

Fecundidad y Rendimiento un Enfoque Diferente

**RICARDO TORRES L.¹, SILVIA SALAS M.²,
y LUIS E. PEREZ²**

*¹Departamento de Desarrollo Pesquero
Calle 59 No. 514, 97000
Merida Yucatan*

*²INVESTAV-IPN MERIDA
Apdo. Postal #73 Cordemex, 97310
Merida Yucatan*

RESUMEN

Se propone un modelo para estimar el nivel de producción de huevos de una población particular bajo diferentes regimenes de pesca, es decir, bajo distintas combinaciones de valores de mortalidad por pesca y de edad de reclutamiento. Las estimaciones del modelo se comparan con aquellas derivadas del rendimiento por recluta, expresado en terminos de fecundidad obtenidas a partir del modelo de Beverton y Holt. Los parámetros necesarios para incorporarse al modelo incluyen aspectos de la biología reproductiva de la especie bajo estudio (proporción por sexos, fecundidad, etc.), características de crecimiento individual en longitud y/o peso, y la determinación de sus coeficientes de mortalidad. El modelo se aplicó a una especie hipotética, y los resultados se utilizaron para ejemplificar dos distintas estrategias de manejo de la pesquería hipotética: protección del recurso buscando el rendimiento óptimo expresado en número de huevos, o el mejor beneficio en peso buscando el rendimiento óptimo expresado en gramos por recluta.

INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio de los recursos marinos, uno de los procesos fisiológicos que presenta relevancia es la reproducción; ésta incluye diversos aspectos interesantes, como son la proporción por sexos, la madurez gonádica y la fecundidad. Del éxito de la reproducción depende en gran medida los volúmenes del rendimiento pesquero de futuras temporadas de pesca.

Inicialmente para estimar la producción de huevos de una población dada, es necesario conocer la tasa de reproducción, la proporción por sexos y la fecundidad promedio de los individuos que la componen. La intensidad de la reproducción se expresa como el número promedio de huevos liberados por una hembra por unidad de tiempo; la fecundidad se define simplemente como el número promedio de huevos por hembra (Winberg, 1971), la cual se ve afectada por la temperatura y la disponibilidad del alimento, principalmente a través de sus efectos sobre el tamaño del cuerpo, ya que la fecundidad está directamente relacionada con el tamaño de las hembras maduras.

Ya que el crecimiento de materia viva es la base de la producción, las estimaciones de ésta pueden expresarse en unidades proporcionales a la biomasa, como es la fecundidad. Se han realizado varios intentos para estimar la

producción de huevos de una población (Beverton y Holt, 1957; De Martini y Fountain, 1981; Serns, 1982; Lasker, 1985; Takeshita, com. pers.); sin embargo, una característica común a todos ellos es la estimación previa de la biomasa de la población reproductora.

En el presente trabajo se propone un modelo para la estimación de la producción de huevos de una población, dadas distintas combinaciones de valores de mortalidad por pesca (F) y edad de reclutamiento (tr). Estas son comparadas en términos de porcentaje con la producción potencial de la población vírgen de la especie en estudio, considerando la fecundidad promedio por grupo de edad constante para ambas poblaciones. Los resultados se compararon con los obtenidos a través del modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt (1957).

MÉTODOS

El modelo

Se puede estimar fácilmente la relación entre la biomasa de hembras reproductoras de una población y su producción de huevos simplemente multiplicando aquella por la fecundidad promedio por hembra:

$$P = (Br \cdot Hr) \cdot F \quad (1)$$

La biomasa de hembras es el producto de la biomasa total de la población reproductora (Br) y la porción de hembras que producen huevos (Hr). La fecundidad (F) es el número de huevos desovados por hembra. En términos de producción anual de huevos, la ecuación anterior es equivalente a la propuesta por Beverton y Holt (1957):

$$E = sx \cdot nPw \quad (2)$$

donde nPw es la biomasa anual de los reproductores de una población, x es la fecundidad por peso de las hembras, y s es una constante que denota la proporción de hembras en cualquier edad.

