

COMPARACION DE DOS TECNICAS PARA ESTIMAR MORTALIDAD POR PESCA UTILIZANDO VPA Y SU APLICACION A LA PESQUERIA DEL CAMARON ROSA (*Penaeus duorarum*) DEL BANCO DE CAMPECHE, MEXICO¹

Francisco Arreguín-Sánchez², Julio A. Sánchez², Anita de Alava³ y Omar Defeo^{3,4}

² Programa de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), U.A.C. A.P. 520, 24030 Campeche, Campeche, México.

³ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, 97310 Mérida, Yucatán, México.

⁴ Instituto Nacional de Pesca, Constituyente 1497, C.C. 1612, 11200 Montevideo, República Oriental del Uruguay.

RESUMEN: Se discute la aplicación de dos técnicas para la estimación de la mortalidad por pesca, utilizando el Análisis de Población Virtual (VPA) y datos de composición por longitudes, a la pesquería de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche, México. Ambas suponen un estado de equilibrio de la población. La primera, inserta en el Programa ELEFAN, emplea un algoritmo de minimización basado en el método de Newton para seleccionar el valor de mortalidad por pesca terminal (F_T) y encuentra una solución para cada intervalo de longitud. La segunda utiliza como criterio de selección de F_T un algoritmo de minimización de la suma de los cuadrados de las diferencias de las capturas real y estimada. Ambas técnicas aportan resultados similares del patrón de mortalidad por longitud, aún cuando hay diferencias que tienden a aumentar con la talla que varían entre -0,0017 y 0,903. Por otra parte, se analiza la aplicación de un procedimiento para obtener estimaciones de mortalidad por pesca sin las restricciones que impone la condición de equilibrio, comparando la estructura real de la población con la de equilibrio a manera de anomalías. Los resultados muestran diferencias entre ambas estimaciones, las cuales, aún cuando pudieran deberse a factores extrínsecos a la naturaleza del modelo (e.g. variabilidad natural de la población), demuestran la potencialidad de su uso para futuras aplicaciones.

Palabras clave: Mortalidad por pesca, VPA, anomalías, frecuencia de tallas, camarón, *Penaeus duorarum*.

SUMMARY: COMPARISON BETWEEN TWO TECHNIQUES FOR THE ESTIMATION OF THE FISHING MORTALITY RATE EMPLOYING VPA AND THEIR APPLICATION TO THE PINK SHRIMP FISHERY AT THE CAMPECHE BANK, MEXICO. — Two algorithms for the estimation of fishing mortality (F) using VPA and catch-at-length data are discussed through their application to the pink shrimp (*Penaeus duorarum*) fishery from the Campeche Bank, Mexico. Both are resting on the equilibrium assumption. The first one is that included in the ELEFAN Program, and uses Newton's method to select the terminal fishing mortality (F_T) and to estimate F's values per length interval. The second uses the sum of squared differences of the real and estimated catches as a criteria for F_T selection. Comparison of results suggests a similar fishing mortality pattern with length, although there are differences between methods which increase with size, within the range -0.0017 to 0.903. An application procedure to estimate fishing mortality without equilibrium restrictions is also analyzed. It is based on the comparison of the real catch structure with that under equilibrium (obtained from an average of several years) as a system of anomalies. Results show some differences between «equilibrium» and «no-equilibrium» estimations of fishing mortality. Thus, its use is considered potentially important.

Key words: Fishing mortality, VPA, anomalies, length frequencies, shrimp, *Penaeus duorarum*.

INTRODUCCION

Una de las técnicas que mayor utilidad ha mostrado para la estimación de tasas de mortalidad por pesca (F) es la denominada Análisis de Población Virtual (Gulland, 1965), la cual permite obtener valores específicos de F para cada grupo de edad de acuerdo con la ecuación

$$\frac{N_{i+1}}{C_i} = \frac{(F_i + M) e^{-(F_i + M)}}{F_i [1 - e^{-(F_i + M)}]} \quad (1)$$

donde N = número de individuos en el mar
C = captura en número de individuos
F = tasa instantánea de mortalidad por pesca

1 Este trabajo fue presentado en el Séptimo Simposio Científico de la CTMFM, noviembre de 1990.

M = tasa instantánea de mortalidad natural
i = índice para grupos de edad (anual).

La solución de (1) requiere del conocimiento de la estructura por edades de la población (o de las cohortes), la tasa de mortalidad natural y un estimador de la tasa de mortalidad por pesca para el grupo de edad terminal (F_T) (o grupo de edad más reciente en el análisis de cohortes). La robustez de esta técnica fue analizada por Pope (1972) quien demostró la consistencia de las estimaciones de F_i aún cuando se asigne un valor poco preciso de F_T , i.e., los obtenidos de manera recursiva para grupos de edad menores tienden siempre a converger.

Jones (1974; 1981), siguiendo a Pope (1972), propone una forma modificada de la ecuación (1) para la estimación de tasas de mortalidad, al analizar

datos organizados en composición por longitudes. En la práctica esta técnica permite proponer estrategias de manejo de recursos pesqueros en forma detallada, como talla mínima de captura, asignación de cuotas, capturas totales permisibles (Pope, 1983; Pope y Gray, 1983), o incluso integrar la participación de varias flotas que comparten un mismo recurso (Pope y Shepherd, 1982; 1985). La utilidad de esta técnica ha motivado el interés científico por obtener estimaciones cada vez más precisas de la mortalidad por pesca para cada grupo de edad, habiéndose centrado el esfuerzo principalmente en obtener estimadores poco sesgados de F_T .

El análisis de información sobre composición por longitudes supone que la población se encuentra en estado de equilibrio, por lo cual las estimaciones de F_i son útiles únicamente en términos de manejo a mediano plazo. En tal sentido es frecuente que para su aplicación se utilice el promedio de la estructura por tallas de varios años como una aproximación a la población en equilibrio. Se obtienen así estimaciones de mortalidad por pesca y posteriormente, para cada año adicional, se calculan nuevos estimadores (Pereiro y Pallares, 1984; Pallares y Pereiro, 1985). De esta forma, el seguimiento comparativo de los patrones anuales de la mortalidad por pesca a través de esta modalidad de VPA limita la posibilidad de sugerir estrategias a corto plazo. A pesar de ello, existen casos donde no es posible optar por otra forma de estimación que proporcione mayores ventajas. Tal es el caso de varios recursos pelágicos que forman cardúmenes (Saville, 1980; Pope, 1980; Csirke, 1988), especies de invertebrados de corta longevidad donde no existen estructuras rígidas que permitan la identificación de edades (Caddy, 1983; Gulland y Rothschild, 1984), o bien, de algunos recursos tropicales donde la larga temporalidad de la reproducción y desove no permiten la separación de grupos de edad (Shepherd *et al.*, 1987). De acuerdo con esto y tomando como base información sobre composición por longitudes de las capturas, en el presente trabajo se persiguen dos objetivos específicos:

a) Comparar dos técnicas, insertas en el VPA, que usan diferentes algoritmos para minimizar el error en la asignación de F_T a efectos de estimar la mortalidad por pesca asociada a cada rango de talla: 1) la incluida en el Programa ELEFAN, basada en el método de Newton (Pope *et al.*, 1981; Pauly, 1987; Gayanilo *et al.*, 1988); y 2) la propuesta por Sánchez *et al.* (1990), utilizando la suma de cuadrados de las diferencias entre las capturas reales y estimadas (SCDC).

b) Analizar la aplicación de un procedimiento

alternativo para eliminar la restricción de equilibrio después de la aplicación del VPA (Arreguín-Sánchez *et al.*, 1990).

