

00366

1  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y  
LIMNOLOGIA

RELACIONES STOCK - RECLUTAMIENTO  
DEL CAMARON ROSADO  
*Farfantepenaeus duorarum*  
EN EL BANCO DE CAMPECHE

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO  
ACADEMICO DE: MAESTRO EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA

**PEDRO CERVANTES HERNÁNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. ADOLFO GRACIA GASCA

MEXICO, D.F.



Posgrado en  
Ciencias del Mar  
y Limnología

1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

27458A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

---

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
OBJETIVOS	6
ÁREA DE ESTUDIO	7
MÉTODOS	8
Mortalidad	9
* Método de Robson y Chapman (1961)	9
* Método de Berry (1967) y Paloheimo (1961)	9
* Método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961)	10
* Método de Beverton y Holt (1957)	10
* Método de Taylor (1958a)	10
Análisis de Población virtual	11
Modelos Stock - Reclutamiento	12
* Modelo 1	13
* Modelo 2	14
Modelo de Reclutamiento - Stock	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Mortalidad natural y total	15
Mortalidad por pesca	19
Modelos de Stock - Reclutamiento	20
Influencia de los factores ambientales sobre la relación Stock - Reclutamiento con base en las generaciones anuales de reclutamiento más importantes en la población de <i>F. duorarum</i>	23
Modelo de Reclutamiento - Stock	28
Modelo general de Stock - Reclutamiento	30
DISCUSIÓN GENERAL	31
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	34

---

---

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial al Dr. Adolfo Gracia Gasca, por permitirme trabajar a su lado y sobre todo por darme el apoyo necesario para la realización de este trabajo. ¡Gracias Dr.!

A mis sinodales Dr. Manuel Gallardo Cabello, Dr. Carlos Jorge Robinson Mendoza, Dr. David Salas de León y Dra. Sherry Manickchand Heileman, por sus asesorías y por todos sus valiosos comentarios para que este trabajo se realizara de la mejor manera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Posgrado.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado por el complemento de beca para la realización de mis estudios de Posgrado.

De manera muy particular agradezco a:

A Mis queridos padres Pedro y Rosalba, ya que sin ellos nunca hubiera podido llegar a donde me encuentro, y a los cuales dedico esta tesis.

A Mi gran amigo y compañero de laboratorio el M. en C. Mario Alejandro Gómez Ponce, por todos los momentos divertidos, por su comprensión y por la ayuda que me ha brindado en los momentos precisos.

A mi amada novia Claudia, por soportarme y apoyarme en todo momento, espero recompensar algún día todos tus sacrificios. ¡Te amo!

Al M. en C. Margarito Álvarez Rubio por su constante preocupación de saber los adelantos y conclusión de esta tesis. Por cierto mi querido amigo, gracias por tus grandes enseñanzas en Estadística.

Al Dr. Martín Merino Ibarra y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por el apoyo para la realización de este trabajo.

A Tito Livio y Rodolfo por su amistad.

A Alfredo por ser uno de mis mejores amigos y por las horas de gran esparcimiento en el "Stud" IV.

A TODOS USTEDES: GRACIAS.

---

## RESUMEN

Se estimaron los coeficientes de mortalidad natural ( $M$ ) y total ( $Z$ ) en la población del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) en el Banco de Campeche, durante el período 1974 - 1989. Las estimaciones más confiables de  $M$  y  $Z$  que se obtuvieron con base en los métodos basados en la captura por unidad de esfuerzo en abundancia (CPUE<sub>n</sub>), indicaron que  $M = 0.25$  mensual, es un valor confiable de la tasa de mortalidad natural para esta población durante la etapa adulta; la edad de reclutamiento ( $tp'$ ) y la tasa de mortalidad total que se proponen en este trabajo son:  $tp' = 4$  meses y  $Z = 0.49$  mensual, respectivamente.

La mortalidad media por pesca en la población de *F. duorarum* por grupos de edad durante el período 1974 - 1989, no es constante, y presenta un incremento sostenido desde la edad de reclutamiento con un valor de  $F = 0.14$  hasta los 6 meses de edad, cuando se manifiesta el valor máximo de mortalidad por pesca  $F = 0.59$ . Este efecto puede explicarse en parte, debido a la reducción en el valor de la longitud máxima  $L_{\infty}$  y de la longevidad  $A_{0.95}$  que alcanzan los reproductores de *F. duorarum* en el ambiente marino.

La relación Stock - Reclutamiento (S-R) del camarón rosado *F. duorarum*, se examinó con base en las estimaciones mensuales de abundancia (por grupo de edad) obtenidas mediante el análisis de población virtual, la existencia del reclutamiento continuo acompañado de las variaciones ambientales, no permitió definir la relación S-R durante el período mensual.

Considerando la abundancia promedio del camarón rosado por años biológicos, los ajustes a las curvas de Ricker (1954, 1958) y Beverton y Holt (1954) resultaron estadísticamente no significativos, con valores de  $r = 0.20$ ,  $p = 0.2$  y  $r = 0.30$ ,  $p = 0.10$ , respectivamente. La relación S-R obtenida en los intervalos de abundancia por años biológicos, presentó un comportamiento aparentemente lineal; el ajuste lineal, aún cuando resultó en una mayor correlación  $r = 0.60$ , no presentó un nivel significativo, ya que  $p = 0.12$ .

La relación S-R en la población de *F. duorarum* se analizó con base en los máximos valores de reclutamiento presentes en cada uno de los años contemplados. De acuerdo con este procedimiento propuesto por Gracia (1991), se identificaron 22 cohortes importantes que fueron separadas en períodos de alta y baja abundancia en función de la fecha en la cual se genera el reclutamiento; en ambos períodos, la relación S-R es clara y los ajustes a la curva de Ricker (1954, 1958) resultaron estadísticamente significativos, con valores de  $r = 0.90$ ,  $p = 0.01$  y  $r = 0.94$ ,  $p = 0.02$ , respectivamente.

La influencia de las descargas totales de los ríos (Champotón, Candelaria, Palizada, Boca de Cerro y San Pedro) y de la precipitación pluvial sobre la variación en la abundancia de los reclutas de *F. duorarum* en el Banco de Campeche, se analizó mediante técnicas de correlación simple y de regresión lineal múltiple paso a paso entre 1, 2, 4, y 8 meses previos al evento de reclutamiento. Los resultados finales en cada uno de los modelos propuestos, indicaron que el cambio en la abundancia de los reclutas de *F. duorarum*, se explicó mejor con la inclusión de los siguientes predictores seleccionados: tamaño del stock reproductor (S), descargas de los ríos un mes previo al evento de reclutamiento (R1A) y lluvias dos meses previos al evento de reclutamiento (LL2A).

La descarga fluvial destacó como el factor ambiental más importante entre los aquí examinados, para explicar la relación S-R en la población de *F. duorarum*. El efecto de los factores ambientales sobre el nivel de reclutamiento, quedó representado por un espacio limitado por una familia de curvas, que incluyeron los registros máximos y mínimos de la descarga total y de la precipitación pluvial. Las líneas de reemplazo del 60 y 30% de mortalidad por pesca que interceptan este espacio, se encuentran muy cercanas a la zona de riesgo (establecida con base en las curvas de producción de Ricker (1975) y los niveles de

---

reclutamiento máximo y mínimo) cuyos niveles de  $F$  ocasionan una remoción del 33 y 85% de los reclutas en el modelo General de stock - reclutamiento.

---

## INTRODUCCIÓN

El camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) es una de las especies de mayor importancia comercial en el Golfo de México. En aguas mexicanas, las mayores concentraciones de camarón rosado se localizan al SO del Golfo, en el Banco de Campeche, donde se ha desarrollado una pesquería desde la década de los 50's (Gracia, 1995). Álvarez *et. al.* (1987) estimaron que aproximadamente el 60% de las capturas de peneidos ( $23 \times 10^3$  toneladas peso entero) corresponden a *F. duorarum*. En el Banco de Campeche, las capturas totales de *F. duorarum* han tenido fluctuaciones a lo largo de su historia de explotación, y mostraron los niveles más altos en la década de los 70's. Después de este período, la captura registrada ha presentado un descenso muy marcado que, de acuerdo con los registros del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) en Ciudad del Carmen, ha llegado a menos de la tercera parte de los niveles de producción registrados históricamente (fig.1).

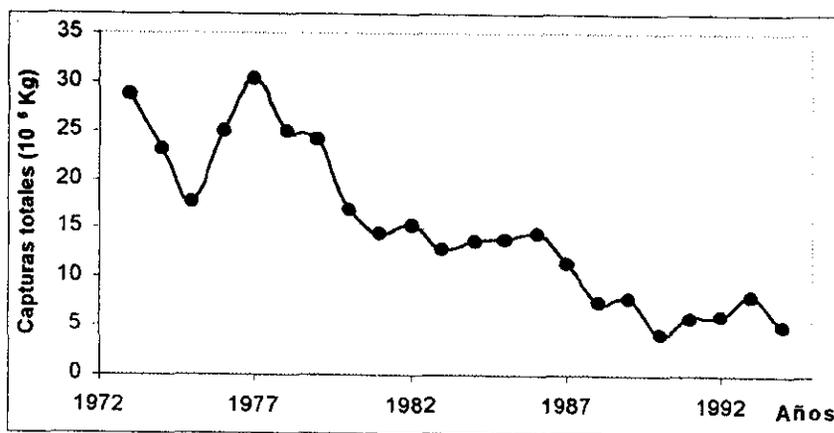


Fig. 1 Capturas totales (1973 - 1994) de *F. duorarum* en el Banco de Campeche

La reducción en las capturas de *F. duorarum* en esta área se debe a un aumento del esfuerzo relacionado con la transferencia de la flota camaronera a las cooperativas pesqueras, a la disminución y deterioro de las áreas de crianza y pesca por el crecimiento en el número de plataformas petroleras, y al incremento de la pesca artesanal sobre los juveniles de la fase estuarina del camarón rosado (Gracia, 1995). Las respuestas de la especie a los factores antes mencionados y a las variaciones ambientales son importantes desde el punto de vista ecológico-pesquero, para comprender, evaluar y administrar la captura en alta mar, ya que afectan directamente el nivel de reclutamiento a la población adulta (Gracia, 1989a).

Desde el punto de vista pesquero, el término reclutamiento es utilizado para definir la entrada de nuevos organismos a la pesquería (Gracia, 1992); y como un proceso según el cual los organismos jóvenes entran al área de explotación con la posibilidad de estar en contacto con las artes de pesca (Ricker, 1954). En este sentido, el reclutamiento ocurre para una serie de tamaños que pueden describirse en función de curvas de selección (Gulland, 1971). En términos ecológicos, el reclutamiento describe el comportamiento natural de renovación de las poblaciones que resulta mucho más

complicado de expresar en términos cuantitativos que por sólo curvas de selección (Cushing, 1975).

El reclutamiento en pesquerías se considera como un proceso más o menos progresivo en función de la edad o talla de los organismos; ya que los organismos menores a la edad de reclutamiento pueden escapar a la acción de las artes de pesca, mientras que los mayores o iguales a la edad de reclutamiento pueden encontrarse o no en las zonas principales de pesca (Gulland, 1971).

Beverton y Holt (1954) definen la edad de reclutamiento ( $tp'$ ) como la edad a la cual los peces son disponibles a las artes de pesca. La fase del post - reclutamiento contiene a los organismos que han llegado o superado la edad  $tp'$ ; el número de sobrevivientes a la actividad pesquera se designa con  $R'$  o coeficiente de renovación natural. La fase del pre - reclutamiento contiene a los organismos de edad menores a  $tp'$  ( $tp$ ) y generalmente se les encuentra en áreas de crianza en donde los adultos no están presentes en número apreciable (fig. 2).

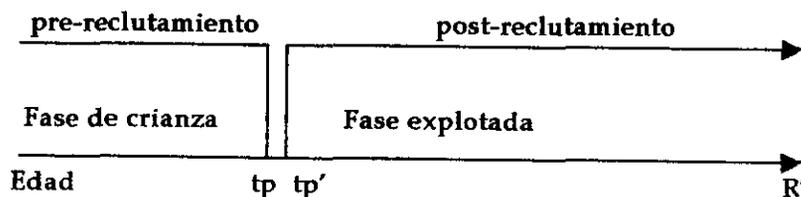


Fig. 2 Modelo de las fases de explotación pesquera de Beverton y Holt (1954)

Uno de los problemas de mayor controversia en el manejo de pesquerías y el más difícil de obtener en biología pesquera, es la relación Stock- Reclutamiento (S-R); que consiste en observar las respuestas del reclutamiento a diferentes cambios de tamaño en la población reproductora, generalmente por clases anuales (Hilborn y Walters, 1992). Beverton y Holt (1954) y Ricker (1954, 1958) sintetizaron y desarrollaron los aspectos teóricos de la relación stock- reclutamiento, y demostraron que de acuerdo con la especie, la forma de la curva S-R determina hasta qué punto se afectará el potencial reproductivo de la especie bajo efectos de la actividad pesquera (FAO, 1992).

Históricamente, el problema de estimar las respuestas del reclutamiento a diferentes cambios de tamaño en la población reproductora se ha intentado resolver por distintos caminos:

- 1.- Por prospecciones pesqueras, cuyo objetivo es estimar la abundancia relativa de las cohortes que se reclutan durante el primer año a la pesquería (FAO, 1987).
- 2.- Mediante técnicas de regresión se ha relacionado la abundancia larvaria y las condiciones oceanográficas, que podrían tener un efecto importante sobre su supervivencia (Pereiro, 1982).
- 3.- Se ha supuesto que el factor más importante para definir el reclutamiento es la cantidad de huevos generados por reproductor (Beverton y Holt, 1954).

