lagunares y estuarinos. Browder y Moore (1981), propusieron que el flujo del agua dulce a los ambientes antes citados, favorece la producción pesquera de camarón, debido a la reducción o el aumento en: (i) salinidad, (ii) temperatura del agua, (iii) transparencia, (iv) mezclado, (v) disponibilidad de espacio y alimento. Penn y Caputi (1986), señalaron que la turbidez provocada por las descargas fluviales, incrementa la supervivencia de los reclutas de camarón en el ambiente marino, al disminuir parcialmente, la tasa de mortalidad por depredación. Gracia (1989), demostró la existencia de un efecto de correlación directo entre la descarga fluvial de los ríos Palizada, Candelaria y Boca de Cerro, con la CPUE de reclutas de *P. setiferus* en la Sonda de Campeche. Lo mismo se reportó por Cervantes-Hernández (1999) para el caso de *F. duorarum* en el Banco de Campeche.

A pesar de lo antes citado y con respecto a toda la información inscrita en las tablas V y VI, se registraron persistentemente efectos de correlación no significativos en presencia de la Df; por lo anterior, ésta última no se consideró para la realización de otros análisis. El error de correlación generado por Df, tiene relación con la escasa e interrumpida información disponible (lo que no ocurrió en el caso de la Pp) (Fig. 4). Esto último quizá se deba en parte, a que para el estado de Tamaulipas, se reporta una gran cantidad de ríos represados (e.g.: Presas: Venustiano Carranza, San Lorenzo, Falcón, Marte R. Gómez y Las Ánimas); además de 13 embalses menores, con una capacidad c/u de 7,500 de millones de mc<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> <http://www.tamaulipas.gob.mx/tamaulipas/hidrol/>

Las pesquerías de camarón altamente productivas y de importancia comercial, se encuentran distribuidas en distintas regiones costero/marinas del mundo (Gracia, 1989), en donde la producción está asociada e influida, por diferentes procesos oceanográficos, como: (i) surgencias y (ii) mezcla por mareas (Vinogradov *et al.*, 1991; Caddy y Bakun, 1994). En el Golfo de México, estos procesos condicionan cambios en la producción pesquera, que se reflejan en diferentes señales biológicas y ecológicas (e.g.: crecimiento en longitud, mortalidad, reclutamiento, reproducción) (Picaut, 1985; Churchill, 2001).

Son escasos los trabajos en los que para explicar la variación interanual de la abundancia para reclutas y reproductores, se ha integrado información oceanográfica satelital (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008a). Para el Golfo de México, son contados los estudios enfocados a describir la variación interanual de la CI **a** (Steele, 1964; Malone y Roederer, 1985; Salmerón-García *et al.*, 2010); razón por la cual, en este trabajo surgió el interés de considerar la CI **a** y la TMS.

En la RTnV y durante el periodo 1974 -1992, la CI **a** registró un efecto de correlación inverso con la TSM ( $R = -0.734$ ,  $p < 0.05$ ) (Tabla VI). Este efecto coincidió con González-Silvera *et al.* (2004), quienes a un nivel de meso - escala en los golfos de Tehuantepec y Papagayo, reportaron efectos de correlación del mismo tipo ( $R = -0.28$ ,  $p < 0.05$ ) y ( $R = -0.23$ ,  $p < 0.05$ ), respectivamente. En este trabajo, el efecto de correlación inverso entre la CI **a** y la TSM, se mantuvo invariable en los tres periodos analizados (Tablas V, XIII y XIV). Con base en lo anterior y con respecto a las generaciones principales FR y DA, se concluyó lo siguiente:

- Fue consistente que entre junio y julio, los máximos de la abundancia FR, ocurrieran bajo condiciones oceanográficas de baja CI **a** (de 0.03 a 0.3  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (Fig. 16) y TSM cálida (entre 27 y 29.5°C) (Fig. 18).

- Fue consistente que entre febrero y marzo, los máximos de la abundancia DA, ocurrieran bajo condiciones oceanográficas de alta CI **a** (de 0.5 a 1.0  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (Fig. 17) y TSM relativamente fría (entre 21.0 y 24.8°C) (Fig. 19).

En este trabajo, la CI **a** se consideró como un indicador indirecto para la disponibilidad del alimento en la RTnV. Al respecto y para los tres periodos analizados (Tablas V, XIII y XIV), se registró persistente un efecto de correlación directa entre la CI **a** y el índice de abundancia DA. En la RTnV, la variación interanual de la CI **a** ascendió y disminuyó entre agosto y abril, registrando valores máximos entre febrero y marzo; y los mínimos, se registraron de junio a julio (Figuras 13 y 21).

En lo que respecta a los mínimos de CI **a**, éstos fueron consistentes con Signoret *et al.* (1998) y Müller-Karger *et al.* (1991); quienes en el verano de 1994 en el Golfo de México, reportaron concentraciones bajas de CI **a** entre 0.07 y 0.14  $\text{gC m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Un comportamiento similar para la CI **a** se documentó en el Golfo de Tehuantepec por Lluch-Cota *et al.* (1997), quienes con imágenes CZCS de 1978 a 1986, reportaron que la variación interanual en la concentración de pigmentos (clorofila **a** más feofitinas,  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), ocurre de octubre y abril, con máximos entre diciembre y enero ( $> 0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Para este último golfo, Fernández-Álamo *et al.* (2000) documentaron una menor densidad de copépodos en marzo 1978 (42.4  $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y la mayor densidad de éstos, se

documentó en noviembre 1978, durante la temporada de nortes o Tehuanos ( $97.5 \text{ ind.}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Viñas y Ramírez (1996), señalaron que la producción primaria (fitoplancton) y la producción secundaria (zooplancton), son de suma importancia para el desarrollo de las cadenas tróficas en diferentes regiones costero/marinas del mundo. Gracia *et al.* (1997), indicaron que la disponibilidad del alimento es de vital importancia para la supervivencia de los estadios larvarios de camarón, que condicionan la continuidad y la magnitud de la abundancia en las cohortes reclutadas; adicionalmente, estos autores señalaron que los estadios larvarios de protozoa y mysis, dependen para su óptimo crecimiento y desarrollo, del consumo directo de plancton (estadios planctotróficos).

Todo lo antes citado, se encontró en estrecha relación con lo señalado por Gracia *et al.* (1997) y el INP (2007) (sección: simulación de índices de los índices de abundancia) y mediante la integración de todo esto con los resultados obtenidos en este trabajo, se dedujeron complementariamente, las siguientes conclusiones:

- En la RTnV de junio a julio, la abundancia de reclutas fue mayor a la abundancia de reproductores y durante este periodo, la Pp y la TSM registraron sus máximos. Para este periodo, se infirió que los estadios larvarios producto del desove, tuvieron una baja probabilidad de supervivencia, porque la disponibilidad del alimento disminuyó, al encontrarse la CI a su mínimo. Todo lo anterior ocurrió con un bajo nivel de fi (en las temporadas de vedas); y para este caso en específico, la Pp se evidenció como el mecanismo compensador, que mantuvo la continuidad en el desarrollo y crecimiento de las postlarvas.

- En la RTnV de febrero a marzo, la abundancia de reproductores fue mayor a la abundancia de reclutas y durante este periodo, la Pp y la TSM registraron sus mínimos. Para este periodo, se infirió que los estadios larvarios producto del desove, tuvieron una mayor probabilidad de supervivencia, porque la disponibilidad del alimento aumentó, al encontrarse la CI a su máximo. Todo lo anterior ocurrió con un alto nivel de fi (en las temporadas de pesca).

Aunque *F. aztecus* se encontró reproduciéndose todo el año, entre los máximos de la abundancia FR y DA, se registró un desfase próximo a los cuatro meses (Figuras 10 y 11). Lo anterior confirmó la existencia de un retraso entre los máximos de CI a y el índice de abundancia DA (aproximadamente de un mes). Al respecto, Viñas y Ramírez (1996) documentaron que retrasos de este tipo, permiten a las cadenas tróficas desarrollarse a plenitud, para posteriormente y de manera gradual, proveer el alimento a los siguientes niveles tróficos. Indirectamente, lo anterior tiene relación con lo documentado por Dimego *et al.* (1976) en Golfo de México; el patrón de tormentas con vientos fuertes, se incrementa gradualmente de octubre a enero/febrero, provocando la mezcla en la columna de agua y resuspendiendo los sedimentos del piso oceánico. El proceso oceanográfico anterior, es menos evidente durante el verano y que coincide con lo documentado por Signoret *et al.* (1998), Müller-Karger *et al.* (1991) y en caso del Golfo de Tehuantepec, con Fernández-Álamo *et al.* (2000).

En apego al sustento bibliográfico, la disponibilidad del alimento en la RTnV (variación interanual de CI a), se encontró estrechamente en relación con el índice de abundancia

DA; sin embargo, en lo que respecta al índice de abundancia FR, esta relación fue documentada con menor magnitud (Tablas V, XIII y XIV). Para explicar esto último, Gracia (1995) señaló que los juveniles de camarón recién reclutados al ambiente marino, presentan hábitos alimenticios preferenciales “detritívoros”, disponibles en el bentos sobre y dentro del sustrato. Por otra parte, anterior a la edad de reclutamiento (Tabla IV), Gracia (1997) documentó que juveniles parcialmente reclutados, dependen para su desarrollo y crecimiento, del alimento disponible en los sistemas lagunares costeros y estuarios.