MATERIAL Y METODOS

a) Comparación de técnicas para minimizar el error en la asignación de F_T

El VPA implementado en el Programa ELEFAN se eligió por haber sido previamente empleado (Pauly y Tzukayama, 1983; Pauly *et al.*, 1984). De acuerdo con Pope *et al.* (1981), una forma generalizada de la ecuación (1) es descrita como:

$$\frac{N_{i+\Delta t}}{C_i} = \frac{Z_i e^{-(Z_i \Delta t)}}{F_i [1 - e^{-(Z_i \Delta t)}]} \quad (2)$$

donde $\Delta t = \log_e [(L_\infty - L_1)/(L_\infty - L_2)]/K$
 L_∞ y K son la longitud asintótica y parámetro de curvatura del modelo de crecimiento de von Bertalanffy;
 L_1 y L_2 son los límites mínimo y máximo de cada intervalo de longitud;
 Z es la tasa instantánea de mortalidad total ($= F + M$);
 i representa el respectivo intervalo de longitud.

El algoritmo resuelve la ecuación (2) partiendo de una forma modificada de la misma:

$$Y = N_{i+\Delta t} \frac{F_i}{Z_i} (1 - e^{-Z_i \Delta t}) - C_i e^{-Z_i \Delta t} \quad (3)$$

la cual es resuelta iterativamente utilizando el método de Newton hasta que un valor de F_i es obtenido para su incorporación en la ecuación (2) tal que $Y^2 < 0,000001$. Según Pope, el uso de esta ecuación en lugar de la propuesta) tiene la ventaja de que los resultados son independientes del tamaño del intervalo de talla en el cual se agrupa la distribución de frecuencia por longitudes. Debe hacerse notar que la rutina de minimización asociada a la ecuación (3) se ejecuta para cada intervalo de talla.

Por otro lado, la aplicación directa de la ecuación propuesta por Jones (1974, 1981) en la forma comúnmente utilizada es:

$$N_i = (N_{i+1} X_L + C_{i,i+1}) X_L \quad (4)$$

donde N_i se refiere al número de individuos en el i -ésimo intervalo de talla; $C_{i,i+1}$ es la captura media de dos intervalos de longitud sucesivos, y X_L se define como:

$$X_L = \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i+1}} \right)^{M/K}$$

donde L_i es la longitud media de cada intervalo de talla.

Las estimaciones específicas de F_i son obtenidas de acuerdo a la relación:

$$N_i = N_{i-1} e^{-(F_i + M) \Delta t} \quad (5)$$

De manera análoga a la ecuación (1), en este caso debe asignarse un valor terminal de $F_T/Z_T = F_T/(F_T + M)$ y en forma recursiva estimar los valores de F_i , los cuales a su vez permiten calcular N_i conociendo la captura \hat{C}_i . De estos resultados es posible obtener valores de la captura estimada \hat{C}_i que pueden ser comparados con los de la captura real. Sánchez *et al.* (1990) utilizan los vectores de C_i y \hat{C}_i para estimar la SCDC para cada valor de F_T , tal que al resolver de manera iterativa la ecuación (5) para diferentes valores de F_T , aquél que arroje el menor valor de la SCDC será el que ofrezca mejores estimaciones de mortalidad por pesca (Fig. 1).

b) Procedimiento alternativo para eliminar la restricción de equilibrio al aplicar el VPA

La captura para cada intervalo de talla en el tiempo t ($C_{i,t}$) puede ser definida como (Beverton y Holt, 1957; Ricker, 1975; Gulland, 1983):

$$C_{i,t} = F_{i,t} \bar{N}_i \quad (6)$$

donde \bar{N}_i representa el tamaño medio de la población

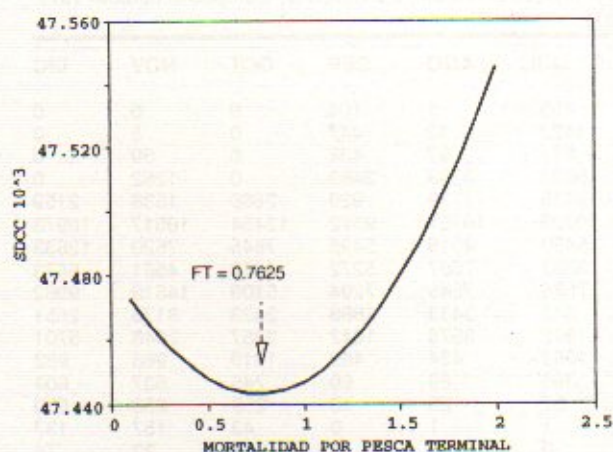


Fig. 1. Selección del valor de F terminal (F_T) a través de la minimización de SCDC, al aplicar el VPA basado en Jones (1981) a los datos de la pesquería del camarón rosa *Penaeus duorarum* del Banco de Campeche, México.

en equilibrio.

La comparación relativa de la ecuación (6) en dos períodos de tiempo diferentes puede ser descrita como:

$$\log_e \left(\frac{C_{i,t}}{C_{i,t+1}} \right) = \log_e \left(\frac{F_{i,t} \bar{N}_i}{F_{i,t+1} \bar{N}_i} \right) = \log_e \left(\frac{F_{i,t}}{F_{i,t+1}} \right) \quad (7)$$

Si se obtiene información promedio de varios años como aproximación a la población en equilibrio, entonces la ecuación (7) puede ser utilizada para comparar la captura para la talla i al tiempo t ($C_{i,t}$) con respecto al equilibrio ($C_{i,e}$). Si la relación $\log_e (C_{i,t}/C_{i,e})$ es igual a cero, significará que la captura al tiempo t de la talla i es idéntica a la obtenida en equilibrio, o bien, la diferencia con respecto a cero puede ser interpretada como una anomalía con respecto al equilibrio. Esta relación puede asociarse con la longitud media de cada intervalo de talla (L_i), obteniéndose una tendencia que puede aproximarse a un modelo lineal de la forma:

$$g_{i,t} = \alpha + \beta L_i \quad (8)$$

con $g_{i,t}$ igual a:

$$g_{i,t} = \log_e \left(\frac{C_{i,t}}{C_{i,e}} \right) = \log_e \left(\frac{F_{i,t}}{F_{i,e}} \right) \quad (8a)$$

donde (*) es utilizado para identificar los datos en equilibrio, y α y β son constantes del modelo.