4.- Con base en los índices de reclutamiento y de la población reproductora obtenidos a partir del análisis de población virtual (VPA), se ha podido definir el subsecuente reclutamiento y explicar los cambios en las capturas totales por aumento o disminución de los reclutas. El problema fundamental al aplicar éste análisis es el retardo con que se consigue la información correspondiente al reclutamiento (Hilborn y Walters, 1992).

En lo que respecta a los peneidos, las propuestas anteriores han generado funciones que explican determinados rasgos cualitativos de la relación S-R (FAO, 1987), por lo que se ha difundido la tendencia a suponer que: el reclutamiento no está ligado a la abundancia de reproductores y que no hay poblaciones de camarones, incluso aquellas que han sido fuertemente explotadas en las que se pueda demostrar con certeza tal relación (Abramson y Tomlinson, 1972). Sin embargo, la hipótesis de un reclutamiento relativamente independiente del tamaño del stock reproductor, se contradice con los resultados obtenidos por: 1) Gracia (1991), quien establece la relación S-R en el camarón blanco *P. setiferus* en el SO del Golfo de México, y demuestra que la fuerza del reclutamiento en cada una de las cohortes principales presenta una variabilidad interanual, que atribuye al efecto de las descargas de los ríos y al tamaño del stock reproductor. 2) Penn y Caputi (1986), quienes ponderan el papel de los factores ambientales sobre la relación S-R en el "tiger prawn" (*P. esculentus*) del Golfo Exmouth en el OESTE Australiano. 3) Yokel (1969) demostró con *P. duorarum* de la Florida una buena correlación ( $r = 0.78$ ) entre las variaciones climáticas, la abundancia de postlarvas y el índice de reclutamiento de los juveniles en el mar.

Existen suficientes trabajos que demuestran que la producción anual de camarón varía año con año en relación con los factores climáticos a corto plazo (FAO, 1987). Las investigaciones anteriormente mencionadas demuestran que la magnitud del reclutamiento depende en gran medida de las condiciones hidrológicas. Sin embargo, no esconden el hecho de que la forma de la relación S-R sea desconocida por completo en algunas especies de camarón. García (1983) y Gulland y Rothschild (1984) afirmaron que, la ausencia o deficiencia en la información acerca de la abundancia de reproductores y reclutas interfiere en el establecimiento de la relación S-R, aún cuando se explique mediante una familia de curvas correspondientes a diferentes valores de descargas fluviales.

La relación S-R es una herramienta relevante en el manejo de los recursos pesqueros y en el establecimiento de una estrategia de explotación. El escape determinado (sobrepesca por reclutamiento) es una estrategia de pesca que pretende establecer y asegurar un tamaño mínimo de la población explotada, con base en la intersección de la relación S-R y reclutamiento - stock (R-S) en un Modelo General de S-R. El establecimiento del escape determinado juega un papel importante en el análisis pesquero, ya que detecta los niveles en los cuales el reclutamiento producido puede o no ser suficiente para que la población se recupere de los efectos de la tasa de mortalidad natural y por pesca.

Con base en la relación S-R, es posible predecir los rendimientos y los niveles de biomasa de un stock explotado en función de la edad de primera captura ( $T_c$ ) y la tasa de mortalidad por pesca. Uno de los modelos de predicción más usado para tal propósito, es el modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt (1957).

El presente trabajo pretende ubicar el problema de la relación stock-reclutamiento dentro de un contexto ecológico-pesquero; para lo cual, se estimó e integró en el Modelo General de S-R: los reclutamientos principales por períodos anuales, la mortalidad por pesca ( $F_i$ ) y la influencia de los factores ambientales sobre las relaciones stock-reclutamiento en la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche.

## ANTECEDENTES

A pesar de la importancia económica que tiene *F. duorarum*, la información disponible sobre la biología y ecología de las diferentes fases de su ciclo de vida es escasa, en particular acerca de los estadios que habitan los sistemas estuarinos de esta región. La información que existe relacionada al tema de investigación y a la biología y ecología de *F. duorarum* comprende los trabajos hechos por:

Gracia (1995) analizó el impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. Con base a modelos de simulación, se analiza el impacto de la pesquería artesanal sobre juveniles, reclutamiento y producción total de *P. duorarum* en el estado de Campeche. Los modelos empleados en este trabajo contemplan parámetros biológicos, poblacionales y pesqueros registrados en la bibliografía. Sus resultados indican que la pesquería artesanal incide en un intervalo de la estructura de tallas de entre 12 a 115 mm de longitud total. El 85% de los juveniles capturados tienen entre 25 y 60 días de edad. La pesca artesanal de juveniles de camarón rosado causa una pérdida de producción en alta mar en proporción de 1: 7.5 - 10 por cada kilogramo capturado. De acuerdo con las simulaciones, la pesca artesanal es responsable de hasta el 30% de la disminución en la producción de *P. duorarum*. En este trabajo, el autor estimó por primera vez el valor de la tasa de mortalidad natural ( $M$ ) para la población de *P. duorarum* en la etapa marina con base en el método de Pauly (1980); así como, los parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy (1938), los resultados obtenidos fueron:  $M = 0.27$ ,  $L_{\infty} = 203$  mm,  $W_{\infty} = 68$  gr,  $k = 0.2167$  y  $t_0 = -0.4666$ .

Gracia (1991) establece la relación S-R en el camarón blanco *P. setiferus* en el SO del Golfo de México para el periodo de 1973 a 1983. Dicho autor demuestra que la fuerza del reclutamiento en cada una de las cohortes principales presentan una variabilidad interanual, la cual atribuye al efecto de las descargas de los ríos y al tamaño del stock reproductor.

Gracia y Soto (1990) realizan estudios referentes a la distribución y abundancia de las etapas estuarinas de los camarones *P. duorarum*, *P. setiferus* y *P. aztecus*. La inmigración de postlarvas planctónicas a la Laguna de Términos se lleva a cabo durante todo el año con máximos en julio y septiembre. Los juveniles de las tres especies presentan un patrón de distribución espacio - temporal distinto en el área estuarina; el camarón blanco y el camarón café emplean temporalmente los hábitats con sustratos suaves situados al SO de la Laguna de Términos, mientras que el camarón rosado muestra una segregación espacial con respecto a las dos anteriores, ya que su distribución principal radica en el área ESTE, sobre sustratos calcáreos. Las mayores concentraciones de juveniles de camarón rosado se detectaron en la Laguna de Términos, en las proximidades de la boca de Puerto Real y del río Candelaria.

Álvarez *et al.* (1987) realizaron estudios sobre el crecimiento y mortalidad de las fases estuarinas de *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939 (postlarvas epibentónicas y juveniles de entre 6.2 a 80 mm de longitud total), durante un ciclo anual en dos localidades de la Laguna de Términos previamente reconocidas como áreas de establecimiento de este camarón. Las tasas de crecimiento fluctuaron desde 0.58 mm/día en octubre hasta 1.12 mm/día en agosto para la localidad del Cayo, y de 0.82 mm/día en febrero y marzo hasta 1.13 mm/día en agosto para la localidad del Chacaito. Por otro lado, las tasas de mortalidad diarias presentaron variaciones desde 0.1145 a 0.1539 en las dos localidades con un sesgo del 25% debido a la emigración.

Penn y Caputi (1986), ponderan el papel de los factores ambientales sobre la relación S-R en el "tiger prawn" (*Penaeus esculentus*) del Golfo Exmouth en el OESTE Australiano. Por otro lado, los autores señalaron que la turbidez provocada por las descargas fluviales intensas o ciclones pueden incrementar la sobrevivencia de los reclutas en el ambiente marino al ocasionar una reducción en la tasa de mortalidad por depredación.

En el caso de *P. aztecus* y *P. setiferus* de Louisiana se han registrado buenas correlaciones  $r = 0.73$  y  $r = 0.86$ , respectivamente, entre la captura anual en el estuario y las capturas en el mar según lo confirmaron Barrett y Gillespie (1975).

Ruello (1973) indicó que en las poblaciones de peneidos, las descargas fluviales en períodos cortos de tiempo tienen un efecto positivo sobre el nivel de reclutamiento, debido a que la disminución gradual en la salinidad estimula la emigración de los juveniles hacia el ambiente marino.

Fontaine y Neal (1971) describen las ecuaciones para relacionar el peso y la longitud en *P. duorarum*, *P. setiferus* y *P. aztecus*, con base en muestras provenientes de las costas de Texas y Florida durante diferentes estaciones del año. La ecuación combinada (hembras y machos), que relaciona el peso y la longitud en *P. duorarum* encontrada por Fontaine y Neal es:  $W = -5.113 * L^{3.029}$ , donde W es el peso en gramos y L es la longitud total en milímetros.

Yokel (1969) demostró en *P. duorarum* de la Florida una buena correlación ( $r = 0.78$ ) entre las variaciones climáticas, la abundancia de postlarvas y el índice de reclutamiento de los juveniles en el mar.

Fuss y Ogren (1966) realizaron una investigación acerca de los factores que afectan la actividad y la construcción de madrigueras de *P. duorarum*. La luz, resulta ser un factor importante en la conducta de los adultos de entre 80 y 180 mm de longitud total. De un total de 224 organismos adultos, sólo 6 de ellos mostraron actividad durante las horas de luminosidad en la Bahía de San Andrés, Florida. Las evidencias sugieren, que *P. duorarum* es más activo 1 hora después del anochecer en un rango de 1.076 a 0.01076 lux. Los efectos de la temperatura indican que por debajo de los 14° C los camarones adultos son menos activos, aún cuando se presente el óptimo de luminosidad. La temperatura ideal para estos organismos se encuentra entre 26 y 27° C, por arriba de los 33° C los adultos de camarón rosado presentan fatiga a exposiciones de más de 72 horas.

### OBJETIVO GENERAL

Determinar las relaciones Stock-Reclutamiento del camarón rosado (*Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad 1939) en el Banco de Campeche y la influencia de los factores ambientales sobre estas relaciones.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar la tasa de mortalidad total ( $Z$ ), natural ( $M$ ) y por pesca ( $F$ ).
- Reconstruir el número de individuos de la población natural mediante el análisis de población virtual (VPA).
- Identificar las generaciones principales por períodos anuales.
- Elaborar los modelos de stock-reclutamiento y reclutamiento-stock, incluyendo en el primero los principales factores ambientales.
- Determinar los niveles críticos de la población reproductora.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Banco de Campeche fue descrito por Ordoñez (1936) como una amplia plataforma carbonatada con topografía casi llana. Este Banco calcáreo puede considerarse limitado hacia el OESTE por la unidad tectónica 4 de la cuenca Macuspana - Campeche, y al ESTE por el estrecho de Yucatán (fig. 3). El extremo occidental del Banco es similar a la zona de transición del Cañón de Soto, en la costa NORTE del Golfo de México, donde la sedimentación se modifica gradualmente de carbonatada a terrígena.

La temperatura en el área varía de 22 a 29° C, y la salinidad de 34 a 38 ppm. Por el lado OESTE, el Banco de Campeche está fuertemente influenciado por aguas estuarinas y fluviales provenientes de la Laguna de Términos, mientras que la parte ESTE presenta características de alta salinidad y sedimentos calcáreos. Es evidente también un patrón estacional de temperatura, salinidad y transparencia, altamente correlacionados con las condiciones climáticas (Gutiérrez-Estrada, 1988).

La red fluvial con mayor influencia en el área está conformada por los ríos Grijalva - Usumacinta, que forman en su desembocadura una llanura deltaica. El río San Pedro - San Pablo, uno de los brazos del Usumacinta, descarga hacia el Golfo de México formando una amplia llanura aluvial y la barrera que lleva su nombre. El río Palizada, brazo oriental del Usumacinta, forma a las lagunas de las Cruces, del Vapor y del Este y se conecta al SO con la Laguna de Términos por Boca Chica. El río Chumpán se origina en la llanura costera de Tabasco y desemboca en la Laguna de Términos. El río Candelaria desemboca en la Laguna de Panlau, cerca al delta del río Mamantel; y el río Champotón ubicado a los 19° de latitud NORTE, desemboca directamente en el Banco de Campeche (Vera-Herrera, *et. al.* 1988).

La Laguna de Términos está situada a los 91°15', 91° 51' W y 18° 27', 18° 50' N al SO del Golfo de México, y se comunica con La Bahía de Campeche a través de las bocas El Carmen y Puerto Real, situadas en los extremos oriental y occidental de la Isla del Carmen. La laguna es típicamente costera, cubre un área aproximada de 2500 km<sup>2</sup> sin considerar las lagunas más pequeñas y pantanos asociados a su litoral interno. El clima de la laguna es cálido-húmedo (AmW) según la escala de Köppen modificada por García (1973); la precipitación varía entre 1100 a más de 2000 mm anuales (Phleger y Ayala-Castañares, 1971).