Los resultados de correlación entre la variación interanual de la abundancia FR y DA, con respecto las series de tiempo CI **a** y TSM (Tablas V, XIII y XIV), resultaron consistentes con el trabajo de Cervantes-Hernández *et al.* (2008a). En el Golfo de Tehuantepec, los índices de abundancia para reclutas y reproductores de *F. californiensis*, se correlacionaron con la TSM de 1989 a 1998 (primer periodo); y para un segundo periodo (entre noviembre 1996 y mayo 1998), con la TSM y la CI **a**. Para el primer periodo, la TSM tuvo un efecto de correlación directo con el índice de abundancia FR; e inverso, con el índice de abundancia DA. Por otra parte y para éste último periodo, los máximos de la abundancia FR ocurrieron entre 29.3 y 29.7°C; y los máximos de la abundancia DR de 28.1 a 28.7°C. Para el segundo periodo, la CI **a** tuvo un efecto de correlación inverso con el índice de abundancia FR; y directo, con el índice de abundancia DA. Durante el último periodo, la abundancia máxima FR ocurrió a una TSM cálida (1.5°C mayor), que la registrada durante la abundancia máxima DA. La CI **a** fue menor durante el máximo de abundancia FR (0.13 mg·m<sup>-3</sup>) y mayor, durante los máximos de la abundancia DR (de 0.42 a 1.10 mg·m<sup>-3</sup>).

Al igual que otras actividades pesqueras en México, la pesca de camarón se rige por la Ley de Pesca (Diario Oficial de la Federación 25/06/92) y la Norma Oficial Mexicana NOMPESC-002-1993 (Diario Oficial de la Federación 31/12/93). Sin embargo, esta normatividad no contempla una diferenciación en el manejo de las pesquerías de camarón, que se realizan a lo largo del Golfo de México (Gracia *et al.*, 1997).

Al igual que para el Golfo de México, un caso similar está documentado en el Golfo de Tehuantepec, en donde por décadas, las vedas temporales para camarón, se han establecido con base en resultados y las prospecciones históricas de pesca, generadas para la región norte del Pacífico mexicano (Rodríguez de la Cruz, 1976; Magallón-Barajas, 1987; Morales-Bojórquez *et al.*, 2001). Lo antes mencionado, ha ocurrido en parte, por el retraso en las investigaciones pesqueras que para el camarón se tuvo en la zona marina 90 de pesca y los sistemas lagunares de este golfo. En respuesta a lo antes señalado, Cervantes-Hernández *et al.* (2008b) demostraron que las temporadas de veda y pesca generalizadas a todo el Pacífico mexicano, no han considerado una diferenciación en el manejo de las especies de camarón a nivel regional, para las que están documentadas, variaciones en los patrones de reclutamiento y de reproducción.

Actualmente, en el Golfo de Tehuantepec, las temporadas de veda se aplican de marzo a septiembre (Cervantes-Hernández *et al.*, 2008b); y aún así, la producción de camarón continua al descenso (Cervantes-Hernández *et al.*, 2006). Al igual que en este trabajo, los primeros autores utilizaron las CEC de los índices FR y DA (Cervantes-Hernández, 2008); para proponer, una modificación en la veda global unificada y separar ésta, a la región del Golfo de Tehuantepec. Específicamente para la región anterior, la propuesta



de Cervantes-Hernández *et al.* (2008b) fue la implantación de vedas temporales de julio/junio a octubre, para asegurar en el ambiente marino, la protección de los reproductores y el crecimiento de los reclutas de *F. californiensis* y *L. vannahae*. Adicionalmente, se emitieron recomendaciones para la implementación de vedas temporales en los sistemas lagunares de este golfo, pero que aún no han sido definidas en temporalidad, debido a persistentes problemas socio-económicos y culturales en esta región.

Bajo el actual régimen unificado de vedas en el Pacífico mexicano, Cervantes-Hernández *et al.* (2010) reportaron una protección histórica de los reclutas de *F. californiensis* al 100%; y con base en esta histórica estrategia de explotación, la pesquería comenzó a evidenciar signos de estar sobre-explotada a partir del año 2002. Lo anterior es importante a considerar, porque con una protección similar sobre los reclutas de *F. aztecus* en la RTnV, la pesquería entre 1974 y 1992, aún no ha mostrado evidencias de sobre-explotación, excepto en los grupos de edad con 14, 15 y 16 meses (Tabla IV). A pesar de lo anterior, se recomienda monitorear a esta pesquería con frecuencia, independientemente de lo señalado por gracia (2004); esto es, *F. aztecus* es la especie que mantiene activa a la pesca de camarón en el Golfo de México, porque se reporta en mejor condición de explotación, en comparación, con el resto de las otras pesquerías de camarón.

Como dato adicional, Cervantes-Hernández (1999) y Cervantes-Hernández y Gracia (2011), documentaron que con una protección histórica del 100% sobre los reclutas de *F. duorarum* en el Banco de Campeche, México (periodo 1972 - 1994), la pesquería actualmente está sobre-explotada. Las capturas comerciales ha tenido fluctuaciones a lo largo de su historia de explotación, mostrando su nivel más alto en la década de los 70's. Gracia (1995), reportó descensos en la captura total entre 1992 y 1994, a menos de la tercera parte que los niveles registrados históricamente.

### **Simulación tercera parte**

#### **Predicción retro y prospectiva de los índices de abundancia**

Con base en un análisis regionalizado para la CI **a** entre 1997 y 2002, Frías-Velasco (2004) describió los cambios interanuales y espaciales para ésta en los Golfos de Tehuantepec y Papagayo, durante las temporadas de nortes con ausencia y presencia de eventos "El Niño". Para el primer caso (Fig. 25a), el autor observó la presencia de las surgencias eólicas que ocurren de noviembre a febrero en el Golfo de Tehuantepec (Fernández-Álamo *et al.*, 2000) y de octubre a abril en el Golfo de Papagayo (Lluch-Cota *et al.*, 1997); particularmente, con niveles altos de CI **a** en las regiones costeras (9 - 13) y en las regiones de surgencia (14 y 15). Para el segundo caso (Fig. 25b), ambas surgencias se documentaron inhibidas y en su lugar, el autor reportó la presencia de plumas oceánicas con baja CI **a** en las regiones 1,2 y 3. El origen de estas plumas, son el resultado en el incremento de la precipitación pluvial y la descarga fluvial, generadas por los eventos "El Niño".

De entre las alteraciones que se presentan de manera inmediata asociadas al evento "El Niño", están documentados cambios en los patrones de distribución y la abundancia para diferentes especies (Magaña *et al.*, 1997). Para el caso de las pesquerías de

camarón a nivel nacional e internacional, los cambios ambientales provocados por el evento “El Niño”, se han relacionado tanto positiva como negativamente, con la producción de camarón (Gracia, 2001).

En este trabajo y con respecto a toda la información inscrita en las tablas V y VI, se registraron persistentemente efectos de correlación no significativos en presencia del IME; por lo anterior, ésta última no se consideró para la realización de otros análisis. El error de correlación generado por el IME, tiene relación en que este índice está disponible en anomalías; mientras que, el resto de la información analizada, posee una escala ordinaria. A pesar de lo ocurrido con el IME (Tablas V y VI), se observó que al transcurrir los eventos “El Niño” con anomalías mayores a uno (Wolter y Timlin, 1998), la variación interanual de la abundancia FR y DA, descendió en magnitud durante los siguientes periodos: (i) entre abril 1982 y agosto 1983, (ii) entre mayo 1986 y abril 1988 y (iii) de noviembre 1991 a noviembre 1994 (Fig. 9).

En el Golfo de Tehuantepec, al transcurrir el evento “El Niño” de Mayo 1997 a 1998 (Murtugudde *et al.*, 1999); Cervantes-Hernández *et al.* (2008a) reportaron un descenso en la magnitud de la abundancia para reclutas y reproductores de *F. californiensis*; sin embargo, la variación interanual, que fue analizada previamente con las respectivas CEC de los índices FR y DA, no evidenciaron alteraciones; persistiendo las fechas en las que históricamente, han ocurrido y documentado los máximos de la abundancia para reclutas (de octubre/noviembre a enero) y reproductores (entre julio y agosto/septiembre).

Como en el caso anterior, la eliminación del efecto de Cl a en el MCC (7), ocasionó el descenso en la magnitud de la abundancia FR y DA (Fig. 22 y 23); pero para ambos casos, la variación interanual fue conservativa e igual a la simulada con el MCC (6); persistiendo las fechas en las que históricamente, se documentaron los máximos para la abundancia de los índices FR y DA (Fig. 14 y 15). Para los fines de simulación, la eliminación de la Cl a en el MCC (7), resultó en un escenario de simulación, parecido al reportado por Cervantes-Hernández *et al.* (2008a), cuando estuvo presente evento “El Niño” de Mayo 1997 a 1998.

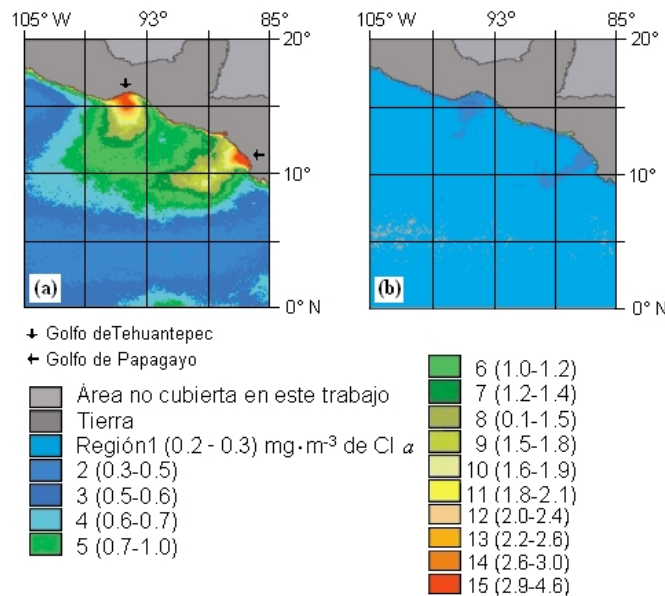
Debido a que para los periodos de junio 1982 a 1992 (primera validación) y entre 1993 y 1995 (segunda validación), no existe un registro continuo de Cl a (Fig. 4). Las simulaciones realizadas con el MCC (6), tuvieron que ser implementadas con los registros de Cl a disponibles de enero 1979 a noviembre 1986 (Fig. 4); asignando y repitiendo, para meses iguales en diferentes años, los mismos registros. Lo anterior puede considerarse como un error premeditado en el proceso de simulación, porque la Cl a no debería ser la misma como antes se explicó; a pesar de lo anterior, la primera ronda de simulaciones resultó estadísticamente pertinente.