La pendiente (β) indica el patrón de cambio de F_i con la longitud en el tiempo t con respecto a la condición de equilibrio, o sea, la anomalía de $F_{i,t}$ con respecto a $F_{i,e}$. A su vez, la ordenada en el origen (α) es un estimador de la diferencia relativa de F_i para las tallas más pequeñas: si la intensidad de pesca « f » es similar al tiempo t y bajo equilibrio, entonces $f_{i,t} = f_{i,e}$, y por consiguiente α será un índice directo de los cambios relativos en la abundancia de individuos de tallas pequeñas ó reclutas a la pesquería.

Como de la aplicación del VPA de Jones (1974, 1981) se obtienen estimados de $F_{i,e}$, los valores de mortalidad por pesca fuera de la restricción de equilibrio pueden calcularse como:

$$F_{i,t} = e^{g_{i,t} + \log_e(F_{i,e})} \quad (9)$$

donde el valor estimado de $F_{i,t}$ no está sujeto a la condición de equilibrio, y $g_{i,t}$, de acuerdo a la ecuación (8a), representa la anomalía de la mortalidad por pesca para el intervalo de longitud i del tiempo t , con respecto al equilibrio.

Con el objeto de utilizar información real para

Tabla 1a. Composición por longitudes de las capturas de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche durante 1975 (Guzmán, 1987).

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
40	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
50	5	1	0	6	1	0	27	1	3	8	1
60	33	18	7	24	6	6	77	12	27	65	9
70	415	238	68	169	225	142	796	440	348	1166	280
80	2378	1270	884	981	495	1193	1056	2525	1134	1765	1184
90	6670	2930	4652	1879	5306	914	3379	10452	6696	12378	3002
100	11070	4384	1516	4885	2041	9349	4475	4957	3546	9742	4482
110	3590	5128	5160	2317	2534	1132	2365	5084	5067	8947	4280
120	7033	2850	1190	4507	3637	2381	9157	3928	2482	7545	7825
130	2033	2576	2381	2666	753	1376	2142	2159	1253	4422	852
140	2662	1585	544	986	1230	1499	1288	1208	1509	2935	1155
150	851	458	475	692	565	609	1018	1787	684	1273	189
160	251	441	349	178	413	233	275	766	517	1415	197
170	211	36	83	115	175	78	141	324	203	1632	37
180	11	9	21	7	6	2	4	3	20	71	0
190	2	2	2	1	0	0	0	0	2	18	1
200	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm, expresado como longitud total.
Miles de individuos.

Tabla 1b. Composición por longitudes de las capturas de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche durante 1976 (Guzmán, 1987).

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
40	2	4	3	1	1	1	1	5	4	0	6	1
50	97	283	119	25	74	32	38	0	130	3	181	21
60	285	145	214	62	213	0	119	187	181	12	337	70
70	975	1544	1526	669	1311	457	924	1235	1512	106	4371	732
80	3113	1523	1284	1096	1168	1787	1492	3046	2190	436	7154	1408
90	5237	3521	5111	5137	5527	4357	7757	7091	9257	3722	11683	18391
100	15708	6557	2475	3730	4565	3171	2414	5293	5881	2059	15155	6601
110	4316	2263	4961	7511	6449	6565	3721	5391	2567	1844	6405	6436
120	7364	3497	4662	7240	4881	3683	5293	12814	8679	5543	12489	8065
130	1368	539	1818	1235	1053	1676	1030	3402	1128	860	2121	1810
140	1390	248	2097	1299	1369	2204	868	2759	2053	1320	4184	1598
150	811	108	402	593	263	408	553	731	536	341	1229	347
160	339	237	599	224	203	341	6	472	624	325	1218	332
170	257	272	186	58	111	76	173	120	170	172	570	117
180	41	30	47	2	8	2	32	0	5	27	64	18
190	9	11	10	0	1	0	1	0	0	5	13	4
200	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.
Miles de individuos.

Tabla 1c. Composición por longitudes de las capturas de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche durante 1977 (Guzmán, 1987).

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
40	0	0	21	138	0	0	493	1	104	0	0	0
50	0	5	127	438	6	0	1422	13	447	0	5	0
60	0	54	272	445	40	438	877	97	438	0	39	0
70	0	1430	2238	2739	1740	4062	5023	3263	3483	0	1262	0
80	1891	1328	1343	1111	1587	1651	2438	2739	929	2860	1538	2159
90	10062	5907	9548	14477	10677	10465	10328	10781	9572	12484	16517	10973
100	5354	4419	2910	18100	8174	3671	5483	4515	5495	7645	7620	12833
110	4071	2920	3184	8623	5827	4244	3837	7667	5272	4868	4581	6673
120	9924	6214	3475	8011	5721	6306	7586	7545	7294	5109	14619	9962
130	2232	1328	2004	3248	2145	1999	912	3433	1888	2423	3176	2651
140	1317	2906	2735	2778	2424	2545	1862	3678	1442	2357	2648	3701
150	531	587	1007	1721	1134	642	1062	454	489	1019	968	982
160	502	353	567	547	806	595	393	89	60	745	537	609
170	278	186	527	464	195	243	57	25	13	259	258	530
180	92	42	22	35	16	20	1	1	0	43	157	137
190	8	7	2	8	1	2	0	0	0	2	22	74
200	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.
Miles de individuos.

Tabla 2. Composición anual por longitudes de las capturas de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche durante 1975-1977

LON	1975	1976	1977	PROMEDIO
40	1654	29	758	814
50	1275	1003	2463	1580
60	1640	1824	2700	2055
70	11579	15363	25241	17394
80	17831	25696	21574	21701
90	60087	86791	131791	92890
100	62205	73609	86219	74011
110	46376	58429	61767	55524
120	53079	84209	91766	76352
130	22847	18040	27440	22775
140	16693	21390	30394	22825
150	8603	6322	10594	8506
160	5035	4919	5803	5253
170	3034	2281	3035	2783
180	155	277	565	332
190	30	55	126	70
200	2	3	8	4

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.
Miles de individuos.

probar los modelos propuestos, en este trabajo se analiza información mensual de composición por longitudes de las capturas de la pesquería de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche, México, durante el período 1975 a 1977. El set de datos (Tablas 1 y 2), así como las estimaciones de los parámetros de crecimiento y de la tasa instantánea de mortalidad natural (Tabla 3), fueron obtenidos de Guzmán (1987).