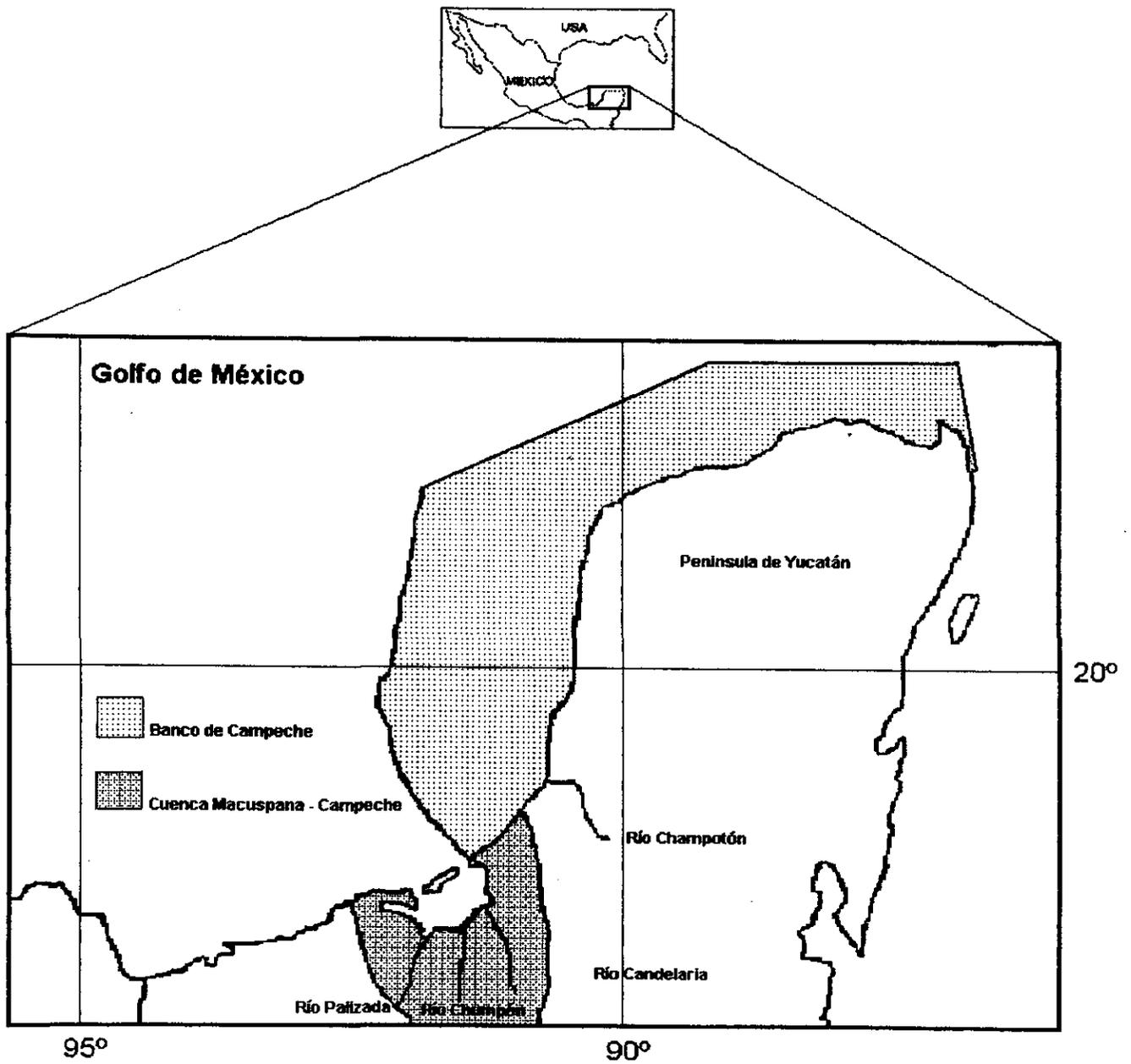


Fig. 3 Área de estudio

## MÉTODOS

Para obtener el número total de organismos capturados y la captura por unidad de esfuerzo en abundancia (CPUE<sub>n</sub>) por grupos de edad en el ambiente marino, se emplearon los siguientes registros: a) producción mensual por kilogramo de categoría comercial de *F. duorarum* y b) el esfuerzo de pesca (número de viajes), correspondientes al período 1974 - 1989, proporcionados por: a) El Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Cd. del Carmen, Campeche y b) La SEMARNAP del estado de Campeche.

La población de *F. duorarum* en el área para propósitos de este estudio, se consideró como un stock único y la interacción con otros stocks no fueron tomados en cuenta.

Con base en la información estadística de capturas por Kg de categoría comercial (10-14, 15-20, 21-25, 26-30, 31-35, 36-40, 41-50, 51-60 y 60 over -abdomenes por libra), se implementó un programa para estimar el peso de la captura y el número total de organismos por clase de edad. En el programa se considera que la distribución de probabilidad del peso dentro de las nueve categorías comerciales se distribuye normalmente. La división de la captura total en cada una de las categorías comerciales entre la suma de los componentes de probabilidad de la distribución normal, generan un factor de conversión por categoría. La proporción del peso total se obtiene al multiplicar cada factor por la probabilidad del peso en cada una de las nueve categorías. El peso de la captura resulta del cociente entre la proporción del peso total y el peso del abdomen por categoría comercial. Finalmente, mediante la suma de todos los organismos por unidad de peso por categoría comercial se obtiene el número total de organismos en cada una de las clases de edad.

La tabla 1 muestra los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ,  $t_0$  y  $k$  de acuerdo a la curva de Von Bertalanffy (1938), que Gracia en 1995 obtuvo con base en el método de Gulland (1964). Dicho autor, empleo los registros de *F. duorarum* en producción mensual por kilogramo de categoría comercial, estructura de tallas y proporción de sexos (información recopilada en el área de estudio) y esfuerzo de pesca (número de viajes) correspondientes al período 1974 - 1989. Los resultados así obtenidos fueron emplearon en el presente trabajo.

TABLA 1  
Parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy (1938) en la población de *F. duorarum*

$$L_{\infty} = 203 \text{ mm}$$

$$W_{\infty} = 68 \text{ gr}$$

$$k = 0.2167$$

$$t_0 = -0.4666$$

## Mortalidad

Existen muchas maneras de expresar numéricamente el valor de los parámetros de mortalidad en la dinámica de las poblaciones explotadas. Los métodos utilizados para estimar los coeficientes de mortalidad natural ( $M$ ) y mortalidad total ( $Z$ ) en la población de *F. duorarum* durante la etapa adulta, fueron:

### Método de Robson y Chapman (1961)

El método de Robson y Chapman (1961) proporciona una estimación del coeficiente  $Z$  a partir de los datos de capturas totales por grupos de edad, es aplicado cuando el esfuerzo de pesca ( $f_i$ ) y la mortalidad total se consideran constantes o sin tendencia neta durante el período en estudio (FAO, 1987). La relación para tal propósito es:

$$Z = \ln [(A) / (B + A - 1)]$$

Donde:

$A = N_1 + t_2 * N_2 + t_3 * N_3 + \dots + t_n * N_n$  (a partir de la edad de reclutamiento  $t_p'$ )

$B = N_{(0)} + N_{(1)} + N_{(2)} + N_{(3)} + \dots + N_{(n)}$

$N$  es la captura total por grupo de edad.

$t$  es el grupo de edad.

La fracción que sobrevive es:  $S = e^{-Z}$

La varianza del modelo es:  $VAR(S) = S * [(S - (A - 1)) / (B + A - 2)]$

### Método de Berry (1967) y Paloheimo (1961)

Berry en 1967 propone el método de la disminución de la CPUE<sub>n</sub> durante períodos cortos; el método supone que en períodos cortos después del reclutamiento, los cambios numéricos en la CPUE<sub>n</sub> se relacionan con la tasa de mortalidad  $Z$  en:

$$\ln (CPUE_n) = \alpha + \beta * (t)$$

Donde:  $\beta$  es la pendiente o valor de la tasa de mortalidad total  $Z$  en el intervalo de tiempo ( $t$ ) en el cual existe disminución en la CPUE<sub>n</sub>.

Los valores de  $Z$  y del esfuerzo promedio ( $f_i$ ) por intervalo de tiempo son tomados y relacionados por el método de Paloheimo (1961), para expresar numéricamente el valor de la tasa de mortalidad natural  $M$  y del coeficiente de capturabilidad ( $q$ ), sintetizadas en la siguiente relación:

$$Z(y) = q * f(y) + M$$

Donde:  $Z(y)$  es la variable dependiente de la regresión o tasa de mortalidad total por intervalo corto de tiempo,  $f(y)$  es la variable independiente de la regresión o esfuerzo promedio dentro del mismo intervalo,  $M$  y  $q$  son el valor de la tasa de mortalidad natural y el coeficiente de capturabilidad respectivamente para el período en estudio.

### Método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961)

Cuando el esfuerzo varía continuamente a lo largo del tiempo durante la fase explotada, es posible estimar el valor del coeficiente Z con base en la siguiente relación descrita por Beverton y Holt en 1957:

$$Z = \frac{1}{(t_2 - t_1)} * \ln \frac{CPUE_n(t_1)}{CPUE_n(t_2)}$$

Paloheimo (1961) propone una nueva aproximación de los coeficientes M y q con base en los valores de Z obtenidos de la relación de Beverton y Holt (1957), y el esfuerzo efectivo al que Paloheimo define como:

$$f_{\text{efectivo}} = \frac{[f_i + (f_{i+1})]}{2}$$

El método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) fue aplicado para los años normal (enero - diciembre) y biológico, definido éste último de octubre a septiembre en función de los reclutamientos más importantes. El método contempla un ajuste lineal al conjunto de los datos para cada una de las edades de reclutamiento empleadas; esto es, las distintas edades de reclutamiento que fueron contempladas son aquellas en las cuales se presenta el reclutamiento pleno, ya que las edades parcialmente reclutadas subestiman el valor de M y por consiguiente el de Z.

### Método de Beverton y Holt (1957)

La relación de Beverton y Holt (1957) que sustituye la edad media de los organismos y la edad de primera captura ( $T_c$ ), por sus correspondientes parámetros de crecimiento en la ecuación de Von Bertalanffy (1938) es:

$$Z = k * \frac{L_{\infty} - \bar{L}}{\bar{L} - L'}$$

Donde:  $\bar{L}$  es la longitud media de los organismos del intervalo  $[L', L_{\infty}]$  siendo ( $L'$ ) la longitud mínima.  $L_{\infty}$  y  $k$  son parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy (1938).

### Método de Taylor (1958a)

Con base en los parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy (1938), y el tiempo requerido para que un reproductor obtenga el 95% de  $L_{\infty}$ ; el método de Taylor (1958a) proporciona una estimación del coeficiente M y de la longevidad máxima que alcanza un reproductor durante su vida. Las relaciones para tal propósito son:

$$A_{0.95} = t_0 + (2.996 / k)$$

$$M = 2.996 / A_{0.95}$$

Donde: M es el coeficiente de mortalidad natural,  $A_{0.95}$  es la longevidad máxima que alcanza un reproductor durante su vida, 2.996 es la constante que indica el tiempo requerido para que un reproductor obtenga el 95% de  $L_{\infty}$ , y k es la constante catabólica de la ecuación de Von Bertalanffy (1938).

### Análisis de la población virtual

El análisis de población virtual (VPA) es un proceso que no presenta ninguna relación con la estadística clásica (Pereiro, 1982). Este análisis es un procedimiento para determinar el número de organismos que deberían haber en el mar, con base en la proporción de la población removida por la pesca y las pérdidas causadas por la mortalidad natural. El método utilizado en el presente trabajo para realizar el VPA, se basa en la ecuación general de captura, en las relaciones de abundancia ( $N_{t-1}$ ) y mortalidad por pesca ( $F_{t-1}$ ) de Pope (1972), para calcular de forma retrospectiva la tasa de mortalidad por pesca y la abundancia de organismos al comienzo de cada uno de los intervalos pertenecientes a una cohorte.

El análisis retrospectivo proviene de la ecuación diferencial que expresa la fracción de la población capturada al tiempo (t)

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

Donde: Z y F son los coeficientes de mortalidad total y por 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  $C = C_t$  para  $N_0$  y  $N_t$ , tenemos que:

$$\int_{C=0}^{C_t} dC_t = \int_{t=0}^t F * N_0 * \text{EXP}^{-(Z)t} dt$$

Por tanto

$$C_t = F * N_0 * \int_{t=0}^t \text{EXP}^{-(Z)t} dt$$

La integración final evaluada en el intervalo de tiempo (t) [0, t] genera 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:  $C_t$  es el número de organismos muertos por la pesca durante un período de tiempo ( $t$ ),  $N_t$  es el número de organismos existentes en la población al tiempo ( $t$ ),  $M_t$  y  $F_t$  son los coeficientes de mortalidad natural y por pesca respectivamente.

La relación que describe la abundancia de una cohorte al inicio del intervalo ( $t$ ), se obtiene al despejar  $N_t$  de la ecuación general de captura, por tanto:

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

Donde:  $F_t$  es la tasa de mortalidad por pesca terminal estimada con base en  $C_t$  y en la tasa de mortalidad natural constante para todo el VPA, por lo tanto  $F_t$  esta dada por:

$$F_t = [ \ln ( C_t / C_{t-1} ) ] - M_t$$

La abundancia que inicia en el intervalo  $N_{t-1}$  y los anteriores a éste se estiman usando la primera relación de Pope (1972):

$$N_{t-1} = [ N_t * (\text{EXP}^{-M_{t-1}}) ] + [ C_{t-1} * \text{EXP}^{(M_{t-1} / 2)} ]$$

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

Finalmente, se estimó la tasa de mortalidad por pesca para el intervalo  $N_{t-1}$  y los anteriores usando la segunda relación de Pope (1972):

$$F_{t-1} = [ \ln ( N_{t-1} / N_t ) ] - M_{t-1}$$

Para resolver cada una de las ecuaciones y obtener la información de abundancia y mortalidad por pesca en cada cohorte durante el período 1974 - 1989, se implementó una hoja electrónica de cálculo alimentada con los datos de capturas totales por clases de edad de la población de *F. duorarum*. El análisis de población virtual se realizó con base en la tasa de mortalidad natural más confiable ( $M = 0.25$  mensual), obtenida con el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961).

#### Modelos de Stock - Reclutamiento (S-R)

El análisis de la relación stock - reclutamiento (S-R) del camarón rosado se llevó a cabo con base en la información de abundancia por clases de edad, obtenidas mediante el análisis de población virtual. Como índice de reclutamiento se consideró a los organismos de 4 meses de edad, el total de individuos mayores a 8 meses conformaron el índice de la población reproductora, desfasados ambos, por un lapso de 4 meses según lo confirmó el método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) en los análisis de mortalidad.