Existen dos suposiciones implícitas en las ecuaciones (1) y (2):

1. Los coeficientes de crecimiento y de mortalidad son iguales para ambos sexos en todas las edades a partir de la primera madurez sexual.
2. Cada hembra desova una sola vez durante el intervalo dentro del cual se estima la producción.

En el caso de desovadores fraccionales, es necesario entonces añadir un factor (f) que denote la frecuencia de reproducción:

$$P = Br \cdot Hr \cdot F \cdot f \quad (3)$$

Estudios histológicos básicos sobre la madurez sexual pueden revelar el valor de la frecuencia de desove y si ésta permanece constante dentro de un ciclo reproductivo, de tal manera que la fecundidad (F) sea simplemente multiplicada por un factor que la amplifique.

Entrando en detalle, la producción de huevos se puede estimar para cada grupo de edad. Así, la ecuación (2) se introduce en la siguiente expresión, considerando que la edad de primera madurez sexual (tn) es mayor o igual que la edad de reclutamiento (tr) y menor que la máxima longevidad real (tl):

$$E/R = SXW_{\infty} e^{-(F+M)(Tn-tr)} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega n e^{-nk(tn-to)}}{F+M+nK} (1 - e^{-(F+M+nK)(tl-tn)}) \quad (4)$$

la cual es una modificación a la conocida ecuación de rendimiento por recluta de Beverton y Holt (1957) pero en este caso tal rendimiento se expresa en número de huevos.

Para el caso del modelo aquí propuesto, partiendo de la ecuación (3) se obtiene la producción de huevos para cada i-avo grupo de edad:

$$Pi = (Br \cdot Hr \cdot F) i \cdot f$$

la frecuencia de desove también permanece constante para todas las hembras de la población durante el intervalo de estudio. De la sumatoria de la producción de todos los grupos de edad presentes resultará la producción total de la población:

$$Pt = \sum_{i=tn}^{tl} (Br \cdot Hr \cdot F) i \cdot f \quad (5)$$

donde tn es de nuevo la edad de primera madurez sexual. La importancia de este modelo radica en que es posible estimar la producción de huevos en una población variando la biomasa de hembras productoras de huevos de acuerdo a distintos regímenes de pesca, es decir, a diferentes valores de supervivencia. El punto de referencia es la producción potencial, la cual es el valor calculado de producción bajo condiciones ideales en ausencia de cualquier tipo de limitación sobre el crecimiento y la reproducción que no sea la mortalidad natural, y que como tal, dá una idea del potencial reproductivo de la especie en estudio (Winberg, 1971). El siguiente paso será entonces estimar el número de hembras maduras en cada grupo de edad de acuerdo a variaciones en la mortalidad por pesca y la edad de reclutamiento. Diferentes combinaciones de estas variables

proporcionará un valor de producción de una estructura por edades determinada; dicho valor se expresa como el porcentaje que representa con respecto a la producción potencial, la cual se considera en un cien por ciento. Si en un gráfico, cuyo eje de las abscisas represente los incrementos en la mortalidad por pesca y el eje de las ordenadas represente a la edad de reclutamiento, se señalan los valores porcentuales mencionados, se obtendrá una serie de isolíneas llamadas de producción relativa de huevos similar al diagrama clásico del modelo de Beverton y Holt (1957).

Estimación de los parámetros.

1. Número de hembras por grupo de edad.

A partir de la composición por edades de la captura se puede estimar la estructura por edades de la población en estudio. Basándose en muestreos biológicos es posible determinar la proporción machos: hembras presente, con la cual se tendrá la información suficiente para calcular el número de hembras en cada grupo de edad en la población.

2 Fecundidad por grupo de edad o de longitud.

Para las estimaciones de fecundidad se debe registrar el peso y la longitud de cada individuo, el peso de las gónadas, así como determinar su respectiva edad. Los métodos más comunes para contar huevos son el volumétrico y el gravimétrico, los cuales están ampliamente difundidos en la literatura y descritos en detalle por Bagenal y Braum (1978).