Para justificar lo indicado en el párrafo anterior, se consideró el trabajo de Salmerón-García *et al.* (2010), quienes regionalizaron la variación interanual de la Cl a en el Golfo de México, de septiembre 1997 a agosto 2008. Los resultados reportados por estos autores y los obtenidos en este trabajo, con referencia a la CEC de la Cl a (Fig. 13), resultaron consistentes, porque para la RTnV, más allá del periodo 1974 - 1995, la variación interanual de Cl a registró persistentemente máximos de febrero a marzo; y mínimos, entre junio y julio. Luego entonces, en el Golfo de México, la variación de la Cl

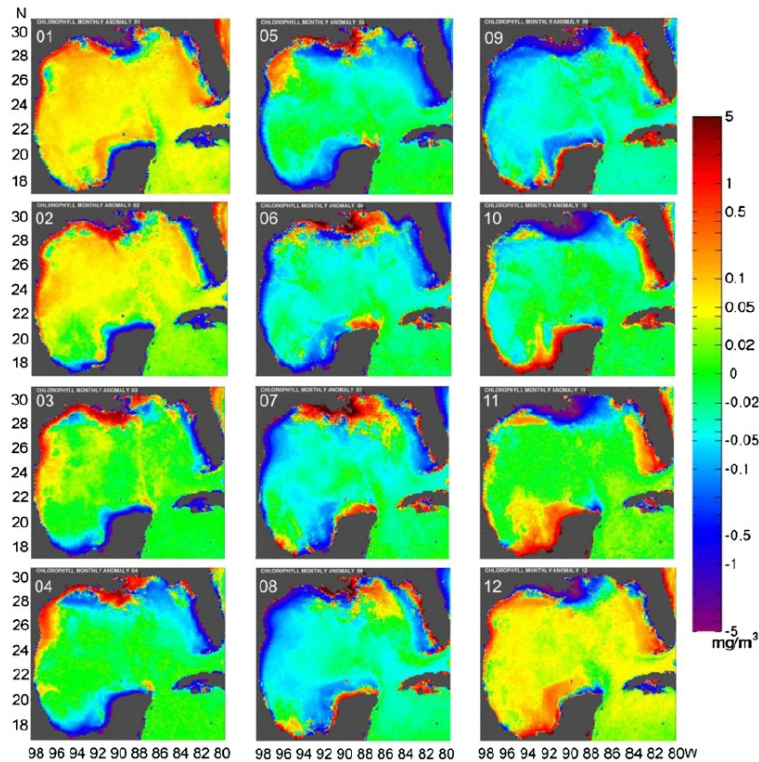
**a** tiene un comportamiento cíclico anual (Figuras 13 y 21), que en relación con los compuestos de junio a julio 1974-1992 (Fig. 16), se registró una diferencia de  $\pm 0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; y con respecto a los compuestos de febrero a julio 1974-1992 (Fig. 17), la diferencia fue de  $\pm 0.8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Con base en lo anterior, se concluyó que el MCC (6) estuvo oceanográficamente bien sustentado, cuando en éste se incluyó y no el efecto de la CI **a**.

Trabajos en los que el IME con anomalías mayores a uno (Wolter y Timlin, 1998), están documentados para la pesquería de *F. californiensis* en el Golfo de Tehuantepec por Cervantes-Hernández *et al.* (2008a). En este trabajo, se reportaron incrementos excesivos en la precipitación pluvial y la descarga fluvial (Frías-Velasco, 2004); pero que sin embargo, en la zona marina 90 de pesca, estas variaciones ambientales estructuraron un mecanismo compensador, que mantuvo la disponibilidad del alimento, durante el tiempo en el que la surgencia eólica fue inhibida,

En el Pacífico mexicano, el Golfo de Tehuantepec resulta ser un caso particular en el que la surgencia eólica, estructura la variación interanual en la abundancia de camarón, además de otras especies pelágicas de importancia comercial (Tapia-García y Gutiérrez-Días, 1998). Para otras regiones del Golfo de México, la producción pesquera depende en gran medida del enriquecimiento de nutrientes producto de la descarga fluvial y la precipitación pluvial (Churchill, 2001). A pesar de que para la RTnV, la descarga fluvial resultó en una variable con poco significado estadístico, se debe considerar para esta región, la importante influencia del Río Mississippi, Louisiana E.U.; en donde, la producción pesquera se ha documentado considerablemente importante.



**Figura 25.** Compuestos regionalizados para la CI **a** en los golfos de Tehuantepec y Papagayo. Temporada de Nortes sin “El Niño” (La Niña) (a), temporada de Nortes con “El Niño” (b). Tomado y modificado de Frías-Velasco (2004)



**Figura 26.** Concentración media mensual de la clorofila **a** en el Golfo de Tehuantepec, periodo de septiembre 1997 a agosto 2008. Tomado de Salmerón-García *et al.* (2010)

### Conclusiones

1.- Para la población de *F. aztecus* y en la fase marina de explotación en el RTnV, el intervalo confiable de la tasa M se estimó de 0.23 ( $R^2 = 0.309$ ,  $p < 0.05$ ) a 0.24 mensual ( $R = 0.229$ ,  $p < 0.05$ ), periodo 1974 - 1992.

2.- El índice FR se estructuró con la abundancia de todas las cohortes correspondientes al grupo de edad con cuatro meses (que comenzó a ser sujeto de explotación en el ambiente marino). Para estructurar al índice DA, se consideró adicionar la abundancia de todas las cohortes correspondientes a los grupos de edad entre seis y 13 meses (que estuvieron plenamente reclutados al ambiente marino).

Derivado del punto 2 y en específico, se tiene que:

2a.- Presumiblemente, las temporadas de reclutamiento se acotaron de marzo a enero, con máximos en la abundancia de reclutas entre junio y julio.

2b.- Presumiblemente, las temporadas de reproducción se acotaron de noviembre a agosto, con máximos en la abundancia de reproductores entre febrero y marzo.

2c.- Entre los máximos de la abundancia FR y DA, se observó un desfase próximo a los cuatro meses.

2d.- Si las vedas temporales hubiesen sido implantadas como lo son actualmente en la RTnV; entonces entre 1974 y 1992, éstas debieron proteger al 99% de los reclutas y a una fracción de los reproductores, al final de la temporada de reproducción.

2e.- Las temporadas de pesca, siempre han estado dirigidas a explotar el 99% de los reproductores y a una fracción de los reclutas, al final de la temporada de reclutamiento.

3.- Inicialmente, la variación interanual de la abundancia FR, registró efectos de correlación inversos con las series de tiempo fi y CI a; mientras que, los efectos fueron directos con Pp, Df, IME y TSM. Por otra parte, la variación interanual de la abundancia DA, registró efectos de correlación inversos con las series de tiempo Pp y TSM; mientras que, los efectos fueron directos con fi, Df, IME y CI a. Entre la variación interanual de la abundancia FR y DA, se registró un efecto de correlación inverso ( $R = -0.731$ ,  $p < .05$ ).

4.- Para los tres periodos analizados, las series de tiempo FR, DA, CI a, TSM, fi, Pp; se registraron persistentemente, efectos de correlación no significativos en presencia de la Df y el IME; por lo anterior, éstas últimas no se consideraron para la realización de otros análisis.

5.- De junio a julio, los máximos de la abundancia FR, coincidieron con los máximos de Pp y con el ascenso gradual de la TSM (en su fase más cálida). Los mínimos de la abundancia FR, coincidieron con los mínimos de CI a y con el descenso gradual de fi (durante las temporadas de veda).

6.- De febrero a marzo, los máximos de la abundancia DA, coincidieron con los máximos de CI a y con el ascenso gradual de fi (durante las temporadas de pesca). Los mínimos de la abundancia DA, coincidieron con los mínimos de Pp y con el descenso gradual de la TSM (en su fase más fría).

7.- Para los tres periodos analizados, el MCC corregido fue viable para predecir respectiva y prospectivamente, la abundancia virtual observada para reclutas y reproductores de *F. aztecus*. El MCC además de ser válido estadísticamente, lo fue oceanográficamente; porque en la RTnV, la variación de la CI a se documentó con un comportamiento cíclico anual.

8.- Para los fines de simulación, la eliminación de la CI a en el MCC corregido, resultó en un escenario de simulación, parecido al reportado en la bibliografía, cuando estuvo presente evento "El Niño" de Mayo 1997 a 1998.

### Literatura citada

- Aguirre-Gómez R. 2002. Métodos y técnicas para el estudio del territorio: Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Temas selectos de geografía de México, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza Valdez, 95 p.
- Álvarez, F., A. Gracia & L. Soto. 1987. Crecimiento y mortalidad de las fases del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939 en la Laguna de Términos, Campeche, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 14(2):207-220.
- Arreguín-Sánchez, F. & E. A. Chávez. 1985. Estado del conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. Investigaciones Marinas, CICIMAR 2(2):23-44.
- Arreguín-Sánchez, F., L. E. Schultz-Ruíz, A. Gracia, J. A. Sánchez, & T. Alarcón. 1997. Las pesquerías de camarón de altamar: explotación, dinámica y explotación. In: Flores-Hernández, D., P. Sánchez-Gil, J. C. Seijo, F. Arreguín-Sánchez (Eds.). Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México. EPOMEX Serie Científica, Universidad Autónoma de Campeche. México, pp. 145-172.
- Austin, A. & T. J. Petzold. 1981. The determination of the diffuse attenuation coefficient of seawater using the coastal zone color scanner. In: Gower, J. F. R. (Ed.). Oceanography from Space. Marine Science 13, pp 239-256.
- Berry, R. 1967. Dynamic of the Tortugas pink shrimp population. Ph. D. Thesis, University of Rhode Island, U. S., 160 p.
- Beverton, H. & S. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish population. Chapman & Hall, N. Y., 533 p.
- Browder, J. & D. Moore. 1981. A new approach to determining the quantitative relationship between fishery production and flow of fresh water to estuaries. In: Cross, R. & D. Williams (Eds.) Proceedings of the National Symposium on freshwater inflow to estuaries, Vol. 1. United States Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. FWS/OBS-81/04, 403-430.
- Caddy, J. F. & A. Bakun. 1994. A tentative classification of coastal marine ecosystems based on dominant processes of nutrient supply. Ocean and Coastal Management 23(3):201-211.
- Calvo-Gómez, F. 1993. Técnicas estadísticas multivariantes. Bilbao, España, 435 p.
- Castro, R. & R. Villalobos. 1976. Veda experimental de camarón en las costas de Tamaulipas en 1974. In: J. L., Castro-Aguirre (Eds.). Memorias del Simposio sobre biología y dinámica poblacional de camarones. Guaymas, Sonora, México, pp. 8-13.