La relación stock - reclutamiento se analizó mediante el ajuste de las curvas de reclutamiento de los siguientes autores:

Ricker (1954, 1958)

$$R = \alpha * S * \exp(-\beta S)$$

Donde:

R es el número de reclutas o índice de reclutamiento.

S es el tamaño o índice de la población reproductora.

$\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros densoindependiente y densodependiente que definen la curva de reclutamiento de Ricker (1954, 1958).

Beverton y Holt (1954)

$$R = \frac{1}{\alpha + (\beta/S)}$$

Donde:

R es el número de reclutas o índice de reclutamiento.

S es el tamaño o índice de la población reproductora.

$\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros densodependiente y densoindependiente que definen la curva de reclutamiento de Beverton y Holt (1954).

La relación S-R del camarón rosado *F. duorarum* en el Banco de Campeche, se examinó con base en las estimaciones mensuales de abundancia (por grupo de edad), y las evaluaciones de abundancia promedio por años biológicos obtenidas mediante el análisis de población virtual.

La relación S-R en la población de *F. duorarum*, se analizó seleccionando los máximos valores de reclutamiento presentes en cada uno de los años contemplados. De acuerdo con este procedimiento propuesto por Gracia (1991), fueron separadas las generaciones principales en periodos de alta y baja abundancia en función de la fecha en la cual se genera el reclutamiento

La influencia de las descargas totales ( $10^3 \text{ m}^3$ ) de los ríos (Champotón, Candelaria, Palizada, Boca de Cerro y San Pedro) y de la precipitación pluvial (mm), se analizó mediante técnicas de correlación simple y de regresión lineal múltiple paso a paso entre 1, 2, 4 y 8 meses previos al evento de reclutamiento, con el fin de determinar cuales variables explican mejor las variaciones de abundancia de los reclutas de *F. duorarum* en el Banco de Campeche. La información ambiental fue proporcionada por la Subdirección General Técnica de Aguas Superficiales e ingenieros de Ríos de la Comisión Nacional del Agua.

Los modelos descriptivos basados en la información mensual de las variables ambientales que se emplearon para explicar la abundancia de reclutas, fueron los siguientes:

#### Modelo 1

Si R es una función compuesta de n variables con dominio en IR, tal que  $R(S, X_1, X_2, \dots, X_n)$ , para todo X en IR, el modelo de regresión lineal de R es:

$$R = \alpha + \beta_1 S_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_2 + \beta_4 X_3 + \dots + \beta_n X_n$$

Donde:

R es el índice de reclutamiento.

S es el índice de la población reproductora.

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \dots, \beta_n$  son los parámetros de regresión.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  son los predictores o información mensual de las variables ambientales.

## Modelo 2

Ricker (1975) afirmó que el efecto de los factores ambientales sobre el nivel de reclutamiento es más bien multiplicativo que aditivo; por lo cual, para introducir el efecto multiplicativo en un modelo de regresión lineal múltiple, es necesario emplear el logaritmo natural de los efectos observados. La transformación logarítmica presenta una ventaja adicional, hace que la variabilidad de los reclutas producidos presente un comportamiento homoscedástico ante los diferentes valores observados de los efectos ambientales; sin embargo, para que tal transformación sea válida, es necesario que ningún valor esperado de reclutamiento (calculado a partir de la transformación logarítmica) sea mayor o igual a la media aritmética (MA) de los valores observados de reclutamiento.

Con base en lo anterior y a partir de la linearización del modelo de Ricker (1954, 1958), se adicionó el logaritmo natural de las descargas de los ríos ( $10^3 \text{ m}^3$ ) y la precipitación pluvial (mm), para crear el modelo 2 de la siguiente manera:

Si  $g$  es una función compuesta del logaritmo natural de  $n$  variables, tal que  $g(\ln X_1, \ln X_2, \dots, \ln X_n)$ , para todo  $X > 0$ , entonces  $g(X) = \ln X_1 + \ln X_2 + \dots + \ln X_n$ . El modelo de regresión no lineal expresado para la tasa de reclutamiento ( $R/S$ ), se obtiene al sumar  $g(X)$  y el modelo linealizado de Ricker (1954, 1958), quedando de la siguiente manera:

$$\ln (R/S) = \ln (\alpha) - \beta_1 S + \beta_2 \ln (X_1) + \beta_3 \ln (X_2) + \beta_4 \ln (X_3) + \dots + \beta_n \ln (X_n)$$

Donde:

$\ln (R/S)$  es la variable dependiente del modelo linealizado de Ricker (1954, 1958).

S es el índice de la población reproductora.

$\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \dots, \beta_n$  son los parámetros de regresión.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  son los predictores o información mensual de las variables ambientales.

Con base en la relación entre la media geométrica (MG) y media aritmética (AM) establecida por Ricker (1975), se ajustaron los valores esperados de reclutamiento del modelo 2 mediante la siguiente relación:

$$\ln (AM/AG) = (0.2172 * r^2 * (N - 1)) / N$$

Donde:

$r^2$  es el coeficiente de determinación del análisis de regresión lineal.

N Es el número de términos de la serie de reclutamiento.

El grupo de variables ambientales incluidas en ambos modelos fueron las siguientes:

- R - FR: descargas de los ríos durante el evento de reclutamiento.
- LL - FR: lluvias durante el evento de reclutamiento.
- R1A : descargas de los ríos un mes previo al evento de reclutamiento.
- LL1A : lluvias un mes previo al evento de reclutamiento.
- R2A : descargas de los ríos dos meses previos al evento de reclutamiento.
- LL2A : lluvias dos meses previos al evento de reclutamiento.
- R4A : descargas de los ríos cuatro meses previos al evento de reclutamiento.
- LL4A : lluvias cuatro meses previos al evento de reclutamiento.
- R8A : descargas de los ríos ocho meses previos al evento de reclutamiento.
- LL8A : lluvias ocho meses previos al evento de reclutamiento.

### Modelo de Reclutamiento - Stock (R-S)

El efecto de la mortalidad por pesca sobre la abundancia de reproductores de *F. duorarum* que sobrevivieron 8 meses después del reclutamiento en cada una de las 22 cohortes principales, se estableció mediante la relación Reclutamiento - Stock. Las líneas de ajuste correspondientes a diferentes niveles de explotación, se obtuvieron a partir del análisis de regresión lineal entre los índices de reclutamiento y de la población reproductora, a las cuales se asocian las tasas de mortalidad por pesca calculadas en el análisis de población virtual. El porcentaje de mortalidad por pesca al que se sometió la abundancia de reproductores durante el período 1974 - 1989, se estimó con base en la siguiente relación:

$$\% \text{ de mortalidad por pesca} = \text{EXP}^{-F}$$

Donde: F es el promedio de la tasa de mortalidad por pesca en cada una de las líneas de ajuste.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Mortalidad natural y total

Los parámetros críticos de mortalidad son muy difíciles de obtener en dinámica de poblaciones, en particular lo concerniente a la mortalidad natural y a los sesgos que afectan su estimación (Hilborn y Walters, 1992). Resulta difícil llegar a una estimación precisa del coeficiente M; sin embargo, es indispensable tener estimaciones de este parámetro, ya que es un dato de entrada en el análisis de población virtual y básico en el desarrollo de modelos poblacionales (Pereiro, 1982). Contar con más de una estimación del parámetro M por diferentes métodos, ayuda a la adecuada selección del valor de la tasa de mortalidad natural, sin embargo, las consideraciones prácticas de tiempo y recursos disponibles interfieren en la estimación de este parámetro (Vetters, 1988).

Al aplicar el método de Taylor (1958a) con base en los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ,  $t_0$  y  $k$  de acuerdo a la curva de Von Bertalanffy (1938) reportados por Gracia en 1995, el valor mensual del coeficiente M y de la longevidad máxima que alcanzan los reproductores de *F. duorarum* es  $M = 0.22$  mensual y  $A_{0.95} = 14$  meses, respectivamente.

El valor mensual de la mortalidad total al aplicar el modelo de Robson y Chapman (1961) en la población de *F. duorarum*, fue de  $Z = 0.20$ .

La tabla 2 muestra el resultado de mortalidad natural obtenido mediante el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961) para la población de *F. duorarum*. Siguiendo el procedimiento de Berry (1967) se identificaron 23 intervalos cortos de tiempo, en los cuales existe un descenso en la CPUEn (fig.4). Las estimaciones de Z para los 23 segmentos fluctuaron entre 0.06 y 0.54 durante el período 1974 - 1989.

**TABLA 2**  
Estimación de la mortalidad natural (M) en la población de *F. duorarum* por el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961)

MÉTODO	M	q	r
Berry (1967) y Paloheimo (1961)	0.25	0.000003	0.6545

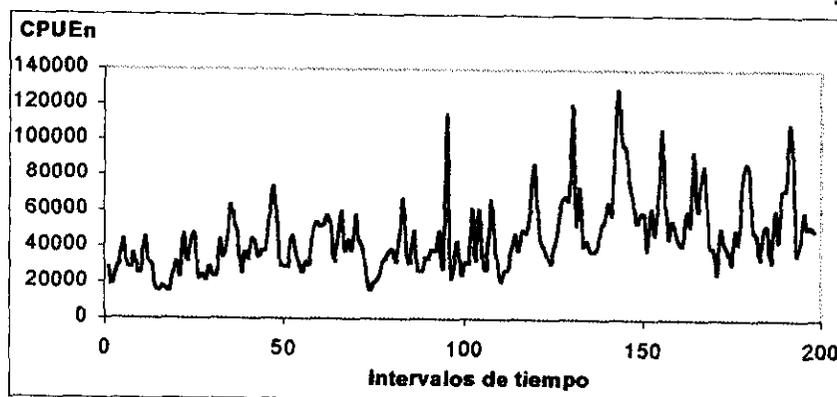


Fig. 4 Fluctuaciones de la CPUEn y del esfuerzo de pesca encontrados durante en periodo 1974 - 1989

El análisis de regresión del modelo de Berry (1967) y Paloheimo (1961) indicó que la variación total explicada fue de 42.85 % con un valor de correlación de  $r = 0.65$  y  $p = 0.03$ . El grado de asociación entre la variable dependiente Z y la variable independiente (f) fue de 65.46%, que indica un buen grado de asociación. El método de Berry para determinar Z en cada uno de los intervalos cortos de tiempo en la población de *F. duorarum*, así mismo, el método Paloheimo (1961) son estadísticamente válidos.

El coeficiente de mortalidad Z que se obtuvo mediante el método de Beverton y Holt (1957) se indica en la tabla 3.

TABLA 3

Estimación de la mortalidad total (Z) en la población de *F. duorarum* por el método de Beverton y Holt (1957)

MÉTODO	Z
Beverton y Holt (1957)	0.25

La estimación de los coeficientes de mortalidad en crustáceos, moluscos y otros invertebrados marinos resulta ser complicada, especialmente cuando se emplean aquellos modelos que toman en cuenta la composición de edad, talla promedio y madurez sexual (FAO, 1992). Por ejemplo, el modelo de Beverton y Holt (1957) perteneciente a esta categoría subestimó el valor del coeficiente de mortalidad total, ya que es menor en comparación con los valores de Z obtenidos con base en el modelo combinado de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961); por otro lado, la estimación de Z es exactamente igual al valor de M que se obtuvo mediante el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961).

El modelo de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) permitió dar una idea preliminar de la magnitud de Z, aunque no es recomendable utilizar el modelo en el caso de los peneidos, por la dificultad que existe en la estimación de su crecimiento.

Los coeficientes de mortalidad por año normal y por año biológico obtenidos mediante el método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961), son presentados en la tabla 4.

TABLA 4

Estimación de la mortalidad total (Z) y natural (M) en la población de *F. duorarum* por el método de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961)

EDAD	Z	M	q	r
<b>Año normal</b>				
Edad 3	0.44	0.04	0.000007	0.3977
Edad 4		0.19	0.00002	0.4397
Edad 5		0.48	0.00003	0.7486
Edad 6		0.87	0.00003	0.7513
<b>Año biológico</b>				
Edad 3	0.49	0.03	0.000002	0.1009
Edad 4		0.21	0.00002	0.5587
Edad 5		0.52	0.002	0.6568
Edad 6		0.92	0.00003	0.6652

Por año normal, con el método de Beverton y Holt (1957) se estimó un valor de mortalidad total de 0.44 mensual. Las correlaciones más altas obtenidas mediante el método de Paloheimo (1961) pertenecen a las edades 5 y 6, el valor de la mortalidad natural en éstas, superan en 0.04 y 0.43 la tasa de mortalidad total propuesta durante este período. A pesar de la alta correlación encontrada en dichas edades, la mortalidad natural resultó ser demasiado grande para ser tomada en cuenta. El valor más bajo de correlación pertenece a la edad 3, la cual se consideró parcialmente reclutada a la

pesquería. La mortalidad natural estimada en la edad 4 fue de  $M = 0.19$  mensual, además de no superar la mortalidad total propuesta en este período, se aproxima al valor de  $M$  obtenido por el método Berry (1967) y Paloheimo (1961). Los resultados por año normal indican que el reclutamiento a la pesquería, se efectúa cuando los organismos han alcanzado 4 meses de edad.