3 Relación fecundidad-peso y fecundidad-longitud.

Se ha demostrado repetidamente que existe una gran variabilidad del número de huevos en peces de la misma edad, longitud y peso, por lo cual es necesario que los datos sean analizados estadísticamente. Cuando se relaciona gráficamente la longitud contra la fecundidad se puede obtener una relación del tipo potencial:

$$F = a l^b$$

donde F es la fecundidad, a una constante, l es longitud y b el exponente, el cual usualmente es cercano a tres cuando se relaciona la fecundidad con la longitud y puede ser cercano a uno cuando se relaciona con el peso o la edad. Sin embargo, esta relación puede ser también lineal o exponencial (Nikolskii, 1963).

La estructura por edades de la población también es de importancia en los estudios de producción, y la fecundidad se puede relacionar con la edad (t) por medio de la expresión:

$$\log F = a + (b \cdot t)$$

donde a y b son constantes; es necesario recalcar que existe una enorme variabilidad dentro de cada grupo de edad, particularmente en especies de vida corta y en reproductores parciales.

4 Frecuencia de reproducción.

La estimación de la frecuencia (tasa) de reproducción es una de las partes más importantes para ser utilizadas dentro del modelo. Cuando la especie en estudio tiene una estación de desove bien definida, durante la cual todos los huevos maduros son liberados aproximadamente al mismo tiempo, la determinación de la frecuencia de desove es más bien fácil. Sin embargo, en especies que son desovadores múltiples, se han encontrado oocitos de dos tipos, con dos modas en su distribución de frecuencia de tamaños si se miden al principio de la estación de desove. Se puede medir el diámetro de los oocitos bajo microscopio con ocular micrométrico. Se debe tener la seguridad de que la proporción de huevos grandes y pequeños, y sus tamaños absolutos, son representativos de todo el ovario. Los huevos pequeños forman el stock de reclutamiento, y los mayores son los que serán liberados durante la estación que se aproxima (Bagenal y Braum, 1978).

Si se determina la distribución de tamaños de huevos a fines de la estación de reproducción, se puede encontrar que los huevos opacos con grasa muestran signos de ser multimodales; los de la moda más alta pueden llegar a contener más grasa y cambiar a un color amarillo, con lo que los ovarios contendrán ahora tres tipos de huevos. Esta situación puede sugerir que la especie desova más de una vez durante la estación de reproducción, en cuyo caso un examen posterior puede mostrar que los huevos más grandes faltan en algunos peces, tomando muestras regulares y encontrando el porcentaje de hembras con los huevos más grandes y amarillos, y en las hembras donde faltan este tipo de huevos, en ocasiones es posible encontrar los tiempos de desove en la estación a partir de los picos en las fluctuaciones de esos porcentajes. El número de picos puede concordar con el número de modas en la distribución de frecuencias de tamaños de los huevos, así como con la distribución de tallas de larvas y peces jóvenes, si se cuenta con esta información.

5 Edad de primera madurez y número de reproductores.

Mediante estudios histológicos de las gonadas, es posible conocer el porcentaje de hembras sexualmente maduras por grupo de edad; así, la edad de primera madurez sexual será aquella en la que el 50% de los individuos han alcanzado esta fase de desarrollo (Beverton y Holt, 1957; Torres *et al.*, 1987).

Se puede lograr una estimación preliminar de esta edad a partir de la relación fecundidad-peso o longitud, al igualar la fecundidad a cero en la ecuación que expresa matemáticamente dicha relación y encontrando el correspondiente valor de la longitud o del peso al cual comienza la producción

de huevos. La confiabilidad de esta estimación estriba en que se realice un buen muestreo y en que se utilice el mejor ajuste del modelo de regresión a los datos observados.

Con esta información, y conociendo la estructura por edades de la población, es posible conocer el número de individuos sexualmente maduros por grupo de edad; con la proporción por sexos se determinará entonces el número de hembras productoras de huevos por edad.

6 Coeficientes de mortalidad.

La determinación de los coeficientes de mortalidad es ya trabajo rutinario en cualquier estudio biológico-pesquero; muchos son los reportes donde se puede encontrar una descripción para su estimación (Ricker, 1975; Pauly, 1982; Gulland, 1983; entre otros). La incorporación del coeficiente de mortalidad natural al modelo depende de la relación que exista entre las edades de primera madurez y de reclutamiento: cuando la primera es menor que la segunda, el número de individuos, y de hembras en especial, se estimará entre estas dos edades a partir de la supervivencia que resulte de aplicar el coeficiente de mortalidad natural. De la edad de reclutamiento en adelante la supervivencia estará determinada, además, por la mortalidad por pesca.