- Cervantes-Hernández, P. 1999. Relaciones stock – reclutamiento del camarón *Farfantepenaeus duorarum* en el Banco de Campeche. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 37p.
- Cervantes-Hernández, P. 2008. Method to obtain indices of abundance in the population of brown shrimp from the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Revista Biología Marina y Oceanografía* 43(1):111-119.
- Cervantes-Hernández, P. & A. Gracia. 2011. Análisis de la mortalidad para el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Decapoda, Dendrobranchiata) del Banco de Campeche, México. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 6(2):100-108.
- Cervantes-Hernández, P. & M. Manzano-Sarabia. 2015. Procesamiento y análisis satelital, Windows Image Manager. Universidad Autónoma de Sinaloa, 37 p.
- Cervantes-Hernández, P., M. A. Gómez-Ponce & P. Torres-Hernández. 2012. Marine and lagoon recruitment of *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda: Penaeidae) in the “Cabeza de Toro - La Joya buenavista” lagoon system, Chiapas, Mexico. *CICIMAR Oceánides* 27(2):51-58.
- Cervantes-Hernández, P., Ramos-Cruz, S. & A. Gracia. 2006. Evaluación del estado de la pesquería de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 16(3):233-239.
- Cervantes-Hernández, P., B. Sánchez-Meraz, J. S. Serrano-Guzmán, A. Frías-Velasco, S. Ramos-Cruz & A. Gracia. 2008a. Variación interanual de la abundancia de *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica* 18(3):215-226.
- Cervantes-Hernández, P., M. I. Gallardo-Berumen, S. Ramos-Cruz, M. A. Gómez-Ponce & A. Gracia. 2008b. Análisis de las temporadas de veda en la explotación marina de camarones del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(2):285-294.
- Cervantes-Hernández, P., A. Flores-Gómez, S. J. Serrano-Guzmán, S. Ramos-Cruz, S. & M. I. Gallardo-Berumen. 2010. Historical exploitation and evaluation of brown shrimp fishery *Farfantepenaeus californiensis* (Decapoda, Dendrobranchiata) in the Gulf of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(4):486-494.
- Chávez, E. A. 1974. Estudio preliminar, la época de entrada de postlarvas de camarón a las Lagunas Oriental y Occidental en el Sistema Lagunar Huave, Oaxaca. Informe Definitivo, 269 p. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Chávez, E. A. 1979. Diagnóstico de la pesquería del camarón del Golfo de Tehuantepec, Pacífico Sur de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 6(2):15-44.

- Chávez, E. A. & F. Arreguín-Sánchez. 1982. Evaluación y diagnóstico de la pesquería de camarón del Golfo de Tehuantepec. Informe Definitivo, 60 p. Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Mérida, México, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Childers, D. J. Day & R. Muller. 2002. Relating climatological forcing to coastal water levels in Louisiana estuaries and the potential importance of el Niño-Southern Oscillation events. *Aquatic Sciences* 12:7-45.
- Churchill, B. G. 2001. Fishery production and Mississippi river discharge. *Marine Fisheries* 26 (8):17-26.
- Cruz-Orozco, R. & F. Ley-Lou. 1980. Estudio del sistema fluvio-lagunar-deltáico de la Región de Campeche, Tabasco, en particular de la Laguna de Términos y áreas adyacentes, para su mejor uso y aprovechamiento. Informe definitivo, 61 p. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Csirke, J. & F. Caddy. 1983. Production modelling using mortality estimates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40: 43-51.
- Dimego, G. L. Bosart & G. Endersen. 1976. An examination of the frequency and mean conditions surrounding frontal incursions into the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Monthly Weather Review* 104: 709: 718.
- Dallas, E. J. 2002. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson, London, 566 p.
- Fernández-Álamo, M. A., L. Sanvicente-Añorve & G. Alameda-De-La-Mora. 2000. Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Crustaceana* 73 (9):1139-1153.
- Frías-Velasco, A. 2004. Regionalización de los Golfos de Tehuantepec, Papagayo, Panamá y áreas adyacentes mediante la biomasa fitoplanctónica estimada a partir de imágenes de satélite. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 66 p.
- Gallardo-Berumen, M. I. 2005. Análisis del sistema de vedas sobre la explotación del recurso camarón en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de Licenciatura, Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 48 pp.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (adaptaciones a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de geología, UNAM, 246 pp.
- García, S, & L. Le Reste. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. Informe definitivo, pp. 203-376. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.



- González-Silvera, A., E. Santamaría-del-Ángel, R. Millán-Nuñez & H. Manzano-Monrroy. 2004. Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific). *Deep Sea Research Part II* 51:587-600.
- Gordon, H. R. & M. H. Wang 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied Optics* 33:443-452.
- Gracia, A. 1989. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of Mexico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 14:171-182.
- Gracia, A. 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 120: 519-527.
- Gracia, A. 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*. *Ciencias Marinas* 21(3):343-359.
- Gracia, A. 1997. Simulated and actual effects of the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, Cosure in Mexico. *Marine Fisheries Reviews* 59(2):18-24.
- Gracia, A. 2001. Efecto del El Niño sobre la producción de camarón. In: Escobar, E., M. Bonilla, A. Badán, M. Caballero & A Winckell (Eds.). *Los efectos del fenómeno del Niño en México*. CONACYT, México, pp. 112-119.
- Gracia, A. 2004. Aprovechamiento y conservación del recurso camarón. In: M. Caso, M., I. Pisanty, E. Ezcurra (Eds.). *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, A.C., Harte Research Institute for the Gulf of México Studies, Vol. 2:713-725.
- Gracia, A. & L. Soto. 1990. Populations study of the penaeid shrimp of Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 17 (2):241-255.
- Gracia, A. & A. R. Vázquez-Bader. 1999. Shrimp fisheries in the fourth gulf of Mexico. present and future management alternatives. In: Kumpf, H., D. Steidinger & K. Sherman (Eds.). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management*. Blackwell Science, Berlín, pp. 205-234.
- Gracia, A., A. R. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L. E. Schultz-Ruiz & J. A. Sánchez. 1997. Ecología de camarones peneidos. In: Flores, D., P. Sánchez-Gil, J. C. Seijo & F. Arreguín -Sánchez (Eds.). *Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*. Epomex, Serie Científica, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 127-144
- Hair, F., J. Anderson, L. Tatham & C. Black. 1999. *Multivariate data analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 542 p.

- Hannah, R. W. 1999. A new method for indexing spawning stock and recruitment in ocean shrimp, *Pandalus jordani*, and preliminary evidence for a stock- recruitment relationship. *Fishery Bulletin* 97:482-494.
- Herron, R., T. Leming & J. Li. 1989. Satellite detected fronts and butterflyfish aggregations in the northeastern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* 6(9):569-588.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1995. Anuario estadístico del estado de Tamaulipas. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, México, 414 p.
- Instituto Nacional de la Pesca (INP). 2004. Inicio de las temporadas de veda 2004 para la pesquería de camarón del Océano Pacífico Mexicano. Informe Definitivo, pp. 32-33. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Instituto Nacional de la Pesca (INP). 2007. Estimación de la fecha óptima para la apertura de la temporada de pesca 2007- 2008 en la pesquería de camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*) en las costas de Tamaulipas y Veracruz. Informe Definitivo, pp. 2-3. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Instituto Nacional de la Pesca (INP). 2011. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. Informe Definitivo, 42 p. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Joint, I. & S. B. Gromm. 2000. Estimation of phytoplankton production from space: current status and future potential of satellite remote sensing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250:233-255.
- Kahru, M. 2008. Estimating primary productivity with WIM/WAM. Recuperado en agosto 10, 2013, disponible en <http://wimsoft.com/course.htm>
- Kendall, M. G. 1984. *Time series*. Oxford University Press, New York, 445 p.
- Klima, E. 1989. Approaches to research and management of U.S. fisheries for penaeid shrimp in the Gulf of Mexico. In: Caddy, F. (Eds.). *Marine invertebrate fisheries: their assessment and management*. John Wiley & Sons. New York, pp. 281-306.
- Leming, T, & W. Stuntz. 1984. Zones of coastal hypoxia revealed by satellite scanning have implications for strategic fishing. *Nature* 310:136-138.
- Lluch-Cota, S. E., S. Álvarez-Borrego, E. M. Santamaría-del Ángel, F. E. Müller-Karger & S. Hernández-Vázquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas* 23 (3):329-340.
- Lo, N. C. H. 1978. California ocean shrimp mesh experiment. *California Department of Fish and Game Fisheries* 64(4):280-301.