Por año biológico, se estimó un valor de mortalidad total de 0.49 mensual, nuevamente, las correlaciones más altas obtenidas mediante el método Paloheimo (1961) pertenecen a las edades 5 y 6, el valor de la mortalidad natural en éstas, superan en 0.03 y 0.43 la tasa de mortalidad total propuesta durante este período. A pesar de la alta correlación encontrada en dichas edades, la mortalidad natural resultó ser demasiado grande para ser tomada en cuenta. El valor más bajo de correlación pertenece a la edad 3, la cual como en el análisis por año normal, se consideró parcialmente reclutada a la pesquería. La mortalidad natural estimada en la edad 4 fue de  $M = 0.21$  mensual, además de no superar la mortalidad total propuesta en este período, se aproxima más al valor de  $M$  que se obtuvo mediante el método de Taylor (1958a), y al obtenido por el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961). Los resultados por año biológico también sugieren que, el reclutamiento a la pesquería se efectúa cuando los organismos han alcanzado 4 meses de edad.

Las estimaciones del coeficiente de mortalidad natural obtenidas mediante los métodos basados en la CPUE, indicaron que el valor de  $M$  para la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche se encuentra dentro del intervalo [0.19 - 0.25]. Sin embargo, durante el período en estudio, Gracia en 1995 sugirió un valor de mortalidad natural de  $M = 0.27$  mensual durante la etapa adulta en la población de *F. duorarum* empleando el modelo de Pauly (1980). No obstante, al aplicar el método de Taylor (1958a) con base en los parámetros de crecimiento  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$ ,  $t_0$  y  $k$  reportados por dicho autor, el valor de coeficiente de mortalidad natural se redujo a  $M = 0.22$  mensual; lo cual confirma, que en dicho período, el coeficiente de mortalidad natural no puede exceder el valor de  $M = 0.25$  mensual, por lo que el coeficiente de mortalidad natural en la población de *F. duorarum* se encuentra realmente dentro del intervalo [0.22 - 0.25]. Cabe destacar, que FAO en 1987 empleando el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961), obtuvo un valor de  $M = 0.24$  mensual para la población de *F. duorarum* en la Florida.

Con base en lo anterior, y a partir de los resultados obtenidos con el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961), se propone que  $M = 0.25$  mensual es un valor confiable de la tasa de mortalidad natural para la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche durante el período 1974 - 1989. Tomando en cuenta este valor de mortalidad natural y los resultados obtenidos mediante los modelos de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) por año biológico, la edad de reclutamiento y la tasa de mortalidad total que se proponen en este trabajo son:  $tp' = 4$  meses y  $Z = 0.49$  mensual, respectivamente.

Los resultados de mortalidad indican que los métodos basados en la CPUE son más confiables para estimar las tasas de mortalidad total y natural, que los métodos basados en el crecimiento. Finalmente, el modelo de Robson y Chapman (1961) que supone a la tasa de mortalidad total y al esfuerzo de pesca constantes a lo largo de todo el período en estudio, resultó ser impreciso en la población de *F.*

*duorarum*, ya que al ser una especie altamente explotada, el esfuerzo de pesca y la mortalidad total variaron sensiblemente como se muestra en los 23 intervalos cortos de tiempo (fig. 4).

### Mortalidad por pesca

La mortalidad media por pesca en la población de *F. duorarum* por grupos de edad durante el período 1974 - 1989, se estimó con base en la información obtenida mediante el análisis de población virtual. La mortalidad debida a la explotación pesquera no es constante, y presenta un incremento sostenido desde la edad de reclutamiento con un valor de  $F = 0.14$  hasta los 6 meses de edad, cuando se manifiesta el valor máximo de mortalidad por pesca (fig. 5). El efecto de la pesca posterior a la edad 6 se mantiene en niveles altos (0.34 - 0.43) con pequeñas variaciones en el valor de  $F$ . La edad terminal presenta un valor de mortalidad similar a la edad de 15 meses, pero es baja en comparación con las registradas para las edades de 7 a 14 meses.

De acuerdo con estas cifras, el esfuerzo de pesca al que están sometidos los reclutas de *F. duorarum* por la pesquería de alta mar es menor (0.14), en comparación con el que se ejerce sobre los organismos reproductores a partir de la edad de 8 meses (0.43) y hasta la edad de 16 meses (0.18), ya que la pesquería industrial opera principalmente sobre los organismos adultos mayores a 8 meses.

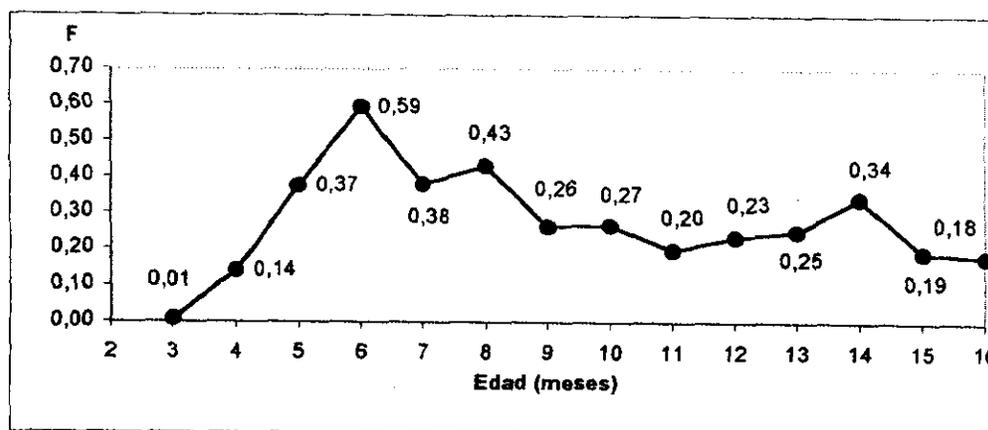


Fig. 5 Mortalidad por pesca (F) media mensual por edad en *F. duorarum* durante el período 1974 - 1989

Los estudios ecológicos y pesqueros del camarón blanco *Penaeus setiferus* realizados por Gracia (1989a) en la Sonda de Campeche, indicaron que el esfuerzo de pesca al que están sometidos los reclutas por la pesquería de altamar es menor (0.012) en comparación con los reclutas de *F. duorarum* (0.14). La mortalidad máxima por pesca en *P. setiferus* se encontró a la edad de 9 meses; el efecto de la pesca posterior a esta edad y hasta la edad de 15 meses, presentó niveles de mortalidad por pesca más altos (0.355 - 0.464) que los encontrados en la población de *F. duorarum*. Con base en este análisis, el grupo de organismos de edad 6 meses en la población del camarón rosado presentó la tasa de mortalidad por pesca más alta, lo cual significa que esta población está fuertemente explotada antes de que los organismos lleguen a la edad de primera maduración, afectando por tanto, el nivel de reclutamiento a la población adulta.

El análisis de mortalidad presentado en este trabajo es una aplicación refinada de algunos modelos tradicionales. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que los métodos para estimar los coeficientes de mortalidad en las poblaciones explotadas, dependen en gran medida de diferentes variables del ecosistema (variaciones estacionales y cíclicas en los parámetros ambientales, fluctuaciones en la abundancia de depredadores, cambios poblacionales en los patrones de distribución, agregación y migración, etc.), y de la forma de explotación a que está sujeta la población; por lo que el problema hacia una estimación exacta de la tasa de mortalidad natural en las poblaciones explotadas aún está latente (Vetter, 1988).

### Modelos de Stock - Reclutamiento

La relación stock - reclutamiento en la población de *F. duorarum* se obtuvo para un período mensual, a partir de las estimaciones de abundancia (por grupo de edad) obtenidas mediante el análisis de población virtual. La existencia del reclutamiento continuo acompañado de las variaciones ambientales, no permitió definir una relación stock - reclutamiento durante dicho período (fig. 6).

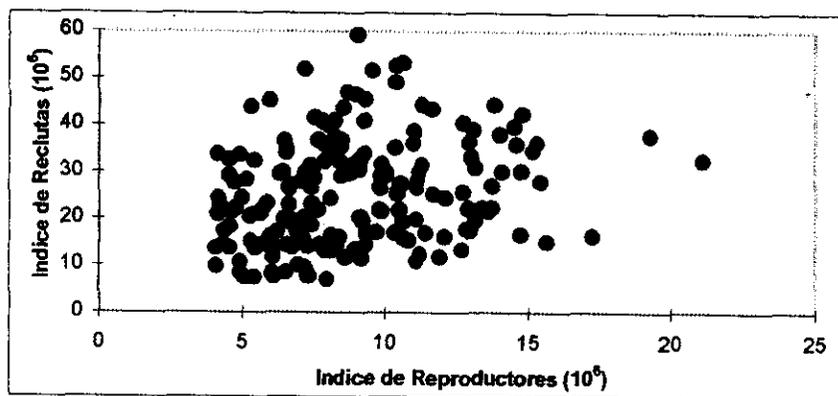


Fig. 6 Análisis mensual de la relación S-R en la población de *F. duorarum*

Un segundo análisis de la relación stock - reclutamiento se realizó considerando la abundancia promedio del camarón rosado por años biológicos. Los ajustes a las curvas de Ricker (1954, 1958) y Beverton y Holt (1954) no alcanzaron valores estadísticamente significativos, con valores de  $r = 0.20$ ,  $p = 0.2$  y  $r = 0.30$ ,  $p = 0.10$ , respectivamente. En los intervalos de abundancia promedio por año biológico, el índice de la población reproductora y el índice de reclutas presentaron un comportamiento casi lineal (fig. 7). El ajuste lineal, aún cuando resultó en una mayor correlación ( $r = 0.60$ ), no presentó niveles significativos, ya que  $p = 0.12$ . La relación S-R por años biológicos no es clara; en este respecto, García (1983) señala que el comportamiento aparentemente lineal en los camarones peneidos se deriva de los efectos combinados de las variaciones ambientales, junto con el período corto de vida de estos organismos, con lo cual se crean sesgos en la relación S-R.

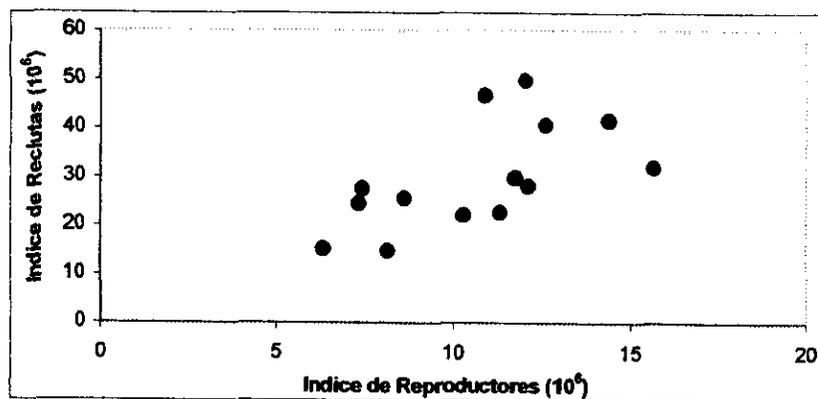


Fig.7 Relación S-R en los intervalos de abundancia promedio del camarón rosado por años biológicos

De acuerdo con el procedimiento propuesto por Gracia (1991), la relación stock - reclutamiento en la población de *F. duorarum* se analizó con base en las generaciones anuales de reclutamiento más importantes, para atenuar la variabilidad presente en el reclutamiento mensual y por año biológico (fig. 8).

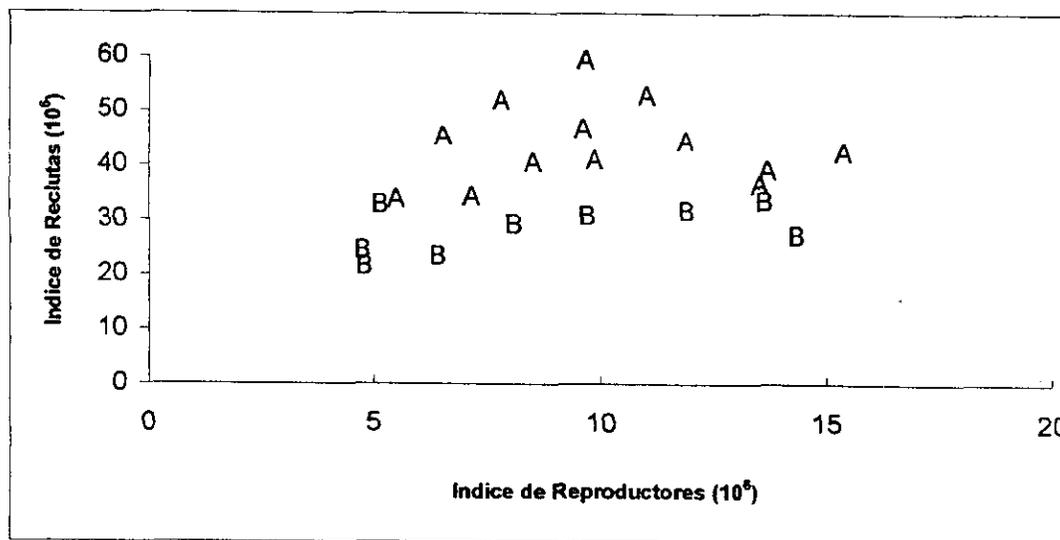


Fig.8 Relación S-R con base en las generaciones anuales de reclutamiento más importantes más durante el período 1974 -1989. A: cohortes de la generación principal, B: cohortes de la segunda generación.

Se identificaron 22 cohortes importantes que fueron separadas en periodos de alta y baja abundancia en función de los reclutas, 13 de éstas quedan comprendidas durante el período de mayor reclutamiento o cohortes de la generación principal (A), y 9 están dentro del periodo de baja abundancia de reclutas o cohortes de la segunda generación (B) (tablas 5a y 5b). El intervalo de variación del tamaño de la población reproductora en las cohortes de ambos periodos (A y B) es muy similar, mientras que el índice de reclutamiento obtenido estuvo perfectamente delimitado para cada período, mostrando sobreposición en sólo dos puntos. Es claro que los puntos de la cohorte de la segunda generación (B) tienden a encontrarse en niveles bajos de reclutamiento, en contraste con los puntos de la generación principal (A) que presentaron mayor variación y registraron los valores más altos.