Ahora bien, lo arriba explicado será aplicable también cuando se varíe el régimen de pesca dentro de un cierto intervalo para el cual se desean conocer las variaciones en la producción de huevos. Las variables que se modificarán serán, entonces, la mortalidad por pesca y la edad de reclutamiento, de tal manera que a cada par de valores le corresponderá una estructura por edades hipotética con una respectiva producción de huevos estimada, incluyendo todos los grupos de edad donde haya hembras productoras de huevos.

7 Parametros de crecimiento.

Los valores de los parámetros de las ecuaciones de crecimiento en peso y en longitud se pueden estimar mediante métodos indirectos utilizando la distribución de frecuencias de tallas; o bien, mediante la lectura de marcas de crecimiento en estructuras duras y el registro del peso y longitud respectivos de cada organismo.

Un ejemplo hipotético

En este punto, se aplicó el modelo utilizando datos ficticios de una especie hipotética con el fin de ejemplificar los aspectos arriba mencionados. Los datos utilizados fueron los siguientes: se partió de una proporción por sexos 1:1 y una frecuencia de reproducción igual a uno dentro de la época de desove; además se supuso que esta especie es sexualmente precoz, por lo que las edades de reclutamiento y de primera madurez son la misma, es decir, un año; la longevidad máxima real se consideró de diez años. El número de hembras fue de

1000000 en el primer año de vida. El coeficiente de crecimiento, $k = 0.2$; la longitud asintótica, $L_{\infty} = 300$ mm; la longitud al tiempo cero de vida, $t_0 = 0.1$; el coeficiente de la relación peso-longitud, $b = 3$; el peso asintótico, $W_{\infty} = 1800$ g. La relación fecundidad-longitud se expresó mediante la ecuación siguiente:

$$F = 130 e^{(1 \cdot 0.03)} \quad (6)$$

La mortalidad por causas naturales se supuso en $M = 0.5$, y las variaciones en la mortalidad por pesca se aplicaron con un delta de 0.2, desde $F = 0.2$ hasta $F = 1.0$.

Por último, la edad de reclutamiento se varió de una en una hasta la edad previa a la máxima longevidad real, pues si se considerará ésta no habría mortalidad por pesca y la producción de huevos sería igual a la producción potencial hasta esta edad.

RESULTADOS

A partir de la relación empírica propuesta por Pauly (1980), se estimó la longevidad máxima hipotética en quince años, es decir, la mayor edad a la que llegarían los individuos en la población vírgen, la cual se observa en la Tabla 1, con el número de hembras productoras de huevos por grupo de edad, estimado por la supervivencia debida a causas naturales; también se observa la fecundidad calculada por la ecuación (6) para la longitud promedio de cada grupo de edad. Es interesante notar que los individuos más viejos presentan fecundidades mayores, lo cual corrobora la afirmación hecha en el sentido de que la producción individual de huevos depende en gran medida del tamaño y del peso de los organismos. Sin embargo, en la tercera columna, donde se aprecia la producción de huevos por grupo de edad, se observa que esta producción tiene un incremento máximo entre las edades seis y siete, con valores mínimos en la primera y última edades. Esto se explica por el efecto combinado de la supervivencia descendente y la fecundidad ascendente desde los individuos jóvenes a los más viejos. En otras palabras, la producción de huevos depende directamente de la fecundidad individual y del número de hembras en cada grupo de edad.

Considerando el intervalo de valores de la mortalidad por pesca, se estructuraron las cinco poblaciones hipotéticas que se observan en la Tabla 2, con su respectiva producción de huevos, en números absolutos y en porcentaje. Para este caso, la edad de reclutamiento es la uno; en la Tabla 3, la edad de incorporación a la pesquería es la dos, con las estructuras poblacionales y producciones respectivas. El mismo procedimiento se sigue hasta la edad nueve.

De una manera gráfica, estos resultados se observan en la Figura 1, que muestra las isofías de producción relativa en función de la mortalidad por pesca y de la edad de reclutamiento. Por otro lado, en la Figura 2, se aprecian las

Tabla 1. Número de individuos, fecundidad promedio individual y fecundidad por grupo de edad (10^6) de la población virgen. $Z = M = 0.5$.