- Macías-Regalado, E. 2001. El dominio del ciclo biológico de los camarones peneidos y la camaronicultura. In: Páez-Osuna, F. (Eds.). Camaronicultura y medio ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 450 p.
- Magaña, V. O., J. L. Pérez, C. Conde & S. Medina. 1997. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México INE/SEMARNAP, Centro de Ciencias de la Atmósferas, UNAM, 21 p.
- Malone, T. F. & J. G. Roederer. 1985. Global change. Cambridge University Press, N. Y., 300 p.
- Magallón-Barajas, F. 1987. The Pacific shrimp fishery of Mexico. CalCOFI Rep. 28:43-52.
- Margalef, R. 1978. Radiación y energía, en ecología. Omega, Barcelona, pp. 103-158.
- Morales-Bojórquez, E., J. López-Martínez & S. Hernández-Vásquez. 2001. Modelo dinámico de captura y esfuerzo para el camarón café *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 del Golfo de California, México. Ciencias Marinas 27(1):105-124.
- Morrison, D. 1967. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill, N. Y., 555 p.
- Müller-Karger, F., J. Walsh, R. Evans & M. Meyers. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. Journal of Geophysical Research 96(C7):12645-12665.
- Murtugudde, R. G., S. R. Signorini, J. R. Christian, A. J. Busalacchi, Ch. R. McClain & J. Picaut. 1999. Ocean color variability of the tropical Indo Pacific basin observed by SeaWiFS during 1997-1998. Journal of Geophysical Research 104 (18):351-366.
- Ortiz-Sánchez, E., W. Ebeling & K. Lanius, 2002. MEI, SOI and mid range correlations in the onset of El Niño-Southern Oscillation. Physica A. 310:509-520.
- Paloheimo, J. 1961. Studies on estimation of mortalities. I. Comparison of a method described by Beverton and Holt and a new linear formula. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 18:645-662.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. CIEM 39(2):175-192.
- Penn, J. W. & N. Caputi. 1986. Spawning stock-recruitment relationships and environmental influences on the tiger prawn *Penaeus esculentus* fishery in Exmouth Gulf, Western Australia. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 37: 491-505.
- Pereiro, J. 1982. Dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. Informe definitivo, 252 p. España.

- Pérez-Castañeda, R., M de la L. Vázquez-Sauceda, J. G. Sánchez-Martínez & J. A. González-Saldaña. 2015. Estructura poblacional de camarones peneidos explotados en dos zonas pesqueras de la Laguna Madre, Tamaulipas. *Ciencia y Mar* XVI(489):25-30.
- Picaut, J. 1985. Major dynamics affecting the Eastern Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *CalCOFI Rep.* 25: 41-50.
- Pielou, E. 1984. The interpretation of ecological data. John Wiley & Sons, N. Y., 263 p.
- Pope, J. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Research Bulletin* 9:65-74.
- Ramos-Cruz, S., Sánchez-Meraz, B., Carrasco-Ayuso, F. & P. Cervantes-Hernández. 2006. Estimación de la tasa de mortalidad natural de *Farfantepenaeus californiensis* Holmes, 1900 y *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931, en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41(2):221-229.
- Reyna-Cabrera, I. E. & S. Ramos-Cruz. 1998. La pesquería de camarón de alta mar. In: Tapia-García, M. (Ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, pp.163-178.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bulletin of the Fisheries research Board of Canada* 191, 382 p.
- Rodríguez de la Cruz, M. C. 1976. Fundamentos y consideraciones para definir la temporada de veda en alta mar, para el camarón del Pacífico mexicano durante 1978. Informe Definitivo, 17 p. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Ruello, N. 1973. The influence of rainfall on the distributions and abundance of the school prawn *Metapenaeus macleayi* in the Hunter river region (Australia). *Marine Biology* 23:221-228.
- Salmerón-García, O., J. Zavala-Hidalgo, A. Mateos-Jasso & R. Romero-Centeno. 2010. Regionalization of the Gulf of Mexico from space-time chlorophyll-*a* concentration variability. *Ocean Dynamics* 61:439-448.
- Sandoval-Quintero, M. E & A. Gracia. 1998. Stages of gonadal development in the spotted pink shrimp *Penaeus brasiliensis*. *Journal of Crustacean Biology* 18(4):610-685.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bulleting Inter-American Tropical Tuna Commission* 1(2):27-56.
- Sharon, L. 1999. Muestreo, diseño y análisis. Thompson, México, 480 p.

- Sierra, R. P. 1993. Abundancia estacional de postlarvas de *P. vannamei* en la bocanarra de Tonalá, Chiapas, México. Informe Definitivo, 3 p. Centro Regional de Investigación Pesquera de Salina Cruz, Oaxaca. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Signoret, M. C. Bulit & R. Pérez. 1998. Patrones de distribución de la clorofila *a* y producción primaria en aguas del Golfo de México y del Mar Caribe. *Hidrobiológica* 8(2):81-88.
- Silliman, R. 1943. Studies on the pacific pilchard or sardine (*Sardinopus caerulea*), a method of computing mortalities and replacements. Reporte especial, 24:10. U.S. Fish and Wildlife Service.
- Solana-Sansores, R. & F. Arreguín-Sánchez. 1993. Cambios estacionales de la abundancia del camarón café (*Penaeus aztecus*) de la zona noroccidental del Golfo de México y su relación con parámetros ambientales. *Ciencias Marinas* 19(2):155-168.
- Solana-Sansores, R., F. Arreguín-Sánchez, R. Castro & M. Medellín. 1989. Exploración de técnicas multivariadas para uso en el estudio de la dinámica poblacional de especies sujetas a explotación pesquera: el caso del camarón café (*Penaeus aztecus* Ives 1891) del noroeste del Golfo de México. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 28(2):245-252.
- Sparre, P. & S. C. Venema. 1995. Introduction to tropical fish stock assessment. Documento Técnico de Pesca, pp 306-376. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Steele, J. H. 1964. A study of production in the Gulf of Mexico. *Journal of Marine Research* 22(3):211-222.
- Sturm, B. 1983. Selected topics of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) data evaluation. In: Cracknell, A. P. (Ed.). Remote sensing applications in marine science and technology, NATO ASI Series, Volume 106, pp. 137-167.
- Tapia-García, M. & B. Gutiérrez-Días. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas. In: Tapia-García, M. (Eds.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, pp. 149-162.
- Taylor, C. 1958. Cod growth and temperature. *Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* 23:366-70.
- Uriel, E. 1995. Análisis de datos, series temporales y análisis multivariante. Universidad de Valencia, Madrid, 433 p.
- Vetter, E. F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fishery Bulletin* 86(1):25-43.

- Viñas, M. D. & F. C. Ramírez. 1996. Gut analysis of the first-feeding anchovy larvae from the Patagonian spawning areas in relation to food availability. *Archive of Fishery and Marine Research* 43: 231-256.
- Vinogradov, M. E., E. A. Shushkina, A. E. Gorbunov & N. L. Shashkov. 1991. Vertical distribution of macro and mesoplankton in the area of the Costa Rica dome. *Oceanology* 43: 231-256.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10:181-213.
- Wolter, K. & M. S. Timlin. 1998: Measuring the strength of ENSO, how does 1997/98 rank?. *Weather* 53:315-324.
- Ye, Y. 2000. Is recruitment related to spawning stock in penaeid shrimp fisheries?. *Journal of Marine Science* 57:1103-1109.
- Zimmerman, R. & J. Minello. 1984. Densities of *Penaeus aztecus*, *Penaeus setiferus*, and other natant macrofauna in Texas SALT marsh. *Estuaries* 7(4a):421-433.

## Anexo I

Durante el transcurso evolutivo en la tecnología de los sensores remotos, se han desarrollado “Algoritmos de Escala”, para cuantificar en cada uno de los pixeles que constituyen una imagen, el valor verdadero para un particular tipo de información satelital, generalmente con un nivel de procesamiento  $L_3$  (lineal o logarítmica, de 0 a 255 valores digitales) (Aguirre-Gómez, 2002). Entre otras aplicaciones, con los “Algoritmos de Escala”, se establece el rango válido de operación, para la creación de imágenes compuestas de promedio, de máximos y de mínimos (Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia, 2015). En la tabla i, están inscritos los algunos de los “Algoritmos de Escala” más utilizados en oceanografía satelital, así como el correspondiente rango válido de operación. Particularmente, en la información satelital con cobertura global, nivel de procesamiento  $L_3$  a nueve o cuatro km, el rango válido de operación de los “Algoritmos de Escala” es confiable dentro del corte geográfico entre  $70^\circ$  N y  $55^\circ$  S.

**Tabla i**

Algoritmos de escala (a.e.), rangos válidos de operación (r.v.), valor digital (v.d.), precisión (pr.). Tomado y modificado de Cervantes-Hernández y Manzano-Sarabia (2015)

Variable oceanográfica	a.e.	r.v.	pr.
Cl a/SeaWiFS	$1.82390874 + \log(v.d.) + 0.30103$	de 0.01 a $64.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.01
Cl a/SeaWiFS	$10^{((0.015 \cdot v.d.) - 2.0)}$	de 0.01 a $64.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.01
TSM/Pathfinder/C	$(0.15 \cdot v.d.) - 3.0$	de 0 a $35.25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.01
TSM/MCTSM/C	$(0.15 \cdot v.d.) - 2.1$	de 0 a $35.25 \text{ }^\circ\text{C}$	0.01
RFA/SeaWiFS	$(1.0 \cdot v.d.) - 0.0$	de 0 a $254 \text{ Einstein } \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	1.00
PPN logarítmica	$10^{((0.015 \cdot v.d.) - 0.0)}$	de $1.035142$ a $6456.542 \text{ mg C } \text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	0.01
Batimetría 2 min	$10^{((0.025 \cdot v.d.) - 2.0)}$	de 0 a $11885 \text{ m}$	0.01

Los algoritmos anteriores, han sido utilizados ampliamente en aguas oceánicas en donde el principal elemento que domina las propiedades ópticas del agua es el fitoplancton (aguas caso I). En el caso en donde las propiedades ópticas oceánicas son dominadas por sedimentos y sustancias amarillas (aguas caso II), los algoritmos anteriores son inválidos (Aguirre-Gómez, 2002).

En las imágenes CZCS, el algoritmo de escala estándar, con el que se cuantifica la concentración de Cl a más feofitinas o PIG ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), es:

$$\text{CZCS}_{\text{PIG}} = 1.34 \cdot \text{Cl}_a^{0.98}$$

Para convertir la  $\text{CZCS}_{\text{PIG}}$  a concentración de Cl a; además de los algoritmos de escala estándar SeaWiFS inscritos en la tabla i, se ha utilizado el siguiente:

$$\text{Cl}_a = -0.04 + 10^{0.341 - 3.001 + 2.811X^2 - 2.041X^3}$$

Donde Cl a es la concentración de clorofila a y X expresa el cociente entre las siguientes bandas CZCS

$$X = \text{Log}_{10} \left( \frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right)$$

Donde  $R_{rs}(\lambda)$  es la reflectancia en la banda  $\lambda$ .