El análisis de las generaciones anuales de reclutamiento más importantes para la población de *F. duorarum*, presentó un comportamiento no lineal en los intervalos de abundancia observados con un valor de  $r = 0.40$ . La relación stock - reclutamiento para los períodos de alta y baja abundancia mostró un ajuste a la curva de Ricker (1954, 1958) estadísticamente significativo, con un valor de correlación de  $r = 0.90$ ,  $p = 0.01$  y  $r = 0.94$ ,  $p = 0.02$ , respectivamente (fig. 9). En ambos casos, la relación stock - reclutamiento es clara y las ecuaciones que las describen se muestran en la tabla 6.

TABLA 5a

Índice de reclutamiento (R) y de la población reproductora (S) para el período de baja abundancia del *F. duorarum* en el Banco de Campeche

FECHA	S (10 <sup>6</sup> )	R (10 <sup>6</sup> )	FECHA
dic-80	13.74	27.02	abr-81
mar-82	11.30	31.54	jul-82
mar-81	9.11	30.59	jul-81
ene-80	7.50	29.12	may-80
jun-87	5.85	23.31	oct-87
jun-89	4.20	21.49	oct-89
jun-88	4.16	24.37	oct-88
abr-74	13.02	33.28	ago-74
jun-83	4.55	32.65	oct-83

TABLA 5b

Índice de reclutamiento (R) y de la población reproductora (S) para el período de alta abundancia del *F. duorarum* en el Banco de Campeche

FECHA	S (10 <sup>6</sup> )	R (10 <sup>6</sup> )	FECHA
abr-79	14.78	42.25	ago-79
dic-76	13.09	39.01	abr-77
ene-79	11.27	44.30	may-79
jul-76	10.42	52.67	nov-76
may-75	9.28	40.83	sep-75
jun-77	9.06	59.25	oct-77
mar-76	9.01	46.49	jul-76
may-80	7.93	40.38	sep-80
jun-78	7.22	51.85	oct-78
jun-85	5.96	45.17	oct-85
dic-77	12.93	36.41	abr-78
jun-86	6.57	34.08	oct-86
abr-84	4.93	33.58	ago-84

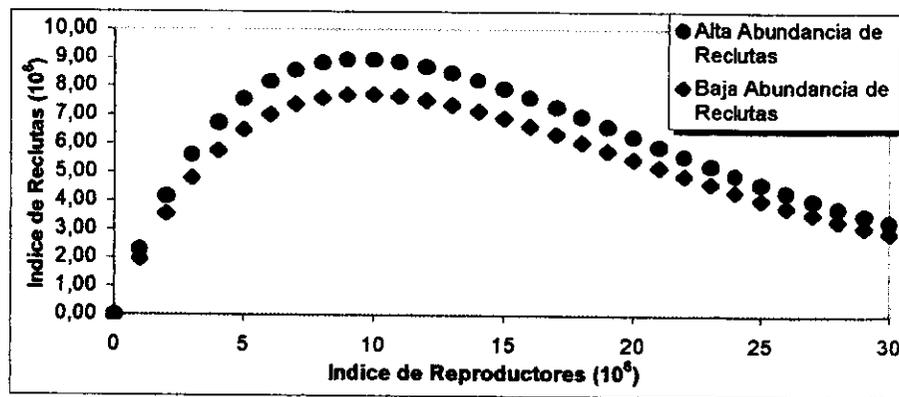


Fig. 9 Ajustes a la curva de Ricker (1954,1958) para las cohortes de la generación principal (A) y las cohortes de la segunda generación (B)

TABLA 6

Ecuaciones de la relación Stock - Reclutamiento de *F. duorarum* en los períodos de alta y baja abundancia

PERÍODO	ECUACIÓN	r
Alta	$R = 2.55 * S * \exp(-0.15 * S)$	0.90
Baja	$R = 2.17 * S * \exp(-0.10 * S)$	0.94

Influencia de los factores ambientales sobre la relación Stock - Reclutamiento con base en las generaciones anuales de reclutamiento más importantes en la población de *F. duorarum*

Los resultados del análisis de correlación simple y de regresión lineal paso a paso en cada uno de los modelos propuestos para explicar la influencia de los factores ambientales sobre la relación Stock - Reclutamiento en la población de *F. duorarum*, se describen a continuación:

El análisis de regresión múltiple del modelo 1 indicó que la variación total explicada en la abundancia de reclutas en términos de las variables seleccionadas (R4A, LL2A, LL1A y SX1), fue de 54.99% con un valor de correlación múltiple de  $r = 0.74$ . La varianza explicada se incrementó hasta 18.24% en el primer paso al adicionar el predictor R4A. La contribución parcial de los predictores LL2A, LL1A y SX1 para explicar la variación en la abundancia de reclutas, resultó de 6.02, 25.63, 5.08%, respectivamente. A partir de estos resultados, el tamaño del stock reproductor es la variable que presenta la correlación parcial más baja ( $r = 0.31$ ) e incrementa en menor grado la variación total explicada. La ecuación de ajuste final del modelo 1 (tabla 7) presentó un valor de correlación múltiple significativo, sin embargo, en el análisis de normalidad, los valores observados y esperados de reclutamiento mostraron una gran desviación sobre la distribución normal (fig. 10), por lo que el error no aparece constante sobre el intervalo de las variables seleccionadas.

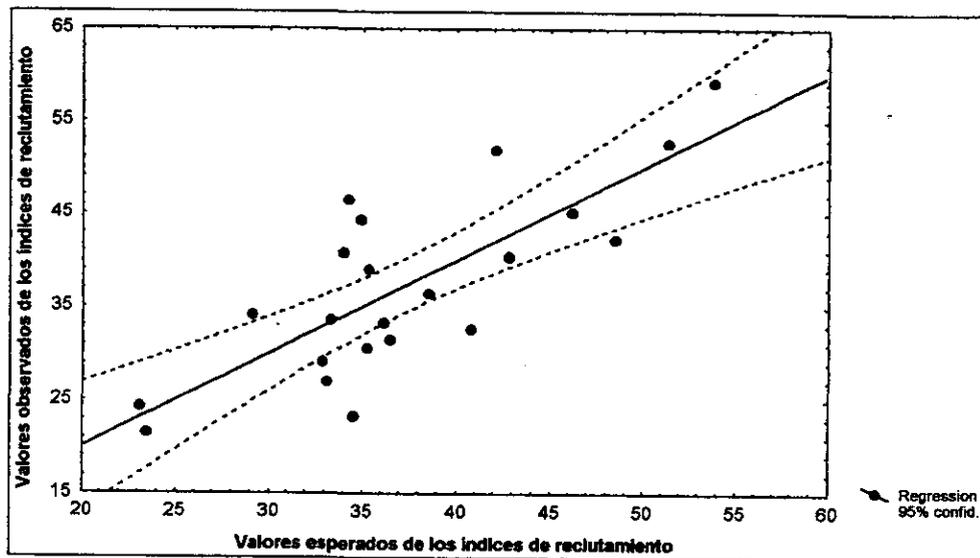


Fig. 10 Normalidad entre los valores de reclutamiento observado y esperados del modelo 1

El análisis de regresión múltiple del modelo 2 indicó que, la variación total explicada sobre la variable dependiente del modelo de Ricker (1954, 1958) en términos de los predictores seleccionados (S, R1A y LL2A), fue de 76.06% con un valor de correlación múltiple de  $r = 0.87$ . La varianza explicada se incrementó hasta 64.95% en el primer paso al adicionar el tamaño del stock reproductor, la contribución parcial de los predictores R1A y LL2A para explicar la variable dependiente del modelo resultó de 7.04 y 4.07%, respectivamente. La ecuación de ajuste final del modelo 2 (tabla 7) presentó un valor de correlación múltiple significativo; el análisis de normalidad entre los valores observados y esperados de reclutamiento (fig. 11) mostró poca desviación sobre la distribución normal, por lo que el error aparece más constante sobre el intervalo de las variables seleccionadas.

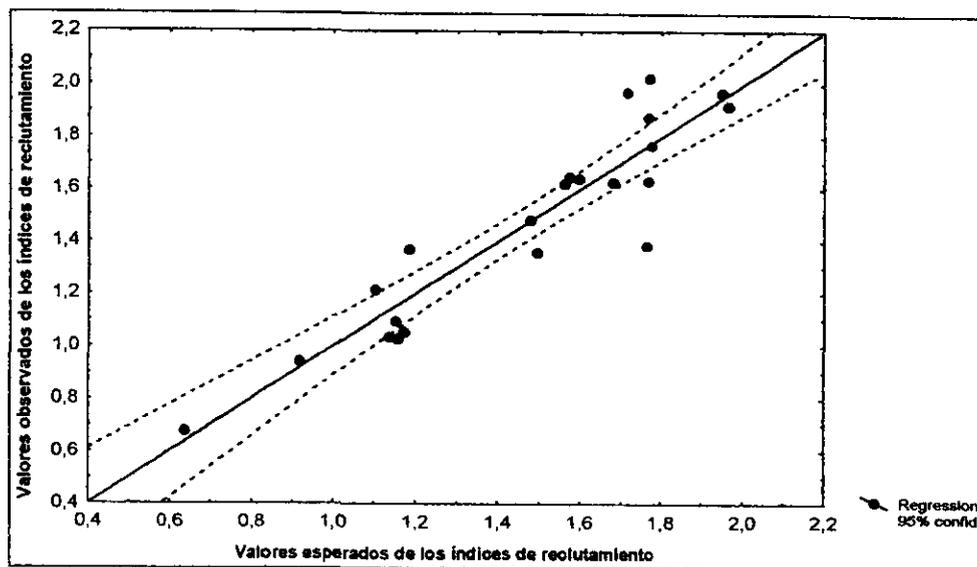


Fig. 11 Normalidad entre los valores de reclutamiento observado y esperados del modelo 2

Dentro de las variables examinadas mediante el análisis de regresión múltiple del modelo 2, el tamaño del stock reproductor es la variable que presenta la correlación parcial más alta ( $r = -0.80$ ) e incrementa en mayor grado la variación total explicada. El valor de correlación parcial de R1A ( $r = 0.71$ ) indicó que la descarga fluvial es la segunda variable de mayor influencia en la variación de reclutas de *F. duorarum* en el Banco de Campeche.

TABLA 7

Modelos de regresión múltiple basados en la información mensual de las variables ambientales para explicar la variación en la abundancia de reclutas

MODELO	ECUACIÓN	r
1	$R = 14.96 + 0.522 R4A + 1.768 LL2A - 1.425 LL1A + 0.279 S$	0.74
2	$LN(R/S) = LN(0.664) - 0.675 * S + 0.599 LN(R1A) + 1.754 LN(LL2A)$	0.87

Los resultados finales de regresión y de normalidad indicaron que la ecuación de ajuste que explicó mejor la variación en la abundancia de reclutas a partir del tamaño del stock reproductor, así como la información mensual de las variables ambientales proviene del modelo 2 y quedó simplificada de la siguiente manera:

$$R = 0.664 * S * (EXP^{-0.675 * S}) * (R1A)^{0.599} * (LL2A)^{1.754}$$

Donde:

R es el índice de reclutamiento.

S es el índice de la población reproductora.

R1A : descargas de los ríos un mes previo al evento de reclutamiento.

LL2A : lluvias dos meses previos al evento de reclutamiento.

0.664, -0.675, 0.599 y 1.754 son los parámetros de regresión.

La relación stock - reclutamiento determinada por la expresión simplificada del modelo 2 sobre los períodos definidos como de alta y baja abundancia de reclutas (fig. 12), contempla un ajuste a los valores esperados de reclutamiento. El factor obtenido con base en la relación entre la media geométrica (MG) y media aritmética (MA) establecida por Ricker (1975) fue de  $MA/MG = 1.17$ .

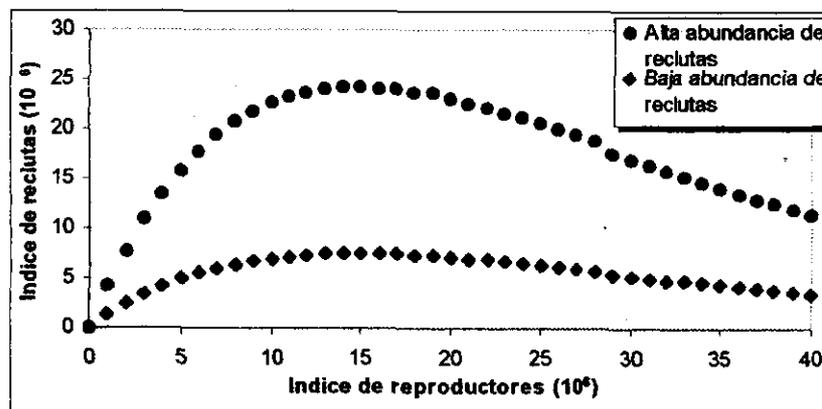


Fig. 12 Relación S-R determinada por la expresión simplificada del modelo 2

El intervalo de variación del máximo reclutamiento ( $R_{\text{máx}}$ ) limita un espacio representado en la figura 12 por una familia de curvas, que incluyen el efecto (registros más altos y más bajos) de la descarga total y de la precipitación pluvial. El reclutamiento se encuentra perfectamente definido para un cierto nivel de reproductores, con un valor de  $23 \times 10^6$  reclutas para el período de alta abundancia y  $7 \times 10^6$  reclutas para el período de baja abundancia.