Tabla 3. Valores de parámetros poblacionales utilizados para la aplicación del VPA (Tomados de Guzmán, 1987).

	1975	1976	1977
K	0,258	0,2795	0,2549
Lm	228	225	222
M	0,3785	0,4048	0,3988

K Tasa de crecimiento individual.
Lm Longitud máxima promedio en mm.
Ambos parámetros de acuerdo al modelo de von Bertalanffy.
M Tasa instantánea de mortalidad natural.
La temporalidad de las tasas es mensual.

RESULTADOS OBTENIDOS

a) Comparación de técnicas para la estimación de la mortalidad por pesca

Inicialmente se obtuvo una estructura por longitudes promedio para los tres años, suponiendo que ésta representa una aproximación a la población en equilibrio. Asimismo, se estimó una estructura poblacional media para cada año en base al promedio mensual respectivo, utilizando como factor de

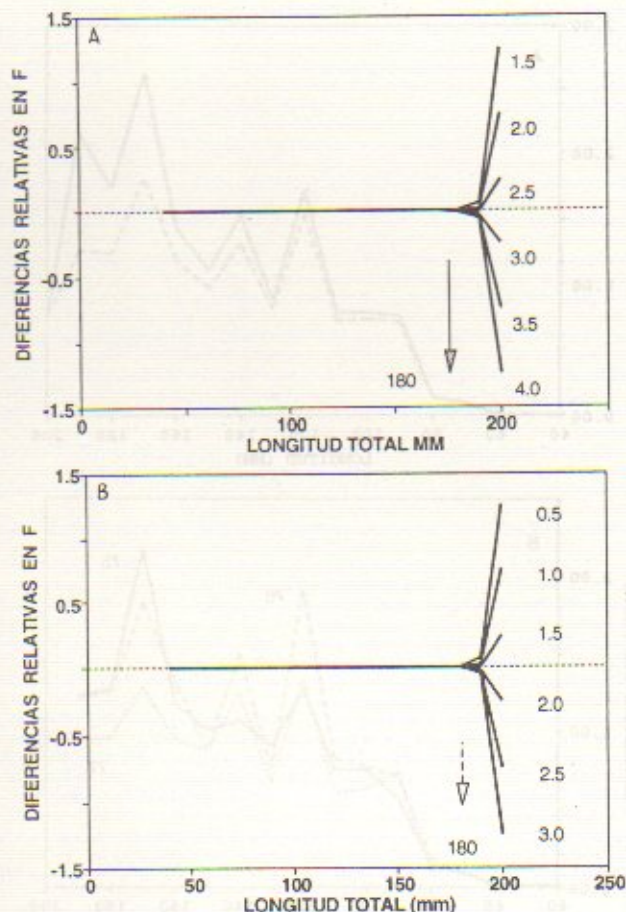


Fig. 2. *Penaeus duorarum*. Diferencias relativas en las estimaciones de mortalidad por pesca con la longitud, al asignar diferentes valores de F_T mediante la aplicación de (A) el Programa ELEFAN y (B) la ecuación de Jones.

comparación la abundancia relativa mensual representada por la captura por unidad de esfuerzo. Los algoritmos de minimización utilizados por el ELEFAN y la SCDC fueron comparados con la estructura en equilibrio. Para cada caso se asignaron diversos valores de F_T , se compararon entre sí y para cada algoritmo. En la Figura 2a se muestran las diferencias relativas de las estimaciones de F_i para cada intervalo de longitud obtenidas con el ELEFAN, y en la Figura 2b las obtenidas a través de la ecuación propuesta por Jones (1974, 1981). En ambos casos se observa que a pesar de la asignación de diferentes valores de F_T , ambos procedimientos convergen a partir de la talla media de 180 mm.

La comparación gráfica de los valores de F_i por longitud, obtenidos de la aplicación de cada algoritmo sobre la estructura poblacional promedio de los tres años (Fig. 3a), así como para cada año en particular (Fig. 3b), muestra una tendencia similar en el patrón de cambio de la mortalidad por pesca con la longitud. Sin embargo, las mayores diferencias entre los F_i obtenidos mediante ambos algoritmos se presentan hacia tallas mayores (Fig. 4).

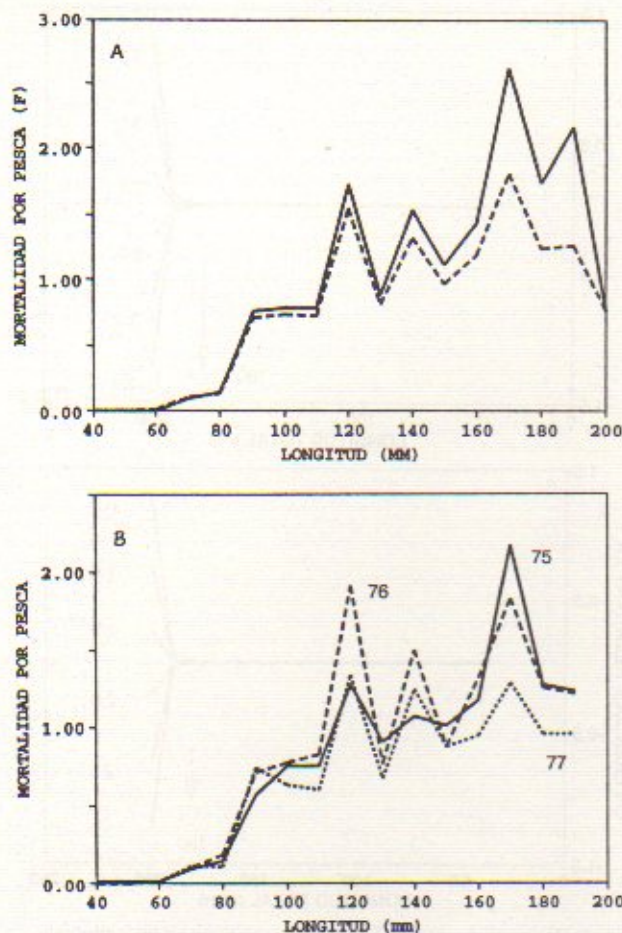


Fig. 3. *Penaeus duorarum*. Patrón de mortalidad por pesca con la longitud: (A) comparación de los resultados del Programa ELEFAN (línea continua) con la SCDC (línea punteada) para la población en equilibrio; (B) resultados para cada año en base a SCDC, usando la estructura promedio anual.