Edad	Numero de individuos	Fecundidad calculada	Fecundidad total (10^6)
1	1,000,000	573	0.06
2	606,531	2,237	0.14
3	367,879	6,826	0.25
4	223,130	17,016	0.39
5	135,335	35,945	0.49
6	82,085	66,305	0.54
7	49,787	109,461	0.54
8	30,197	165,009	0.50
9	18,316	230,912	0.42
10	11,109	304,039	0.34
11	6,738	380,850	0.26
12	4,087	457,979	0.19
13	2,479	532,622	0.13
14	1,503	602,707	0.09
15	912	666,902	0.06
Produccion potencial		4.39	

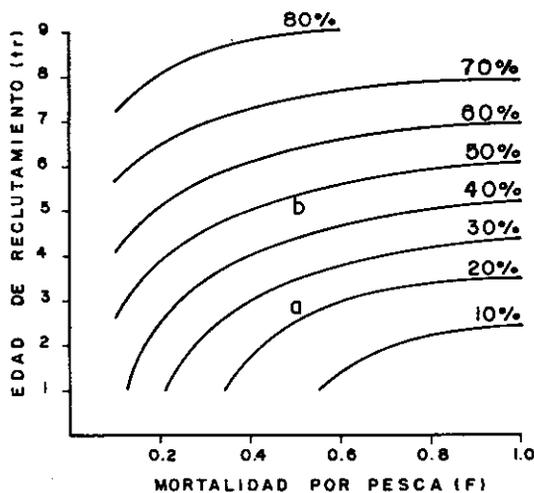


Figura 1. Isolíneas del modelo de producción relativa de huevos en función de la mortalidad por pesca y de la edad de reclutamiento. Los rendimientos por recluta óptimos en gramos (punto a) y en número de huevos (punto b) se estimaron mediante el modelo de Beverton y Holt.

Tabla 2. Número de individuos y fecundidad calculada F (10^6) por grupo de edad, variando el valor de F , y con $M = 0.5$, $tr = 1$.

Edad	No. de Ind. $F=0.2$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=0.4$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=0.6$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=0.8$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=1.0$	\bar{F} cal.
1	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06
2	496,585	0.11	406,570	0.09	332,871	0.07	272,532	0.06	223,130	0.05
3	246,597	0.17	165,299	0.11	110,803	0.08	74,274	0.05	49,787	0.03
4	122,456	0.21	67,206	0.11	36,883	0.06	20,242	0.03	11,109	0.02
5	60,810	0.22	27,324	0.10	12,277	0.04	5,517	0.02	2,479	0.01
6	30,197	0.20	11,109	0.07	4,087	0.03	1,503	0.01	553	0.00
7	14,996	0.16	4,517	0.05	1,360	0.01	410	0.00	123	0.00
8	7,447	0.12	1,836	0.03	453	0.01	112	0.00	28	0.00
9	3,698	0.09	747	0.02	151	0.00	30	0.00	6	0.00
10	1,836	0.06	304	0.01	50	0.00	8	0.00	1	0.00
Total		1.39		0.65		0.37		0.24		0.17
%		31.74		14.90		8.41		5.48		3.98

Tabla 3. Número de Individuos y Fecundidad calculada $F (10^6)$ variando F y con $Tr = 2$ y $M = 0.5$ constantes.

Edad	No. de Ind. $F=0.2$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=0.4$	\bar{F} cal.	No. de Ind. $F=0.6$	\bar{F} cal.	No. of Ind.	\bar{F} cal. $F=0.8$	No. of Ind.	\bar{F} cal. $F=1.0$
1	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06	1,000,000	0.06
2	606,531	0.14	606,531	0.14	606,531	0.14	606,531	0.14	606,531	0.14
3	301,194	0.21	246,597	0.17	201,897	0.14	165,299	0.11	135,335	0.09
4	149,569	0.25	100,259	0.17	67,206	0.11	45,049	0.08	30,197	0.05
5	74,274	0.27	40,762	0.15	22,371	0.08	12,277	0.04	6,738	0.02
6	36,883	0.24	16,573	0.11	7,447	0.05	3,346	0.02	1,502	0.01
7	18,316	0.20	6,738	0.07	2,479	0.03	912	0.01	335	0.00
8	9,095	0.15	2,739	0.05	825	0.01	249	0.00	75	0.00
9	4,517	0.10	1,114	0.03	275	0.01	68	0.00	17	0.00
10	2,243	0.07	453	0.01	91	0.00	18	0.00	4	0.00
Total		1.69		0.95		0.62		0.46		0.38
%		34.48		21.59		14.25		10.60		8.58