Los resultados indicaron que cuando las condiciones son más favorables (aumento en la descarga fluvial y precipitación pluvial, disponibilidad de espacio, aporte de nutrientes, etc.), generalmente la respuesta de la población fue más alta en el nivel de reclutamiento como se aprecia relacionando las figuras 13 y 14. Esto demuestra que en las cohortes de la segunda generación, las descargas fluviales en el momento del desove no alcanzaron valores adecuados como los registrados durante el desove correspondiente al período de mayor reclutamiento; por tal motivo, los niveles de reclutamiento encontrados en la segunda generación, aún cuando son altos, no superaron los niveles de reclutamiento de la generación principal durante un período anual.

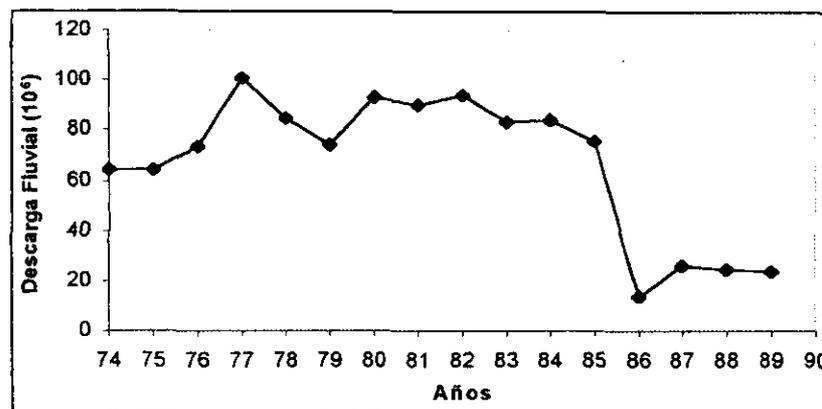


Fig. 13 Tendencia de la descarga fluvial durante el período 1974 - 1989

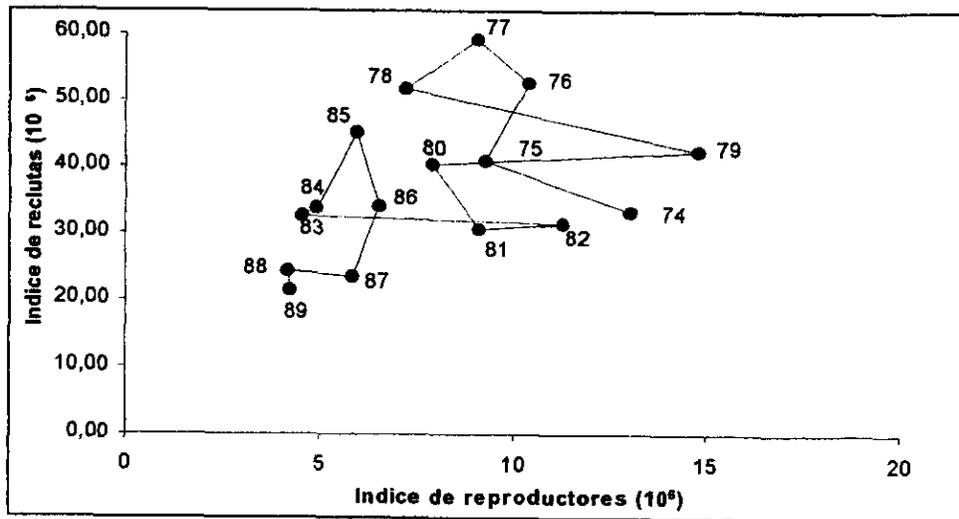


Fig. 14 Repuestas en el nivel de reclutamiento a los máximos y mínimos de la descarga fluvial durante el período 1974 - 1989

El valor de correlación parcial de LL2A ( $r = 0.51$ ) indicó que la precipitación pluvial es la tercera variable que influye aunque en menor grado, en la variación de reclutas de *F. duorarum* en el Banco de Campeche. García del Real (1990) destacó a la precipitación pluvial como el principal factor ambiental que influye en la densidad de postlarvas de camarón rosado dentro de la Laguna de Términos.

La descarga de los ríos tuvo una influencia positiva sobre el nivel de reclutamiento, según lo indicó el signo de la pendiente de R1A en la ecuación simplificada del modelo 2. El efecto positivo como negativo del aporte fluvial en las capturas de peneidos se ha señalado anteriormente por diferentes autores (Ruello, 1973; García y Le Reste, 1986; Gracia, 1989b). Este último autor sugirió la existencia de una correlación positiva 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.

García y Le Reste (1986) señalaron que los incrementos anormales en la descarga fluvial a largo plazo, tienen un efecto negativo en el nivel de producción de camarón a causa de las limitaciones de tipo osmoregulatorias que imponen en los estuarios. Sin embargo, Ruello (1973) indicó que en periodos cortos de tiempo, el efecto puede ser positivo debido a que la disminución gradual en la salinidad estimula la emigración de los juveniles hacia el ambiente marino. Cruz-Orozco y Ley-Lou (1980) describió que el efecto principal de la descarga fluvial puede ser a través del aporte de minerales y materia orgánica al sistema. Browder y Moore (1981) propusieron que el flujo del agua dulce a los estuarios puede influenciar la producción pesquera a través de la reducción o aumento en la salinidad, temperatura, transparencia, mezclado, transporte de nutrientes, disponibilidad de espacio y alimento. Penn y Caputi (1985, 1986), señalaron que la turbidez provocada por las descargas fluviales incrementa la supervivencia de reclutas en el ambiente marino al disminuir la tasa de mortalidad por depredación.

El tratamiento aplicado a los datos sugirió a las descargas fluviales como el factor ambiental más importante entre los aquí examinados, para explicar la relación stock - reclutamiento durante el período 1974 - 1989 en la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche. El mecanismo de influencia de la descarga fluvial a corto plazo en los períodos de alta y baja abundancia, puede estar relacionado con el descrito por García y Le Reste en 1986 y Ruello en 1973. Por otro lado, García y Le Reste (1986) señalaron que los parámetros climatológicos empleados en este trabajo (la descarga de ríos y la precipitación pluvial) pueden incidir o estar relacionados con muchos otros parámetros factibles de influenciar la producción biológica en las poblaciones de peneidos.

Cabe hacer notar que la multicolinealidad entre las variables examinadas se eliminó al desglosar el efecto por separado de los factores ambientales a partir del análisis de correlación simple. Por último, es conveniente resaltar que el número de años examinados es comparativamente pequeño si se pretende examinar fluctuaciones a largo plazo. Sin embargo, la relación S-R establecida con base en el modelo 2 puede considerarse útil para los objetivos de este trabajo y como una herramienta en el manejo del camarón rosado *F. duorarum* en el Banco de Campeche.

#### Modelo de Reclutamiento - Stock

La variación total explicada del modelo lineal entre los índices de reclutamiento y de la población reproductora que sobrevivió 8 meses más tarde, fue de 85.17% con un valor de correlación de  $r = 0.9228$ , y  $0.001 > p > 0.05$ .

La figura 15 muestra la relación Reclutamiento - Stock y las líneas de ajuste obtenidas a partir del análisis de regresión lineal entre los índices de reclutamiento y de la población reproductora. El porcentaje de mortalidad por pesca que se obtuvo en los ajustes lineales superior e inferior fue de 30 y 60%, respectivamente. La dispersión de los puntos asociados a la tasa de mortalidad por pesca alrededor de las líneas de ajuste, concuerda con evolución del esfuerzo de pesca durante el período 1974 - 1989 (tabla 8).

Los resultados del modelo R-S indicaron que la abundancia de reproductores en la población de *F. duorarum* disminuyó a causa de la mortalidad por pesca (comparativamente alta) ejercida sobre los reclutas ( $F = 0.14$ ) y los organismos que han alcanzado 6 meses de edad ( $F = 0.59$ ); este efecto impide que una fracción de la población no alcance la edad de primera maduración, de acuerdo con esto, se puede inferir que en cada una de las 22 cohortes importantes, el esfuerzo de pesca es la causa más importante que reduce la población de reproductores.

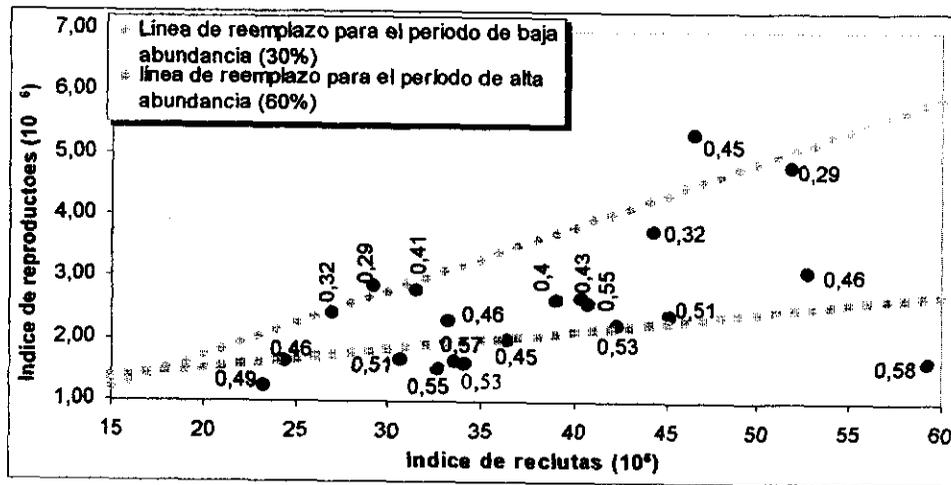


Fig. 15 Relación reclutamiento - stock en la población de *F. duorarum* con respecto a la tasa de mortalidad por pesca sobre las cohortes principales de reclutas - reproductores y tendencia histórica de (F) durante el período 1974 - 1989

TABLA 8

Fechas correspondientes de las tasas de mortalidad por pesca (F) sobre las cohortes principales de reclutas - reproductores durante el período 1974 -1989

FECHA	F
ago - 74	0.46
sep - 75	0.55
jul - 76	0.45
abr - 77	0.40
oct - 77	0.58
oct - 78	0.29
may - 79	0.32
ago - 79	0.53
may - 80	0.29
sep - 80	0.43
jul - 81	0.51
jul - 82	0.41
oct - 83	0.55
ago - 84	0.57
oct - 85	0.51
oct - 86	0.53
oct - 87	0.49
oct - 88	0.46
abr - 81	0.32
abr - 78	0.43
nov - 76	0.46

ESTA TESIS  
 DE LA BIBLIOTECA

## Modelo general de Stock - Reclutamiento

El modelo general de stock - reclutamiento se obtuvo mediante la intersección de los modelos de stock - reclutamiento y reclutamiento - stock. El modelo general de stock - reclutamiento muestra un espacio donde se aprecian diferentes niveles de reclutamiento para un cierto nivel de reproductores de *F. duorarum*, este espacio está limitado por una familia de curvas, que incluyen el efecto (registros más altos y más bajos) de la descarga total y de la precipitación pluvial previos al evento de reclutamiento. Las líneas de reemplazo que interceptan este espacio, corresponden a una situación en que el esfuerzo de pesca es nulo, y a los dos niveles en donde la mortalidad por pesca ocasionó una remoción del 30 y 60% de los reclutas (fig. 16).

Con base en las curvas de producción de Ricker (1975) y los niveles del reclutamiento máximo y mínimo, se estableció un área de alto riesgo (extremo izquierdo sombreado de la figura 16), cuyos niveles de mortalidad por pesca ocasionan una remoción del 33 y 85% de los reclutas; este efecto puede provocar un colapso en la pesquería de camarón rosado, debido a que el nivel de reclutamiento no es suficiente para que la población se recupere de los efectos causados por la mortalidad natural.

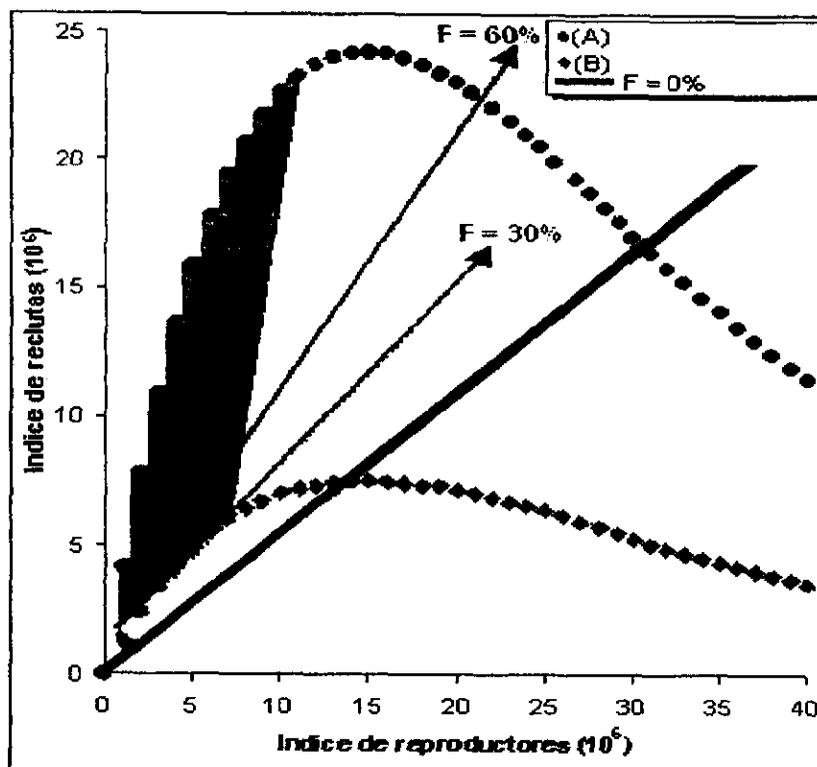


Fig. 16 Modelo general stock - reclutamiento en la población de *F. duorarum*. A: cohortes de generación principal, B: cohortes de la segunda generación.