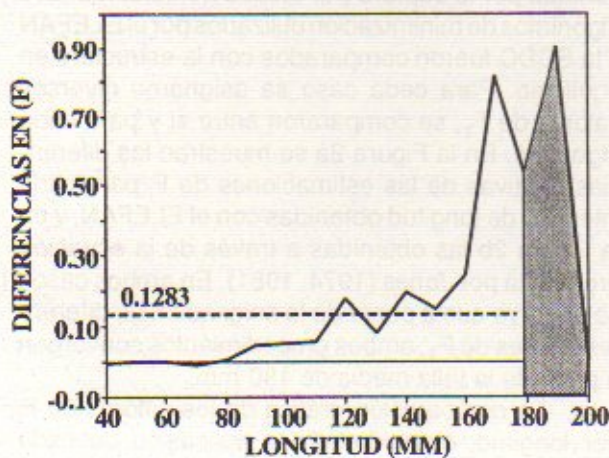


Fig. 4. *Penaeus duorarum*. Diferencias absolutas en las estimaciones de mortalidad por pesca con la longitud, al comparar los algoritmos usados por el ELEFAN y la SCDC. Las mayores diferencias (área sombreada) se presentan en las tallas donde no hay convergencia dentro de cada método. La línea punteada indica la media de las diferencias absolutas para aquellos intervalos de longitud donde se presenta convergencia total dentro de cada algoritmo.

b) Procedimiento alternativo para eliminar la restricción de equilibrio

De acuerdo con la ecuación (8), y tal como sugieren Arreguín-Sánchez *et al.* (1990), la diferencia relativa de las capturas, expresada por $\log_e(C_{i,t}/C_{i,e})$, puede interpretarse como anomalía de los valores de F_i con respecto al equilibrio. De esta forma, se construyeron gráficos asociando los valores de $\log_e(C_{i,t}/C_{i,e})$ con la longitud media de cada intervalo, a efectos de comparar cada promedio anual y mensual (en este caso únicamente para 1977) con la estructura en equilibrio. Es importante notar que t puede corresponder a períodos anuales o mensuales (Fig. 5).

Los parámetros α y β de la ecuación (8) obtenidos por regresión (Tabla 4) fueron utilizados para calcular las anomalías ($g_{i,t}$) de la mortalidad por pesca, que junto con los estimados de $F_{i,e}$ (equilibrio) permitieron aplicar la ecuación (9) para obtener los valores de $F_{i,t}$ fuera de equilibrio. En la Tabla 5 se

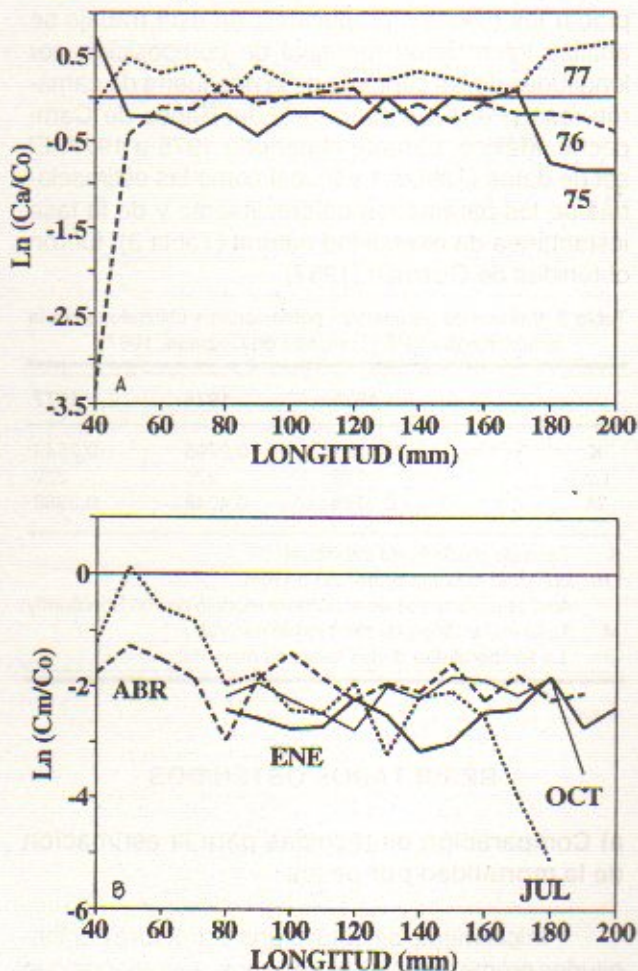
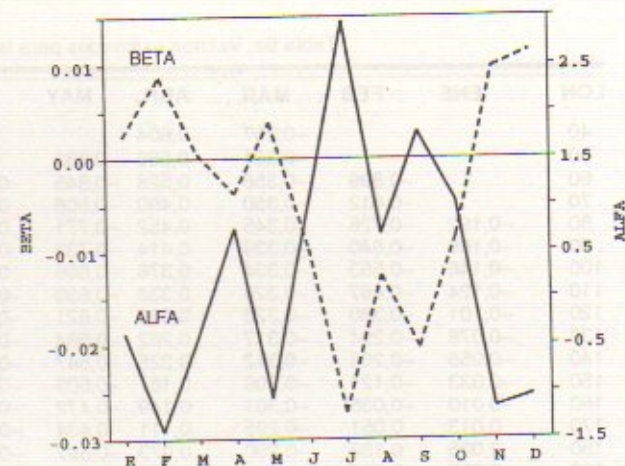


Fig. 5. *Penaeus duorarum*. Tendencia de los cambios de las anomalías de las capturas con la longitud con respecto a la población en equilibrio: (A) estructura media anual; (B) estructura de algunos meses seleccionados: ENE = enero (invierno), ABR = abril (primavera), JUL = julio (verano), y OCT = octubre (otoño).

Tabla 4. Valores estimados para las constantes del modelo de anomalías.

AÑO	ALFA	BETA
1975	-0,5532	0,0032
1976	0,0986	-0,0015
1977	0,0492	0,0018
MESES		
ENE	-0,3732	0,0023
FEB	-1,4166	0,0086
MAR	-0,3887	0,0005
ABR	0,7554	-0,0038
MAY	-1,0692	0,0037
JUN	1,0127	-0,0097
JUL	2,9478	-0,0273
AGO	0,6794	-0,0127
SEP	1,7794	-0,0204
OCT	1,0455	-0,0085
NOV	-1,1622	0,0097
DIC	-1,0323	0,0114

muestran de manera comparativa los valores de $g_{i,t}$, $F_{i,t}$ y $F_{i,t}$ en una base anual, y en la Tabla 6 valores de $g_{i,t}$ y $F_{i,t}$ para períodos mensuales. Los valores obtenidos de α reflejan la tendencia a observar un patrón estacional de reclutamiento (Fig. 6). Por otra parte, valores positivos de β indican mayor abundancia de tallas grandes en las capturas, mientras que valores negativos implican mayor abundancia de individuos jóvenes. Fuertes cambios en el patrón de F_i con la longitud, representados por β , sugieren una respuesta inmediata de la intensidad de pesca a cambios en la abundancia de la población (Fig. 6), los cuales, de acuerdo a la estrategia de vida de la

Fig. 6. *Penaeus duorarum*. Tendencia mensual de los parámetros α (Índice relativo de abundancia de tallas pequeñas) y β (patrón de cambio de la mortalidad por pesca con la longitud), en base al modelo de anomalías.

especie, están fuertemente ligados a procesos de reclutamiento.