Para las imágenes AVHRR, los algoritmos de escala estándar más utilizados para cuantificar la TSM, son los del tipo Pathfinder y MCTSM (Tabla i).

El CZCS contenido en el NIMBUS-7, contó con cuatro bandas en la región del visible, uno en la región del infrarrojo cercano y otra en la región del infrarrojo térmico. Las características instrumentales del sensor óptico CZCS se especifican en la tabla ii.

**Tabla ii**  
Características ópticas del sensor CZCS. Tomado de Aguirre-Gómez (2002)

Banda	Longitud de onda	
1	443 nm.	Absorción de clorofilas
2	520 nm.	Concentración de clorofilas
3	550 nm.	"Gelbstoff", sedimentos
4	670 nm.	Absorción de clorofilas
5	750 nm.	Dirección nubes y suelo
6	11.5 $\mu\text{m}$ .	Temperatura superficial

Con respecto a las imágenes de TSM, el radiómetro de barrido AVHRR cuenta con cinco canales y ha generado información en los rangos visibles, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico. Las características instrumentales de este sensor se especifican en la tabla iii.

**Tabla iii**  
Características del sensor AVHRR. Tomado de Aguirre-Gómez (2002)

Banda	Longitudes de onda	
1	0.58 - 0.68 $\mu\text{m}$	Cobertura nubosa diurna y detección de sedimentos
2	0.73 - 1.10 $\mu\text{m}$	Vegetación, cobertura nubosa diurna
3	3.55 - 3.93 $\mu\text{m}$	Cobertura nubosa nocturna, TSM, Incendios
4	10.30 - 11.30 $\mu\text{m}$	Cobertura de nubes, TSM
5	11.5 - 12.5 $\mu\text{m}$	TSM, Corrección de vapor de agua



## Anexo II

### Análisis de la Población Virtual

El APV, tiene su fundamento en la ecuación general de captura y en las relaciones virtuales de abundancia ( $N_{t-1}$ ) y mortalidad por pesca ( $F_{t-1}$ ) descritas por Pope (1972), esto es:

$$\frac{dC}{dt} = F * N_0 * \text{Exp}^{-(Z)t}$$

Donde Z y F, son los coeficientes de las tasas de mortalidad total y pesca respectivamente.

Integrando para un intervalo de tiempo (t), cuyos límites son [0, t] correspondientes a los momentos en los cuales la captura es C = 0 y C = C<sub>t</sub> para N<sub>0</sub> y N<sub>t</sub>, tenemos que

$$\int_{C=0}^{C_t} C_t = \int_{t=0}^t F * N_0 * \text{exp}^{-Zt} dt$$

Por tanto

$$C_t = F * N_0 * \int_{t=0}^t \text{exp}^{-Zt} dt$$

La integración final evaluada en el intervalo de tiempo (t) [0, t], es la ecuación general de captura, cuya expresión simplificada es

$$C_t = \frac{F_t}{F_t + M_t} * N_t * (1 - \text{Exp}^{-(F_t + M_t)})$$

Donde C<sub>t</sub>, es el número de organismos capturados durante un período de tiempo (t). N<sub>t</sub>, es el número de organismos existentes en la población al tiempo (t). M<sub>t</sub> y F<sub>t</sub>, son los coeficientes de mortalidad natural y por pesca terminal, respectivamente.

La relación que describe la abundancia de una cohorte al inicio del intervalo (t), se obtiene al despejar N<sub>t</sub> de la ecuación general de captura, por tanto:

$$N_t = \frac{F_t + M_t}{F_t * (1 - \text{Exp}^{-(F_t + M_t)})} * C_t$$

F<sub>t</sub> está dada por

$$F_t = \ln \frac{C_t}{C_{t-1}} - M_t$$

La abundancia que inicia en el intervalo  $N_{t-1}$  y los anteriores a éste, se calculan usando

$$N_{t-1} = N_t * \text{Exp}^{(M_{t-1})} + C_{t-1} * \text{Exp}^{\left(\frac{M_{t-1}}{2}\right)}$$

Donde  $M_{t-1}$  es la mortalidad natural en el intervalo  $N_{t-1}$ , similar a  $M_t$ .

Finalmente, la tasa de mortalidad por pesca para el intervalo  $N_{t-1}$  y los anteriores a éste, se calculan usando

$$F_{t-1} = \ln\left(\frac{N_{t-1}}{N_t}\right) - M_{t-1}$$

## Anexo III

Matriz de captura marina de *F. aztecus* con separación de grupos de edad ( $10^6$  número de ejemplares), periodo 1974 - 1992. Edad estimada (Et, en meses)

AÑO	Et	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1974	enero	13.68	13.17	9.77	6.25	3.21	1.36	0.67	0.21	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	13.47	10.65	8.36	5.04	2.45	1.14	0.51	0.20	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	marzo	18.92	10.59	7.31	5.06	2.55	1.16	0.56	0.19	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	abril	30.09	14.95	7.28	3.86	2.02	1.02	0.52	0.21	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	42.17	23.78	10.90	4.68	2.00	0.97	0.51	0.22	0.10	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00
	junio	46.25	33.24	16.90	7.00	2.63	1.01	0.49	0.22	0.10	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00
	julio	35.08	36.54	24.91	12.01	4.53	1.61	0.61	0.26	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00
	agosto	23.21	27.05	23.53	14.78	6.48	2.45	0.98	0.34	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00	0.01
	septiembre	19.38	17.84	15.30	11.12	6.28	2.94	1.22	0.36	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	octubre	17.72	15.23	11.84	8.51	5.30	2.69	1.29	0.36	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	noviembre	16.40	13.90	9.70	5.87	3.21	1.66	0.85	0.23	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	diciembre	14.42	12.83	8.58	4.56	2.00	0.89	0.45	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
1975	enero	11.85	11.27	8.11	4.28	1.71	0.66	0.29	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	febrero	12.89	9.25	7.10	4.23	1.80	0.73	0.32	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	marzo	19.86	10.14	6.11	3.91	1.92	0.81	0.37	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	abril	31.46	15.73	7.36	3.61	1.81	0.83	0.38	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	mayo	43.88	24.88	11.33	4.58	1.83	0.86	0.42	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	junio	45.27	34.46	16.80	6.46	2.14	0.82	0.42	0.17	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	julio	32.78	34.73	20.36	8.43	2.80	0.97	0.41	0.18	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	agosto	28.32	24.12	16.33	9.19	4.07	1.48	0.58	0.21	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	septiembre	30.98	21.73	12.83	7.21	3.89	1.89	0.78	0.25	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	octubre	28.33	24.45	15.43	8.04	3.93	1.84	0.91	0.27	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	noviembre	25.78	21.86	13.79	7.14	2.99	1.16	0.55	0.16	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	diciembre	24.32	20.01	12.35	5.85	2.34	0.90	0.37	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
1976	enero	20.42	18.92	12.72	6.99	2.83	1.09	0.47	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	febrero	18.23	15.81	11.97	7.00	3.34	1.28	0.53	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	marzo	20.33	14.22	10.37	6.94	3.51	1.71	0.68	0.23	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	28.52	15.92	9.20	5.37	2.81	1.41	0.83	0.24	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	37.44	22.54	11.50	5.59	2.48	1.22	0.66	0.38	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	40.94	29.50	15.99	7.08	2.72	1.01	0.48	0.21	0.20	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	julio	36.79	31.99	19.54	9.49	3.74	1.36	0.50	0.19	0.08	0.12	0.01	0.01	0.00	0.00
	agosto	29.90	28.20	18.65	10.22	4.56	1.90	0.80	0.26	0.10	0.04	0.08	0.01	0.00	0.00
	septiembre	27.76	22.63	15.83	9.65	4.90	2.04	0.88	0.28	0.12	0.05	0.02	0.06	0.00	0.00
	octubre	28.36	21.60	14.50	9.13	5.15	2.47	0.99	0.32	0.12	0.05	0.02	0.01	0.04	0.00
	noviembre	24.67	22.34	15.33	9.55	5.38	2.60	1.28	0.40	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.03
	diciembre	19.84	19.09	13.31	7.45	3.68	1.69	0.87	0.31	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
1977	enero	17.83	15.14	10.50	5.88	2.73	1.29	0.63	0.25	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	16.71	13.84	9.73	5.90	2.94	1.38	0.67	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	marzo	20.32	13.05	9.13	5.56	2.93	1.45	0.72	0.29	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	36.10	15.91	8.40	4.98	2.49	1.29	0.71	0.30	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00