Como puede apreciarse, las líneas de reemplazo del 60 y 30% de mortalidad por pesca se encontraron muy cercanas a la zona de riesgo. Es indudable que a niveles superiores del 30 y 60% de remoción de los reclutas, el colapso en la pesquería de *F. duorarum* es inminente. Por último, la combinación de los modelos de stock - reclutamiento y reclutamiento - stock permitieron establecer un nivel de predicción

con respecto a los puntos de equilibrio, y estabilidad del reclutamiento a diferentes niveles de mortalidad por pesca en combinación con las repuestas a las variaciones ambientales.

### DISCUSIÓN GENERAL

El modelo General de S-R al igual que muchos otros modelos de predicción (VPA, Rendimiento por Recluta de Beverton y Holt (1957), etc.), es sensible a los cambios en el valor del coeficiente de mortalidad natural. Las evaluaciones de  $M$  obtenidas con base en el método de Berry (1967) y Paloheimo (1961), y de Taylor (1958a) aplicado a los datos de crecimiento reportados por Gracia (1995), sugieren una reducción en el valor de la longitud máxima  $L_{\infty}$  y de la longevidad  $A_{0.95}$  que alcanzan los reproductores de *F. duorarum* en el ambiente marino, lo cual probablemente modifique en cierto grado las estimaciones registradas de los índices de reclutamiento y de la población reproductora durante el período 1974 - 1989.

El análisis de la relación S-R establecida en la población de *F. duorarum* con base en las generaciones principales de reclutamiento más importantes, confirmó la existencia de la relación S-R observada por Gracia (1991) en *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) en el SO del Golfo de México, y Penn y Caputi (1986) en *Penaeus esculentus* del Golfo Exmouth al OESTE Australiano.

Los valores esperados de reclutamiento en la población de *F. duorarum* calculados a partir de la transformación logarítmica con base en la expresión simplificada del modelo 2, cumplió con los supuestos de Ricker (1975), ya que ningún valor esperado de reclutamiento fue mayor o igual a la media aritmética (MA) de los valores observados de reclutamiento. Sin embargo, aún cuando la ecuación de ajuste del modelo 2 explicó mejor la variación en la abundancia de reclutas a partir del tamaño del stock reproductor, los parámetros climatológicos utilizados en este modelo (la descarga de ríos y la precipitación pluvial) pueden incidir o estar relacionados con muchos otros parámetros factibles de influenciar la relación S-R y la producción biológica del camarón rosado en el Banco de Campeche.

El tratamiento aplicado a los datos sugirió a las descargas fluviales como el factor ambiental más importante entre los aquí examinados, para explicar la relación stock - reclutamiento en la población de *F. duorarum*. La descarga de los ríos tuvo una influencia positiva sobre el nivel de reclutamiento, según lo indicó el signo de la pendiente de  $R1A$  en la ecuación simplificada del modelo 2. El efecto positivo de la descarga fluvial del mes previo al evento de reclutamiento, concuerda con el mecanismo de influencia descrito por Ruello en 1973 y Gracia en 1989b.

La combinación de los modelos de stock - reclutamiento y reclutamiento - stock, permitieron establecer un nivel de predicción con respecto a los puntos de equilibrio y estabilidad del reclutamiento a diferentes niveles de mortalidad por pesca, en combinación con las repuestas a las variaciones ambientales. Aunque el modelo general de stock - reclutamiento es capaz de describir el patrón de reclutamiento bajo las condiciones aquí registradas, su capacidad de predicción está limitada por la dificultad que existe en la predicción de las lluvias y las descargas fluviales. Sin embargo, el modelo se consideró útil para los objetivos de este trabajo y como una herramienta en el manejo del camarón rosado *F. duorarum* en el Banco de Campeche.

Por último, es conveniente resaltar que el número de años examinados en este trabajo es comparativamente pequeño si se pretende examinar fluctuaciones de la relación S-R a largo plazo.

### CONCLUSIONES

1.- Se propone que  $M = 0.25$  mensual es un valor confiable de la tasa de mortalidad natural para la población de *F. duorarum* en el Banco de Campeche durante el período 1974 - 1989. Tomando en cuenta este valor de mortalidad natural y los resultados obtenidos mediante los modelos de Beverton y Holt (1957) y Paloheimo (1961) por año biológico, la edad de reclutamiento y la tasa de mortalidad total que se proponen en este trabajo son:  $tp' = 4$  meses y  $Z = 0.49$  mensual, respectivamente.

2.- La mortalidad media por pesca en la población de *F. duorarum* por grupos de edad durante el período 1974 - 1989, no es constante, y presenta un incremento sostenido desde la edad de reclutamiento con un valor de  $F = 0.14$  hasta los 6 meses de edad, cuando se manifiesta el valor máximo de mortalidad por pesca  $F = 0.59$ . Este efecto puede explicarse en parte, debido a la reducción en el valor de la longitud máxima  $L_{\infty}$  y de la longevidad  $A_{0.95}$  que alcanzan los reproductores de *F. duorarum* en el ambiente marino.

3.- No se detectó una relación stock - reclutamiento durante el período mensual, y anual considerando la abundancia promedio del camarón rosado por años biológicos.

4.- El análisis de la relación stock - reclutamiento establecida con base en el método propuesto por Gracia (1991), permitió apreciar una relación S-R real durante los períodos de alta y baja abundancia.

5.- Los resultados finales de regresión y de normalidad en cada uno de los modelos propuestos, indicaron que la ecuación de ajuste del modelo 2 explicó mejor la variación en la abundancia de reclutas a partir del tamaño del stock reproductor, así como la información mensual de las variables ambientales. La descarga fluvial destacó como el factor ambiental más importante entre los aquí examinados, para explicar la relación stock - reclutamiento en la población de *F. duorarum*. Por otro lado, la descarga de los ríos tuvo una influencia positiva sobre el nivel de reclutamiento, según lo indicó el signo de la pendiente del predictor R1A en la ecuación simplificada del modelo 2.

6.- El efecto de los factores ambientales sobre el nivel de reclutamiento en la población de *F. duorarum*, quedó representado por una familia de curvas, que incluyen a los registros de la descarga total y de la precipitación pluvial. Las líneas de reemplazo del 60 y 30% de mortalidad por pesca se encontraron muy cercanas a la zona de riesgo, en donde la mortalidad por pesca ocasiona una remoción de 33 y 85% de los reclutas de *F. duorarum*. (fig. 12 y 16).

7.- La combinación de los modelos de stock - reclutamiento y reclutamiento - stock permitieron establecer un nivel de predicción con respecto a los puntos de

equilibrio, y estabilidad del reclutamiento a diferentes niveles de mortalidad por pesca en combinación con las repuestas a las variaciones ambientales.

---

## LITERATURA CITADA

- ABRAMSON, N. and P. TOMLINSON. 1972. An application of yield models a California ocean shrimp population. *Fish. Bull.* NOAA/NMFS 70(3):1021-41.
- ÁLVAREZ, F., A. GRACIA y L. SOTO, 1987. Crecimiento y mortalidad de las fases del camarón rosado *Penaeus (Farfantepenaeus) duorarum* Burkenroad 1939 en la Laguna de Términos, Campeche, México. *An Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM*, 14(2):207-220.
- BARRETT, B. and C. GILLESPIE. 1975. Enviromental conditions relative to shrimp production in coastal Louisiana. *Tech. Bull. La. Wildl. Fish. Comm.* 15:22.
- BERRY, R. 1967. Dynamic of the tortugas pink shrimp population. Ph. D. Thesis, University of Rhode Island, 160 p.
- BEVERTON, H. and S. HOLT. 1954. Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations. U.S. Fish. Lab. Beaufort, N.C. Misc. Contrib 2: 159 p.
- BEVERTON, H. and S. HOLT. 1957. On the dynamics of exploited fish population. N.Y. Chapman & Hall, 533 p.
- BROWDER, J. and D. MOORE. 1981. A new approach to determining the quantitative relationship between fishery production and flow of fresh water to estuaries. In: Cross, R. y D. Williams (Eds.) *Proceedings of the National Symposium on Freshwater Inflow to estuaries. Vol. 1* U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. FWS/OBS-81/04:403-430.
- CRUZ-OROZCO, R. and 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. *Tercer Reporte, presentado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*, 61 p.
- CUSHIN, H. 1975. Ecología marina y pesquerías. Zaragoza España. ACRIBIA, 252 p.
- FAO. 1987. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. Roma Italia, 180 p.
- FAO. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Roma Italia, 376 p.
- FONTAINE, C. and R. NEAL. 1971. Length-Weight relationships for three commercially important penaeid shrimp of the Gulf of Mexico. *Trans. Amer. Soc.* 3:584-586.
- FUSS, CH. and L. OGREN. 1966. Factors affecting activity and burrowing habits of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Biol. Bull.* 130(2):170-191.

- 
- GARCÍA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (adaptaciones a las condiciones de la República Mexicana). Inst. Geol; Univ. Nal. Auton. México. 246 p.
- GARCÍA, S. 1983. The stock-recruitment relationships in penaeid shrimps: reality or artefacts and misinterpretations. *Oceanogr. Trop.* 18(1):25-48.
- GARCÍA, S. and L. LE RESTE. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO Doc. Téc. Pesca, (203):180 p.
- GARCÍA DEL REAL, 1990. Abundancia de las fases estuarinas del camarón rosado *Penaeus (Farfantepenaeus) duorarum* Burkenroad, 1939, en el área de puerto real, Laguna de Términos, Campeche. Tesis Prof. Fac. de Ciencias. UNAM. México. 90 p.
- GRACIA, A. 1989a. Ecología y pesquería del Camarón Blanco *Penaeus Setiferus* en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis doctoral Fac. de Ciencias, UNAM. México. 127 p.
- GRACIA, A. 1989b. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of Mexico. *An Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM*, 14:171-182.
- GRACIA, A. 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 120:519-527.
- GRACIA, A. 1992. Explotación y manejo del recurso camarón. *Ciencia y Desarrollo*, 18(106):82-95.
- GRACIA, A. 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum*. *Ciencias Marinas*, 21(3):343-359.
- GRACIA, A. and L. SOTO. 1990. Population study of the penaeid shrimp of Términos lagoon, Campeche, México. *An Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM*, 17(2):241-255.
- GULLAND, J. 1964. Manual of methods for fish population analysis. FAO (Food Aric. Organ. U.N.) Fish. Tech. Pap. 40:1-60.
- GULLAND, J. 1971. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. España. ACRIBIA, 164 p.
- GULLAND, J. and B. ROTHSCHILD. 1984. Penaeid shrimps their biology and management. *Fishing News Books Ltd., Farnham G. B.* 308 p.
- GUTIERREZ-ESTRADA, M. y A. CASTRO-DEL RÍO. 1988. Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos, Cap. 5: 89-110. In YAÑEZ-ARANCIBIA, A. y J.W. DAY, Jr. (Eds.) *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* *An Inst. Cienc. del Mar y Limnol., UNAM*, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México.
- HILBORN, J. and H. WALTERS. 1992. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty. N.Y. Chapman & Hall, 570 p.
-

- 
- ORDOÑES, E. 1936. Principal physiographic provinces of Mexico. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 20:1277-1307.
- PALOHEIMO, J. 1961. Studies on estimation of mortalities. I. Comparison of a method described by Beverton and Holt and a new linear formula. *J. Fish. Res. Board Can.* 18:645-662.
- PENN, J. and N. CAPUTI. 1985. Stock recruitment relationship for the tiger prawn (*Penaeus esculentus*) fishery in Exmouth Gulf, Western Australia and their implications for management. In: Rothlisberg, P.C., B. J. Hill and D. J. Staples (Eds.) *Second Australian National Prawn Seminar NPS2*, Cleveland, Qld; 165-173.
- PENN, J. and N. CAPUTI. 1986. Spawning stock-recruitment relationships and environmental influences on the tiger prawn (*Penaeus esculentus*) fishery in Exmouth Gulf, western Australia. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 37:491-505.
- PEREIRO, J. 1982. Dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. *Inf. Tec. España.* 252 p.
- PHLEGER, F. y A. AYALA-CASTAÑARES. 1971. Processes and history of Terminos Lagoon, Mexico. *Am. Assoc. Petr. Geo. Bull.* 55(12):2130-2140.
- POPE, J. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Res. Bull.* 9:65-74.
- RICKER, W. 1954. Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.* 11:559-623.
- RICKER, W. 1958. Maximum sustained yields from fluctuating environments and mixed stocks. *J. Fish. Res. Board Can.* 15:991-1006.
- RICKER, W. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Board Can.* (191):382 p.
- ROBSON, D. and D. CHAPMAN. 1961. Catch curves and mortality rates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90:181-189.
- 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.
- TAYLOR, C. 1958 a. Cod growth and temperature. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 23:366-70.
- VERA-HERRERA, F., J. ROJAS-GALAVIZ, C. FUENTES YACO, L. AYALA PEREZ, H. ALVAREZ-GUILLEN y C. CORONADO MOLINA, 1988. Descripción ecológica del sistema fluvio-lagunar-deltáico del Río Palizada, Cap. 4 In: Yañez-Arancibia, A. y W. Day, Jr. (Eds.) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Ins. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU.* Editorial Universitaria, México, DF.
-

---

VETTER, E. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fish. Bull.* 86(1): 25-43

VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.* 10:181-213.

YOKEL, B. 1969. The migration of juvenile pink shrimp (*P. duorarum*) from a south Florida estuary (1962-1967). *Rep. Rosentiel Sch. Mar. Atmos. Sci., Miami*, (ML 69179) : 41 p.