DISCUSION

Los algoritmos para minimizar el error en la asignación del valor de F_T al resolver el VPA han sido explorados y aplicados por varios autores (Pope y Shepherd, 1985) con el fin de obtener estimaciones lo más precisas posible de la mortalidad por pesca aplicada a diferentes grupos de la población (Pope, 1973). La importancia de estas investigaciones radi-

Tabla 5. Estimación de valores de las anomalías de las capturas y mortalidad por pesca bajo equilibrio y fuera de equilibrio.

Li	Ln (Ci,a / Ci,p)			Fi,p	FI EN EQUILIBRIO			FI FUERA DE EQUILIBRIO		
	75	76	77		75	76	77	75	76	77
40	0,710	-3,346	-0,071	0,005	0,012	0,000	0,003	0,003	0,005	0,006
50	-0,215	-0,454	0,444	0,009	0,009	0,006	0,010	0,006	0,009	0,010
60	-0,225	-0,119	0,273	0,012	0,012	0,012	0,011	0,008	0,012	0,014
70	-0,407	-0,124	0,372	0,108	0,091	0,102	0,113	0,078	0,107	0,128
80	-0,196	0,169	-0,006	0,143	0,150	0,182	0,103	0,106	0,140	0,173
90	-0,436	0,068	0,350	0,714	0,576	0,715	0,744	0,547	0,690	0,879
100	-0,174	-0,005	0,153	0,735	0,755	0,778	0,639	0,582	0,700	0,921
110	-0,180	0,051	0,107	0,730	0,751	0,823	0,599	0,596	0,685	0,931
120	-0,364	0,098	0,184	1,542	1,275	1,912	1,336	1,300	1,425	2,003
130	0,003	-0,233	0,186	0,801	0,905	0,763	0,678	0,697	0,729	1,059
140	-0,313	-0,065	0,286	1,330	1,077	1,496	1,249	1,196	1,193	1,790
150	0,011	-0,297	0,219	0,971	1,004	0,877	0,881	0,901	0,858	1,330
160	-0,042	-0,066	0,100	1,187	1,174	1,312	0,952	1,137	1,034	1,655
170	0,086	-0,199	0,087	1,803	2,168	1,822	1,281	1,783	1,547	2,558
180	-0,760	-0,182	0,530	1,236	1,269	1,251	0,959	1,262	1,045	1,785
190	-0,856	-0,245	0,584	1,264	1,232	1,217	0,958	1,333	1,053	1,858
200	-0,850	-0,411	0,647	0,763				0,830	0,626	1,141

Li Longitud media para de cada intervalo de talla i.

Ci,a Captura anual del intervalo de talla i.

Ci,p Captura en equilibrio del intervalo de talla i.

Fi Tasa instantánea de mortalidad por pesca para el intervalo de talla i.

Fi,p Tasa instantánea de mortalidad por pesca en equilibrio para el intervalo de talla i.

Tabla 6a. Valores estimados para las anomalías mensuales de las capturas.

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
40			-0,367	0,604			1,857		0,964			
50			-0,361	0,566	-0,833		1,585	0,044	0,760			
60		-0,899	-0,356	0,528	-0,845	0,430	1,312	-0,083	0,556		-0,582	
70		-0,812	-0,350	0,490	-0,808	0,333	1,039	-0,210	0,353		-0,485	
80	-0,192	-0,726	-0,345	0,452	-0,771	0,236	0,767	-0,337	0,149	0,366	-0,389	-0,118
90	-0,169	-0,640	-0,339	0,414	-0,733	0,139	0,494	-0,464	-0,055	0,281	-0,292	-0,003
100	-0,146	-0,553	-0,334	0,376	-0,696	0,042	0,222	-0,591	-0,259	0,196	-0,195	0,111
110	-0,124	-0,467	-0,328	0,338	-0,659	-0,055	-0,051	-0,718	-0,463	0,111	-0,099	0,225
120	-0,101	-0,380	-0,323	0,300	-0,621	-0,152	-0,324	-0,845	-0,666	0,027	-0,002	0,340
130	-0,078	-0,294	-0,317	0,262	-0,584	-0,249	-0,596	-0,972	-0,870	-0,058	0,095	0,454
140	-0,055	-0,208	-0,312	0,225	-0,547	-0,346	-0,869	-1,099	-1,074	-0,143	0,191	0,568
150	-0,033	-0,121	-0,306	0,187	-0,509	-0,443	-1,141	-1,226	-1,278	-0,228	0,288	0,683
160	-0,010	-0,035	-0,301	0,149	-0,472	-0,540	-1,414	-1,226	-1,482	-0,313	0,385	0,797
170	0,013	0,051	-0,295	0,111	-0,434	-0,637	-1,687	-1,481	-1,686	-0,398	0,482	0,911
180	0,035	0,138	-0,290	0,073	-0,397	-0,734	-1,959	-1,608		-0,483	-0,578	1,026
190	0,058	0,224	-0,285	0,035	-0,360	-0,831				-0,568	0,675	1,140
200	0,081	0,310									0,772	1,254

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.

Tabla 6b. Valores de mortalidad por pesca mensual fuera de equilibrio estimados a partir del modelo de anomalías.