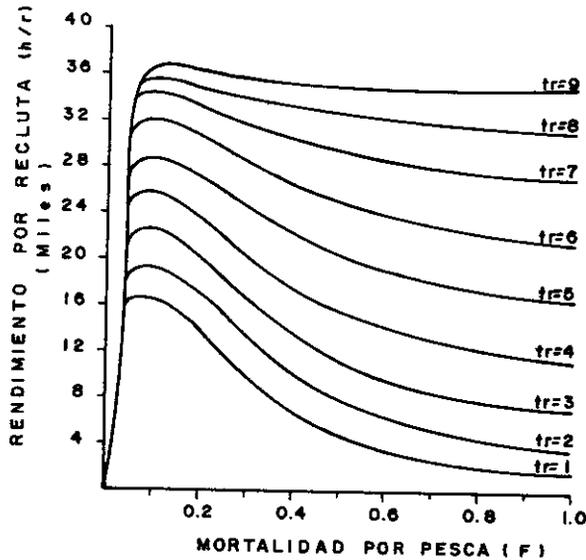


Figura 2. Curvas de rendimiento por recluta en número de huevos en función de la mortalidad por pesca y de la edad de reclutamiento.

curvas de rendimiento en número de huevos por recluta en función de las mismas variables. En la primera figura, el hecho más evidente es que a medida que se reduce la talla de reclutamiento y se aumenta la mortalidad por pesca, la producción de huevos disminuye, en este caso a un 10%. En una situación real, es posible identificar sobre esta figura el nivel de producción que tiene la población en estudio bajo un régimen de pesca determinado, y tener así una idea de como se está afectando el potencial reproductivo de tal población.

En la segunda figura se puede determinar en números absolutos la cantidad de huevos por recluta que aportará la porción reproductora de la población dadas diferentes combinaciones de F y tr . En correspondencia con lo mencionado, a edades de reclutamiento menores y altos valores de mortalidad por pesca, el rendimiento por recluta también disminuye debido a un descenso en la producción. En este sentido es interesante hacer notar que un aumento en el valor de la mortalidad por pesca puede ocasionar cambios drásticos en el rendimiento a edades de reclutamiento menores, y que estos cambios se van estabilizando en edades mayores, por ejemplo en $tr = 9$ un aumento de $F = 0.4$ a

$F = 1.0$ no produce cambios significativos debido a que la menor abundancia de organismos de esta edad disminuye la posibilidad de que sean capturados, manteniendo el rendimiento más o menos constante.

Las Figuras 3a y 3b representan el rendimiento por recluta expresado en peso y en número de huevos, respectivamente, según el modelo propuesto por Beverton y Holt (1957). Específicamente, la Figura 3b se obtiene de aplicar la ecuación (4). Una comparación muy evidente entre ambas figuras, es el aumento en la segunda en la edad de reclutamiento, de tres a cinco años, para obtener el rendimiento óptimo, aunque la mortalidad por pesca se mantiene constante. La explicación a este hecho tiene su base en que las estimaciones del rendimiento en número de huevos toman en cuenta la fecundidad relativa individual, es decir, el número de huevos por gramo del pez, de tal manera que los individuos de mayor talla, aunque en menor cantidad, brinden un rendimiento mayor debido a su fecundidad relativa elevada, en tanto que cuando este se expresa en peso, edades menores rendirán más en función de su abundancia.