	mayo	58.20	28.49	10.87	4.44	1.97	0.93	0.53	0.22	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	62.86	45.41	18.93	6.14	1.95	0.78	0.40	0.19	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	julio	61.56	47.40	26.98	10.82	3.47	1.07	0.45	0.21	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	agosto	53.05	47.01	27.10	14.40	5.49	1.79	0.61	0.21	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	septiembre	38.56	41.25	30.51	15.74	8.05	2.82	0.99	0.28	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	octubre	29.57	29.68	25.28	17.94	6.69	2.54	1.11	0.31	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	noviembre	25.99	22.28	13.73	7.26	3.72	1.70	0.78	0.22	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
	diciembre	22.47	20.03	12.72	6.53	3.07	1.40	0.63	0.19	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
1978	enero	20.38	17.17	11.28	6.12	2.71	1.13	0.56	0.18	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
	febrero	19.95	15.76	10.01	5.15	2.23	0.90	0.38	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	marzo	21.63	15.67	10.82	6.05	2.73	1.18	0.50	0.18	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	abril	28.13	17.00	10.80	6.56	3.22	1.49	0.68	0.25	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	36.50	22.22	12.10	6.46	3.20	1.54	0.79	0.31	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	41.79	28.52	14.68	6.78	2.89	1.38	0.76	0.34	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	julio	34.35	32.42	18.90	8.90	3.57	1.46	0.75	0.36	0.18	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	agosto	29.66	25.71	18.95	10.88	4.86	1.94	0.86	0.38	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	septiembre	29.58	23.01	16.14	10.91	5.70	2.55	1.16	0.47	0.22	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00
	octubre	26.25	23.13	15.32	9.72	6.12	2.97	1.37	0.51	0.24	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00
	noviembre	23.15	20.57	15.61	9.07	4.57	2.29	1.27	0.45	0.20	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00
	diciembre	24.30	17.89	11.53	6.89	3.11	1.37	0.72	0.28	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
1979	enero	24.76	18.94	11.08	5.73	2.82	1.18	0.56	0.23	0.11	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00
	febrero	25.36	19.57	14.04	7.73	3.75	1.86	0.79	0.36	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	marzo	29.85	20.04	14.53	9.89	5.10	2.49	1.30	0.52	0.25	0.11	0.05	0.02	0.00	0.00
	abril	40.94	23.46	13.46	7.87	4.10	2.01	1.07	0.43	0.21	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	mayo	47.76	32.40	17.34	8.67	3.92	1.77	0.91	0.39	0.18	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	junio	42.54	37.57	22.96	10.80	4.45	1.83	0.89	0.40	0.20	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	julio	31.70	32.84	23.01	12.58	5.44	2.23	0.99	0.41	0.19	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00
	agosto	34.12	24.05	17.17	10.10	4.97	2.21	1.13	0.44	0.20	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	septiembre	44.94	26.69	14.71	8.48	4.06	1.91	0.90	0.36	0.18	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00
	octubre	30.31	35.54	19.66	9.71	4.88	2.04	0.94	0.32	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	noviembre	20.07	23.36	22.36	10.38	3.88	1.59	0.74	0.25	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	diciembre	16.46	15.36	13.64	13.27	5.20	1.36	0.59	0.21	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
1980	enero	14.61	12.80	9.12	5.05	2.49	1.17	0.57	0.23	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	16.45	11.43	8.21	4.98	2.43	1.21	0.61	0.25	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	marzo	24.72	12.94	7.55	4.58	2.39	1.15	0.62	0.26	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	39.29	19.55	9.15	4.41	2.21	1.11	0.55	0.25	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	54.32	31.16	14.96	6.46	2.64	1.23	0.65	0.28	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	60.56	42.91	23.03	10.32	4.03	1.46	0.67	0.30	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	julio	58.17	47.24	29.14	15.06	6.61	2.54	0.95	0.40	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	agosto	47.00	44.95	31.21	18.26	9.13	4.14	1.70	0.58	0.25	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00
	septiembre	32.55	36.36	28.69	17.10	9.00	4.45	2.18	0.72	0.29	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00
	octubre	25.33	24.97	19.48	12.26	6.19	2.87	1.53	0.52	0.25	0.10	0.04	0.02	0.00	0.00
	noviembre	20.93	19.70	14.76	8.76	4.23	1.92	0.90	0.33	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	diciembre	17.12	16.33	12.77	8.34	4.06	1.74	0.86	0.30	0.13	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00

1981	enero	14.22	13.38	10.19	6.18	3.20	1.44	0.68	0.27	0.12	0.05	0.02	0.00	0.00
	febrero	14.09	11.14	9.34	6.30	3.36	1.79	0.85	0.36	0.16	0.07	0.03	0.01	0.01
	marzo	21.71	11.09	7.88	5.81	3.35	1.78	1.03	0.42	0.21	0.09	0.04	0.02	0.00
	abril	44.56	17.11	7.76	4.26	2.29	1.23	0.68	0.31	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00
	mayo	79.12	35.36	13.24	5.41	2.34	1.13	0.61	0.27	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00
	junio	98.81	62.62	26.58	8.82	2.77	1.03	0.51	0.22	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00
	julio	74.47	76.52	41.49	15.62	4.17	1.19	0.47	0.18	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00
	agosto	42.45	53.87	39.56	20.26	6.97	1.87	0.61	0.20	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00
	septiembre	29.58	29.76	24.68	17.67	7.74	2.64	0.86	0.24	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00
	octubre	18.97	22.65	19.22	14.83	8.97	3.38	1.29	0.32	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00
	noviembre	15.41	14.31	13.39	10.14	5.61	2.64	1.13	0.28	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00
	diciembre	17.49	11.85	8.71	6.79	3.89	1.77	0.93	0.23	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00
1982	enero	23.12	13.50	7.47	3.81	1.82	0.79	0.35	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	27.33	18.35	10.41	5.43	2.53	1.14	0.49	0.20	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	marzo	32.12	21.37	13.88	7.80	3.79	1.70	0.78	0.31	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00
	abril	39.01	25.43	15.79	9.25	4.61	2.19	1.03	0.42	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00
	mayo	39.97	30.92	19.10	10.70	5.34	2.53	1.29	0.54	0.25	0.10	0.04	0.01	0.01
	junio	30.68	31.46	21.65	11.62	5.15	2.33	1.26	0.57	0.28	0.12	0.05	0.02	0.00
	julio	21.59	23.52	18.27	11.30	5.34	2.34	1.18	0.54	0.27	0.11	0.05	0.02	0.00
	agosto	18.65	16.56	13.57	9.48	5.33	2.57	1.30	0.59	0.29	0.13	0.05	0.02	0.01
	septiembre	19.20	14.56	10.48	7.39	4.43	2.46	1.37	0.61	0.30	0.13	0.06	0.02	0.01
	octubre	18.76	15.14	10.05	6.09	3.55	1.94	1.15	0.53	0.28	0.12	0.05	0.02	0.01
	noviembre	16.49	14.82	10.93	6.33	3.19	1.68	0.89	0.41	0.21	0.09	0.04	0.01	0.00
	diciembre	14.05	12.99	10.22	6.46	3.18	1.51	0.86	0.37	0.19	0.09	0.04	0.01	0.00
1983	enero	13.35	10.97	7.87	4.72	2.43	1.21	0.63	0.28	0.13	0.05	0.03	0.01	0.00
	febrero	14.89	10.50	7.61	4.82	2.58	1.36	0.71	0.32	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00
	marzo	22.21	11.75	7.49	4.87	2.83	1.56	0.88	0.42	0.20	0.09	0.04	0.01	0.01
	abril	39.83	17.51	8.32	4.61	2.62	1.55	0.90	0.46	0.24	0.11	0.05	0.02	0.01
	mayo	60.81	31.55	13.06	5.57	2.59	1.35	0.85	0.40	0.22	0.10	0.04	0.02	0.00
	junio	64.59	47.90	22.60	8.42	2.94	1.10	0.56	0.27	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00
	julio	49.87	50.63	33.07	13.84	4.32	1.32	0.54	0.23	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00
	agosto	24.69	38.08	29.64	17.78	6.78	2.14	0.73	0.26	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00
	septiembre	13.95	17.65	14.36	9.69	5.56	2.22	1.04	0.33	0.13	0.05	0.03	0.01	0.00
	octubre	11.26	10.46	7.45	4.94	2.77	1.16	0.53	0.17	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00
	noviembre	9.96	8.76	6.45	3.94	2.26	1.17	0.51	0.19	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00
	diciembre	9.79	7.81	5.64	3.63	1.95	1.00	0.56	0.19	0.09	0.03	0.02	0.01	0.00
1984	enero	10.07	7.65	4.65	2.40	1.32	0.66	0.32	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00
	febrero	11.58	7.96	5.62	3.18	1.57	0.92	0.47	0.22	0.10	0.04	0.02	0.01	0.01
	marzo	27.73	9.10	5.21	3.16	1.61	0.84	0.54	0.26	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00
	abril	68.11	21.95	6.37	2.92	1.37	0.74	0.43	0.25	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00
	mayo	99.50	54.03	16.66	4.12	1.52	0.69	0.43	0.23	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00
	junio	82.49	78.82	41.42	11.86	2.21	0.63	0.30	0.14	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00
	julio	43.86	61.61	41.33	19.19	5.16	1.24	0.38	0.16	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00
	agosto	20.93	30.69	23.65	14.60	6.78	2.12	0.74	0.23	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00