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
40			0,0035	0,0091			0,0320		0,0131			
50			0,0063	0,0158	0,0037		0,0439	0,0094	0,0193			
60		0,0049	0,0084	0,0203	0,0052	0,0185	0,0446	0,0110	0,0209		0,0067	
70		0,0479	0,0761	0,1763	0,0481	0,1507	0,3054	0,0875	0,1537		0,0665	
80		0,0692	0,1013	0,2247	0,0662	0,1811	0,3079	0,1021	0,1660	0,2062	0,0969	0,1271
90	0,6030	0,3767	0,5085	1,0803	0,3430	0,8207	1,1704	0,4489	0,6758	0,9459	0,5332	0,7116
100	0,6350	0,4227	0,5264	1,0707	0,3665	0,7667	0,9174	0,4070	0,5674	0,8945	0,6046	0,8212
110	0,6452	0,4577	0,5257	1,0239	0,3779	0,6911	0,6937	0,3560	0,4596	0,8160	0,6615	0,9144
120	1,3941	1,0540	1,1165	2,0823	0,8285	1,3247	1,1157	0,6622	0,7919	1,5834	1,5391	2,1655
130	0,7408	0,5969	0,5832	1,0414	0,4468	0,6245	0,4413	0,3030	0,3355	0,7556	0,8807	1,2611
140	1,2583	1,0804	0,9736	1,6648	0,7700	0,9410	0,5579	0,4430	0,4544	1,1524	1,6107	2,3476
150	0,9397	0,8599	0,7147	1,1702	0,5836	0,6235	0,3101	0,2848	0,2706	0,7729	1,2953	1,9215
160	1,1751	1,1460	0,8785	1,3773	0,7405	0,6917	0,2886	0,3067	0,2698	0,8679	1,7442	2,6334
170	1,8259	1,8977	1,3418	2,0142	1,1676	0,9535	0,3338	0,4102	0,3342	1,2109	2,9184	4,4845
180	1,2805	1,4183	0,9249	1,3294	0,8309	0,5932	0,1742	0,2477		0,7625	2,2037	3,4466
190	1,3395	1,5812	0,9510	1,3090	0,8820	0,5505				0,7163	2,4824	3,9515
200	0,8266	1,0399									1,6496	2,6724

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.

Tabla 6c. Estimaciones de mortalidad por pesca mensual bajo la suposición de equilibrio de la población.

LON	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
40			0,001	0,004			0,026		0,006			
50			0,008	0,015	0,000		0,078	0,001	0,027			
60		0,004	0,018	0,015	0,002	0,026	0,050	0,005	0,027		0,002	
70		0,109	0,161	0,100	0,095	0,256	0,314	0,170	0,234		0,051	
80	0,118	0,109	0,104	0,043	0,092	0,114	0,169	0,155	0,068	0,124	0,065	0,092
90	0,740	0,557	0,888	0,644	0,729	0,865	0,869	0,723	0,828	1,615	0,832	0,535
100	0,506	0,519	0,349	1,109	0,742	0,392	0,617	0,381	0,632	0,736	0,501	0,811
110	0,481	0,426	0,462	0,783	0,719	0,563	0,559	0,836	0,820	0,628	0,370	0,568
120	1,859	1,309	0,660	1,097	1,040	1,226	1,751	1,295	1,964	0,935	1,817	1,248
130	0,868	0,451	0,523	0,709	0,599	0,633	0,384	1,058	1,152	0,673	0,797	0,535
140	0,829	1,658	1,108	0,963	1,064	1,348	1,191	2,667	1,890	1,045	1,115	1,177
150	0,534	0,797	0,760	1,147	0,952	0,686	0,980	1,923	1,416	0,837	0,762	0,572
160	0,844	0,902	0,766	0,777	1,160	1,240	1,961	1,540	1,694	1,280	0,755	0,588
170	1,070	1,146	1,934	1,713	1,762	1,744	2,081	1,972	1,416	1,481	0,717	0,927
180	2,278	0,885	1,251	1,000	1,416	1,307	0,980	1,415		1,484	1,153	0,616
190	1,400	0,487	0,574	1,188	1,160	1,410				1,400	1,007	1,044
200	1,400	1,000									0,750	1,401

LON Longitud media de cada intervalo de talla en mm.

ca en la posibilidad de utilizar la información derivada de la aplicación del VPA para definir estrategias de manejo de los recursos.

En el caso particular de las técnicas comparadas, el ELEFAN utiliza la ecuación (2) como forma

modificada de la propuesta por Jones (1974, 1981), aplicando el método de Newton a cada intervalo hasta encontrar una diferencia mínima en aproximaciones sucesivas (cuyo límite se establece previamente) para obtener valores de $F_{i,t}$. En el segundo

caso (Arreguín *et al.*, 1990), se utiliza la propuesta por Jones (ecuación 4) y una rutina de asignación sucesiva de valores de F_T a través de la cual se obtienen los correspondientes a la SCDC. Los resultados de ambos algoritmos, aplicados a la pesquería de camarón rosa (*Penaeus duorarum*) del Banco de Campeche, muestran patrones de explotación similares. Sin embargo, se observan ligeras diferencias entre ambas técnicas que se incrementan con la talla (Fig. 4), principalmente en aquellas donde no hay convergencia dentro de cada método. En cambio, las diferencias observadas para aquellas tallas donde hay convergencia total fluctuaron entre -0,0017 y 0,903, con un valor medio de 0,1283.

La información disponible y los resultados obtenidos no aportan elementos suficientes como para sugerir mayor precisión de un procedimiento u otro, lo cual significa que, a la luz de las diferencias observadas, cualquiera de los dos procedimientos pueden ser igualmente aplicados. La verificación de la precisión de ambos procedimientos requerirá de trabajo experimental a bordo, o bien de experimentos de simulación y análisis de sensibilidad.

En lo que se refiere a la posibilidad de eliminar la restricción de equilibrio al aplicar el VPA sobre distribuciones de frecuencia por longitudes, las diferencias encontradas entre los valores de $F_{i,t}$ y $F_{i,t}$ pueden ser importantes en términos de la estimación del tamaño de la población. En este sentido son dos los factores que pudieran ser potencialmente responsables de estas diferencias: 1) los sesgos introducidos por los diseños muestrales, o por el propio modelo y el tratamiento de los datos; y 2) procesos de variabilidad natural a nivel poblacional. De manera particular, el segundo caso puede ser una fuente importante de variación, especialmente al estimar $g_{i,t}$ para poblaciones como el camarón. Es bien conocido que poblaciones de corta longevidad como el camarón rosa (estrategas r: Odum, 1963; Margalef, 1974) son fuertemente susceptibles a cambios ambientales aún en pequeñas escalas de tiempo, lo cual explica la alta variabilidad observada (ver García y Le Reste, 1981; Gulland y Rothschild, 1984; García, 1984, 1988). En este sentido, sería posible describir empíricamente dicha variabilidad introduciendo a la ecuación (9) una variable aleatoria cuya función de densidad probabilística pueda ser estimada a partir del análisis de residuales de la ecuación (8). De esta forma podría ganarse en términos de ajuste y mayor precisión en las estimaciones de $F_{i,t}$ fuera del equilibrio. No obstante, tal como lo sugieren Arreguín-Sánchez *et al.* (1990), sería importante identificar las fuentes de variabilidad natural de las poblaciones, de tal forma que los ajustes obtenidos por los modelos propuestos puedan ser correctamente interpretados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el interés y apoyo otorgado por el Gobierno del Estado de Yucatán, México, para el desarrollo de estas investigaciones. Asimismo, agradecemos el apoyo brindado por la UNESCO (O.D.) y por los Gobiernos de Uruguay y México (O.D. y A.d.A.) para realizar una estancia de investigación en la Unidad Mérida del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, México, donde se llevó a cabo el presente estudio.