De esta manera se obtienen dos rendimientos óptimos distintos en la edad de reclutamiento, dependiendo de cual sea el beneficio que se desea obtener, en biomasa o en fecundidad. Estas dos situaciones se pueden reflejar en la producción poblacional de huevos: de nuevo en la primera figura el punto (a) indica el rendimiento óptimo en biomasa, mientras que el punto (b) indica el rendimiento expresado en términos de fecundidad, ambos puntos identificados en la figura anterior. Es notoria la figura diferencia en el nivel de producción que ocasionaría cada situación, y dependiendo del objetivo del manejo de cada pesquería, se puede llegar al régimen de pesca adecuado para lograr cualquiera de las dos, o aún ubicarse en un punto intermedio. Quizá a simple vista resulte más benéfico situarse en el punto (b), debido a que se obtendría una producción anual de casi el 50% de la producción potencial. Sin embargo, es posible que un nivel de producción de casi 25% sea suficiente para mantener un nivel poblacional adecuado y así lograr el rendimiento óptimo en peso predicho por el modelo de Beverton y Holt (1957). De esta forma no se afectará su tasa de renovación natural. Esto dependerá necesariamente de la tasa de eclosión de los huevos liberados y de la mortalidad natural que incida sobre los grupos de edad hasta antes del de su incorporación a la pesquería, con lo cual no será necesario, tal vez, elevar la edad de reclutamiento con la consecuente disminución del rendimiento óptimo en peso (de 54 g a menos de 42 g).

Por último, es necesario tratar de explicar las diferencias en las estimaciones del rendimiento por recluta en número de huevos que se observan en los resultados del modelo aquí expuesto y del de isopletras de rendimiento. En el primer caso se incluye la producción de todos los grupos de la población, aun de los anteriores a la edad de reclutamiento: de ahí los rendimientos tan altos. En el segundo caso, y considerando la definición misma del método, este incluye solamente la producción de la edad de reclutamiento que aporta el rendimiento

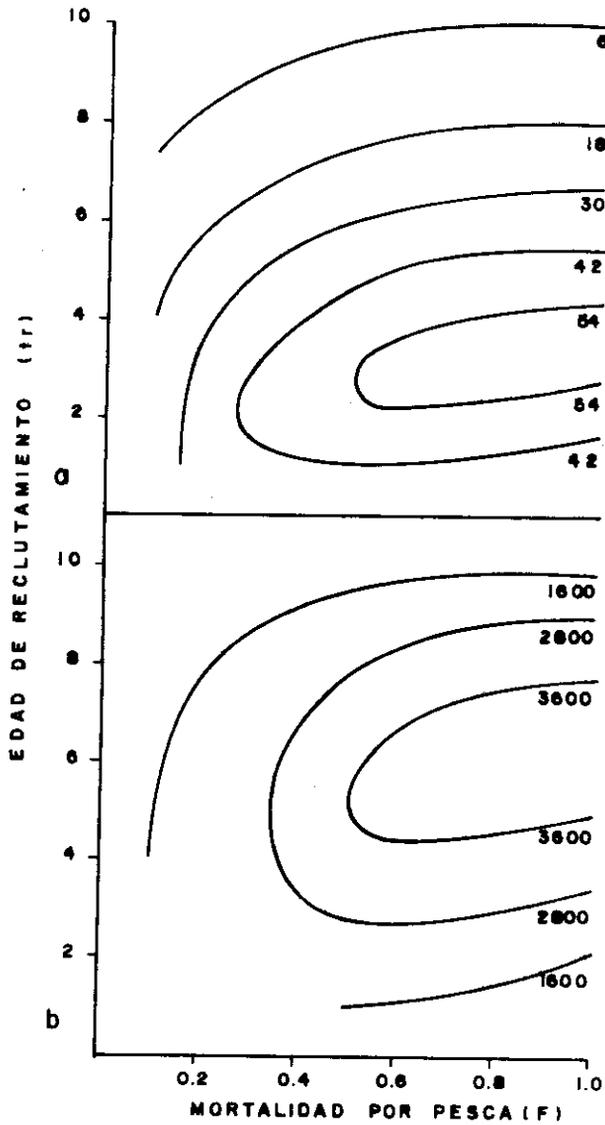


Figura 3. Isopletas de rendimiento según el modelo de Beverton y Holt: a) expresado en gramos por recluta; b) expresado en número de huevos por recluta.