	septiembre	14.75	14.97	11.34	7.89	4.61	1.94	0.84	0.27	0.11	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00
	octubre	12.59	11.33	8.12	5.35	3.32	1.81	0.89	0.34	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.01
	noviembre	11.72	9.81	6.84	4.06	2.36	1.29	0.77	0.28	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	diciembre	12.26	9.17	5.99	3.17	1.44	0.66	0.33	0.12	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
1985	enero	13.04	9.61	5.85	3.08	1.37	0.61	0.28	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
	febrero	14.01	10.29	6.91	3.83	1.88	0.85	0.40	0.17	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
	marzo	18.04	11.03	7.17	4.37	2.25	1.13	0.54	0.23	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	29.15	14.26	7.94	4.58	2.54	1.30	0.70	0.31	0.15	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	mayo	42.02	23.10	10.68	5.29	2.61	1.40	0.72	0.33	0.16	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00
	junio	46.01	33.35	17.79	7.53	3.20	1.46	0.81	0.35	0.17	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00
	julio	29.33	36.23	24.79	12.45	4.55	1.79	0.77	0.36	0.17	0.07	0.03	0.01	0.01	0.00
	agosto	22.02	21.14	15.89	10.26	5.14	2.20	1.11	0.45	0.22	0.10	0.04	0.02	0.00	0.00
	septiembre	20.47	16.97	12.18	8.03	4.73	2.33	1.14	0.51	0.22	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00
	octubre	17.59	16.14	11.90	7.38	4.08	2.13	1.07	0.41	0.24	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	noviembre	16.43	13.72	9.83	5.95	3.22	1.64	0.90	0.33	0.15	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00
	diciembre	17.56	12.80	7.90	4.30	2.09	0.96	0.52	0.19	0.09	0.04	0.05	0.01	0.00	0.00
1986	enero	20.10	13.75	8.17	4.15	1.93	0.86	0.39	0.16	0.07	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00
	febrero	23.58	15.88	10.05	5.61	2.76	1.30	0.60	0.26	0.11	0.05	0.02	0.01	0.02	0.00
	marzo	28.36	18.51	10.86	6.35	3.42	1.71	0.85	0.37	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.02
	abril	32.16	22.37	12.83	6.44	3.32	1.81	0.99	0.44	0.21	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	mayo	32.61	25.24	15.16	7.72	3.55	1.81	1.00	0.48	0.24	0.11	0.05	0.02	0.00	0.00
	junio	29.45	25.30	15.64	8.10	3.61	1.68	0.94	0.43	0.22	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00
	julio	20.72	22.79	15.69	8.48	3.91	1.73	0.83	0.38	0.18	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	agosto	12.74	15.59	12.30	7.80	4.08	2.00	1.00	0.43	0.21	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	septiembre	10.73	9.52	7.35	5.13	3.16	1.72	0.99	0.43	0.22	0.10	0.04	0.02	0.00	0.00
	octubre	11.47	8.33	5.39	3.33	1.96	1.12	0.69	0.32	0.17	0.08	0.04	0.01	0.00	0.00
	noviembre	12.70	9.02	5.61	2.97	1.48	0.80	0.46	0.22	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	diciembre	12.87	10.02	6.29	3.43	1.56	0.69	0.37	0.16	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
1987	enero	13.51	10.06	6.43	3.45	1.74	0.81	0.37	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	febrero	17.02	10.64	7.21	4.21	2.09	1.10	0.55	0.23	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	marzo	27.98	13.39	7.28	4.27	2.20	1.13	0.66	0.29	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	44.18	22.09	9.38	4.13	2.02	1.13	0.61	0.32	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	mayo	50.14	35.05	17.18	6.99	2.83	1.34	0.73	0.33	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	junio	46.12	39.18	23.76	10.70	4.11	1.67	0.78	0.36	0.16	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	julio	28.67	35.78	24.88	13.65	5.79	2.42	1.09	0.47	0.22	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00
	agosto	17.37	20.71	15.88	10.30	5.87	2.85	1.45	0.61	0.28	0.12	0.05	0.02	0.00	0.00
	septiembre	12.90	13.02	9.65	6.37	4.15	2.62	1.49	0.71	0.35	0.15	0.07	0.02	0.01	0.00
	octubre	9.65	9.91	7.58	4.84	3.02	1.98	1.36	0.68	0.38	0.17	0.08	0.03	0.01	0.00
	noviembre	8.54	7.53	6.27	3.77	1.96	1.28	0.85	0.47	0.25	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00
	diciembre	8.97	6.67	4.80	3.40	1.65	0.83	0.59	0.31	0.20	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00
1988	enero	9.65	7.04	4.35	2.29	1.18	0.57	0.29	0.13	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	febrero	11.93	7.58	5.01	3.00	1.53	0.80	0.40	0.19	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	marzo	18.37	9.41	5.28	3.14	1.71	0.87	0.49	0.22	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	abril	30.73	14.54	6.84	3.37	1.74	0.91	0.47	0.23	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00

	mayo	38.90	24.38	11.19	4.92	2.18	1.10	0.58	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	33.87	30.69	17.72	7.42	2.98	1.27	0.66	0.30	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	julio	23.50	26.08	18.89	10.07	4.15	1.82	0.81	0.37	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	agosto	20.13	17.75	13.64	9.04	4.89	2.29	1.16	0.47	0.21	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00
	septiembre	20.92	15.76	11.23	7.04	4.18	2.36	1.22	0.58	0.27	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00
	octubre	20.00	16.56	11.70	7.69	4.48	2.70	1.55	0.75	0.39	0.18	0.08	0.03	0.01	0.00
	noviembre	16.60	15.68	10.75	6.41	3.59	1.98	1.29	0.58	0.32	0.14	0.07	0.03	0.01	0.00
	diciembre	15.65	12.67	8.06	4.45	2.26	1.14	0.63	0.29	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
1989	enero	15.65	12.23	7.89	4.26	2.04	0.97	0.52	0.23	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	19.02	12.28	8.03	4.51	2.19	1.05	0.51	0.23	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	marzo	29.50	15.00	8.63	5.14	2.66	1.30	0.66	0.29	0.14	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00
	abril	52.25	23.35	10.95	5.56	2.94	1.49	0.77	0.34	0.15	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	76.58	41.48	18.14	7.99	3.68	1.89	0.97	0.46	0.22	0.09	0.04	0.01	0.01	0.00
	junio	76.25	60.79	32.17	13.24	5.23	2.28	1.20	0.56	0.28	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00
	julio	42.34	59.40	40.34	19.62	7.59	2.93	1.27	0.55	0.26	0.11	0.05	0.02	0.00	0.00
	agosto	21.46	30.21	24.36	15.20	7.98	3.59	1.68	0.65	0.29	0.12	0.05	0.02	0.01	0.00
	septiembre	17.53	16.01	12.72	8.61	5.26	2.95	1.65	0.67	0.32	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00
	octubre	16.07	13.69	9.48	5.87	3.62	2.22	1.31	0.61	0.31	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00
	noviembre	13.90	12.69	9.78	5.83	3.15	1.89	1.15	0.56	0.29	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00
	diciembre	11.39	10.97	8.96	5.83	2.81	1.39	0.84	0.39	0.22	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00
1990	enero	11.32	8.92	6.76	4.31	2.33	1.10	0.57	0.26	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	14.09	8.95	6.37	4.20	2.25	1.24	0.63	0.29	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	marzo	26.64	11.17	6.61	4.15	2.24	1.10	0.66	0.27	0.14	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	abril	57.19	21.10	7.96	3.85	1.87	0.99	0.51	0.26	0.11	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	mayo	80.65	45.38	16.05	5.18	1.90	0.86	0.52	0.22	0.14	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00
	junio	79.45	63.63	33.05	10.58	3.04	0.99	0.40	0.18	0.07	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
	julio	33.93	62.60	46.70	23.42	7.39	2.23	0.75	0.29	0.13	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00
	agosto	19.97	22.25	18.89	13.57	7.60	3.23	1.38	0.47	0.19	0.08	0.03	0.02	0.00	0.00
	septiembre	17.64	15.28	11.11	7.66	5.10	3.05	1.56	0.60	0.26	0.11	0.05	0.01	0.01	0.00
	octubre	19.49	13.86	9.98	6.02	3.77	2.30	1.43	0.60	0.31	0.14	0.06	0.02	0.01	0.01
	noviembre	22.02	15.40	9.61	5.66	2.77	1.64	0.93	0.44	0.22	0.10	0.05	0.02	0.01	0.00
	diciembre	23.16	17.44	11.35	6.21	3.12	1.31	0.80	0.36	0.20	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00
1991	enero	25.14	18.27	11.91	6.22	2.63	1.35	0.50	0.23	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
	febrero	33.14	19.86	13.12	7.71	3.64	1.60	0.92	0.31	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00
	marzo	65.06	26.22	14.35	8.41	4.33	2.03	0.97	0.54	0.17	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	abril	124.87	51.52	18.55	8.21	3.84	1.92	0.99	0.38	0.30	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00
	mayo	157.40	99.05	39.03	12.20	4.43	1.87	0.93	0.40	0.19	0.18	0.03	0.01	0.00	0.00
	junio	100.64	124.61	75.69	28.84	8.62	3.00	1.20	0.51	0.21	0.08	0.12	0.01	0.00	0.00
	julio	42.77	73.40	58.78	33.48	13.60	4.82	1.97	0.76	0.34	0.13	0.05	0.08	0.00	0.00
	agosto	26.75	29.74	24.99	17.05	9.67	5.00	2.65	1.14	0.48	0.21	0.08	0.03	0.06	0.00
	septiembre	26.64	20.55	14.92	9.74	6.26	3.68	2.37	1.20	0.66	0.28	0.13	0.05	0.01	0.05
	octubre	27.81	21.07	14.64	8.67	4.89	3.33	1.89	1.02	0.56	0.28	0.11	0.04	0.01	0.00
	noviembre	27.31	22.05	15.88	9.66	4.78	2.72	1.92	0.83	0.44	0.19	0.11	0.03	0.01	0.00
	diciembre	27.02	21.63	16.28	10.25	5.37	2.57	1.51	0.98	0.38	0.17	0.07	0.04	0.01	0.00

---

1992	enero	27.64	21.39	15.82	10.07	5.05	2.61	1.28	0.61	0.49	0.12	0.05	0.01	0.02	0.00
	febrero	29.84	21.94	16.65	11.74	6.86	3.32	1.77	0.81	0.40	0.34	0.07	0.03	0.01	0.01
	marzo	39.63	23.69	16.95	11.75	6.91	3.77	1.91	0.90	0.42	0.18	0.21	0.02	0.01	0.00
	abril	46.48	31.46	18.31	12.05	7.13	4.00	2.30	1.04	0.52	0.22	0.09	0.14	0.01	0.00
	mayo	41.74	36.89	24.23	12.80	6.93	3.68	2.13	1.06	0.50	0.23	0.09	0.03	0.09	0.00
	junio	36.17	32.60	25.42	15.51	7.57	4.09	2.20	1.18	0.65	0.29	0.13	0.05	0.01	0.07
	julio	33.07	28.38	21.56	14.53	7.85	3.99	2.31	0.93	0.48	0.20	0.09	0.03	0.01	0.00
	agosto	39.14	25.61	17.71	12.36	8.06	4.40	2.32	1.20	0.45	0.20	0.08	0.03	0.01	0.00
	septiembre	41.14	31.00	18.95	11.92	7.22	4.22	2.37	1.10	0.71	0.23	0.11	0.03	0.01	0.00
	octubre	36.39	32.65	23.93	13.32	6.85	3.57	2.13	1.01	0.56	0.39	0.11	0.05	0.01	0.01
	noviembre	31.64	28.82	24.73	17.29	8.61	3.86	1.87	0.87	0.39	0.18	0.19	0.03	0.01	0.00
	diciembre	25.68	24.93	19.95	14.71	7.91	3.45	1.86	0.78	0.44	0.18	0.08	0.12	0.01	0.00

---