BIBLIOGRAFIA

- AREGUIN-SANCHEZ, F., J.A. SANCHEZ, O. DEFEQ y A. DE ALAVA. 1990. Estimation of fishing mortality and the use of catch ratios as anomalies. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, México (manuscrito).
- BEVERTON, R.J.H. y S.J. HOLT. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. London, Ser. II. 19: 1-533.
- CADDY, J.F. 1983. The cephalopods. Factors relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks. En: Caddy, J.F. (ed.), Advances in assessment of world cephalopods resources. FAO Fish. Tech. Pap., 231: 416-449.
- CSIRKE, J. 1988. Small shoaling pelagic fish stocks. En: Gulland, J.A. (ed.), Fish population dynamics. J. Wiley and Sons: 271-302.
- GARCIA, S. 1984. Environmental aspects of penaeid shrimp biology and dynamics. En: Gulland, J.A. y B.J. Rothschild (eds.), Penaeid shrimps - their biology and management. Fishing News Books, United Kingdom: 268-271.
- GARCIA, S. y L. LE RESTE. 1981. Life cycles, dynamics, exploitation and management of coastal penaeid shrimp stocks. FAO Fish. Tech. Pap., 203: 215 p.
- GAYANILO, F.C., M. SORIANO y D. PAULY. 1988. A draft guide to the complete ELEFAN. ICLARM software 2: 70 p.
- GULLAND, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. Annex to Arctic Fisheries Working Group Report. ICES CM 1965. Doc. 3: 9 p.
- GULLAND, J.A. 1983. Fish stock assessment: a manual of basic methods. FAO/Wiley.
- GULLAND, J.A. y B.J. ROTHSCHILD. (eds.). 1984. Penaeid shrimps - their biology and management. Fishing News Books, United Kingdom.
- GUZMAN, V. 1987. Dinámica poblacional del camarón rosado (*Penaeus duorarum* Burkenroad, 1939) del Banco de Campeche, durante tres temporadas de pesca, 1975-1977. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología de la Universidad de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México.
- JONES, R. 1974. Assessing the long-term effects of changes in fishing effort and mesh size from length composition data. ICES CM 1974/F:33: 13 p.
- JONES, R. 1981. The use of length composition data in fish stock assessment (with notes on VPA and cohort analysis). FAO Fish. Circ., 734: 55 p.
- MARGALEF, R. 1974. Ecología. Ed. Omega, España.
- ODUM, E.P. 1963. Ecology. W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- PALLARES, P. y J.A. PEREIRO. 1985. Consequences of introducing errors in the value of the input parameters in the «length distribution analysis» (R. Jones) on the effects of a change in mesh size, illustrated with data from the fishery on the Northern stock of hake. ICES,

- CM 1985/G: 46.
- PAULY, D. 1987. A review of the ELEFAN system for the analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates. En: Pauly, D. y G.R. Morgan (eds.), Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc. 13: 7-34.
- PAULY, D. y I. TSUKAYAMA. 1983. On the seasonal growth, monthly recruitment and monthly biomass of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) from 1961 to 1979. En: FAO Consultation to examine the changes in abundance and composition of neritic fishes, Costa Rica, April 1983. IOC Workshop Report N° 33.
- PAULY, D., J. INGLES y R. NEAL. 1984. Application to shrimp stocks of objective methods for the estimation of growth, mortality and recruitment-related parameters from length-frequency data (ELEFAN I and ELEFAN II). En: Gulland, J.A. y B.J. Rothschild (eds.), Penaeid shrimps - their biology and management. Fishing News Books, United Kingdom: 220-234.
- PEREIRO, J.A. y P. PALLARES. 1984. Consequences of introducing errors in the value of the input parameters in the «length distribution analysis» (R. Jones) as applied to the Northern stock of hake. ICES, CM 1984/G: 51.
- POPE, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of Virtual Population Analysis using cohort analysis. Intern.Comm.Nothw. Atl.Fish.Res.Bull., 9: 65-74.
- POPE, J.G. 1973. An investigation into the effects of variable rates of exploitation of fisheries resources. En: Bartlett, M.S. y R.W. Hiorns (eds.), The mathematical theory of dynamics of biological populations. Academic Press, N.Y.: 23-34.
- POPE, J.G. 1980. Some consequences for fisheries management of aspects of behaviour of pelagic fish. Rapp. P.-v. Réun. Cons.Int.Explor.Mer, 177: 466-476.
- POPE, J.G. 1983. Analogies to the status quo TAC's: their nature and variance. Can.Spec.Publ.Fish.Aquat.Sci., 66: 99-113.
- POPE, J.G. y J.G. SHEPHERD. 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. J.Cons.Int.Explor.Mer, 40: 176-184.
- POPE, J.G. y J.G. SHEPHERD. 1985. A comparison of the performance of various methods of tuning VPA's using effort data. J.Cons.Int.Explor.Mer, 42: 129-151.
- POPE, J.G. y D. GRAY. 1983. An investigation of the relationship between the precision of assessment data and the precision of total allowable catches. En: Doubleday, W.G. y D. Rivard (eds.), Sampling commercial catches of marine fish and invertebrates. Can.Spec.Publ. Fish.Aquat.Sci., 66: 151-157.
- POPE, J.G., D. PAULY y N. DAVID. 1981. ELEFAN III, a BASIC program for the detailed analysis of catch-at-length data using VPA. ICLARM Doc. (manuscrito).
- RICKER, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull.Fish.Res. Board Can., 191: 382 p.
- SANCHEZ, J.A., F. ARREGUIN-SANCHEZ, M.E. GONZALEZ y A. DÍAZ de LEON. 1990. A simple robust approach for virtual population analysis using spreadsheets, with an application to the red snapper fishery from the Campeche Bank. 41th Ann. Sess. Gulf Caribb. Fish.Inst., Miami (USA) (resumen).
- SHEPHERD, J.G., G.R. MORGAN, J.A. GULLAND y C.P. MATTHEWS. 1987. Methods of analysis and assessment: report of working group II. En: Pauly, D. y G.R. Morgan (eds.), Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc., 13: 7-34.
- SAVILLE, A. (ed.). 1980. The assessment and management of pelagic fish stocks. Rapp.P.-v.Réun.Cons.Int.Explor.Mer, 117: 517 p.