óptimo. Sin embargo, ambas metodologías no se contraponen ya que tienen la misma estructura.

DISCUSION

Los multiples aspectos que involucran estudios sobre biología de la reproducción de especies bajo condiciones de explotación pueden ser utilizados para estimar la biomasa desovante de una población y la producción total de huevos; para realizar predicciones sobre el rendimiento en futuras temporadas de pesca; para tener una concepción más clara de la relación parentela- progenie y sobre la tasa de renovación natural de la población así como para determinar el proceso de maduración sexual de los individuos por grupo de edad de las especies estudiadas. Sin embargo, la incorporación de los parámetros que describen tales procesos a modelos matemáticos deberá realizarse una vez que se cuente con la información básica sobre la biología de la especie, así como de las fluctuaciones estacionales inherentes a los procesos fisiológicos y a la dinámica de las poblaciones. Esto permitirá hacer el menor uso posible de supuestos teóricos que introducen un amplio margen de incertidumbre en las estimaciones realizadas.

En este orden de ideas, se ha pretendido desarrollar un modelo que incorpora parámetros que pueden ser calculados mediante estudios de biología básica. Sin embargo, el ejemplo hipotético que se presentó es útil debido a su generalidad. Por otro lado, el modelo ha sido aplicado a varias pesquerías con resultados alentadores que serán publicados oportunamente. Modelos similares han sido desarrollados para el estudio de la fecundidad en especies de langosta (Caddy, 1977, 1979; Campbell y Robinson, 1983; citados por Campbell, 1985), y al igual que aquellos, este modelo parte de suposiciones similares a los modelos clásicos de rendimiento por recluta de Beverton y Holt (1957) y Ricker (1975).

La utilidad del modelo reside en la posibilidad de estimar la producción de huevos de una población bajo un nivel de explotación dado, teniendo así una idea aproximada del potencial reproductivo de la especie en estudio con referencia a la producción de la población vírgen. En sentido inverso, si se dispone de datos sobre la abundancia de huevos en áreas y tiempos definidos, mediante la ecuación (3) se podrá estimar la biomasa anual de la población desovante y por lo tanto del posible rendimiento pesquero.

Existen dos aspectos interesantes, pero a la vez sumamente difíciles de precisar: a) Conocer que porcentaje de huevos liberados es fecundado, cuántos de ellos eclosionan y cuántos de esos nuevos individuos logran sobrevivir e incorporarse a la pesquería. b) Cuales son los cambios en el crecimiento y la reproducción de los individuos de una población bajo diferentes niveles de explotación. Con respecto al primer punto, en términos generales se sabe que este porcentaje es mínimo, pero al precisarse un poco más sobre este punto, tal vez se podría conocer si una población en particular rinde buenas capturas con

niveles bajos de producción de huevos, es decir, cuan dependiente es de su fecundidad total, y si al aumentar ésta, una alta densidad de huevos y larvas determina o no una alta mortalidad de éstas. Ricker (1954) ya había mencionado, que existe una alta mortalidad compensatoria entre los primeros estadios de vida de una especie dada. El entendimiento del problema de la relación parentela-progenie y de los mecanismos compensatorios de control, son de vital importancia dentro del contexto de la dependencia entre producción de huevos y población reproductora (Cushing, 1981). El otro aspecto de suma importancia se refiere a los cambios en el crecimiento y en la reproducción de los individuos de una población bajo diferentes niveles de explotación. Para fines prácticos en el presente trabajo se consideraron ambos aspectos como constantes al estimar la producción potencial. Sin embargo, Nikolskii (1963) y Winberg (1971) han hecho ciertas consideraciones teóricas sobre las variaciones en estos procesos. La secuencia general de los eventos sería la siguiente: una población que sufre un aumento en la intensidad de pesca presentará una disminución en el número de individuos que la componen; ésta traerá como consecuencia un mayor espacio vital y una mayor disponibilidad de alimento, este aumento proporcionaría el crecimiento tanto somático como gonadal aumentado así la fecundidad de las hembras reproductoras, tendiendo la población hacia un nuevo equilibrio. La gran incógnita es determinar la magnitud de la respuesta de la población en el tamaño de los organismos y en el número de huevos que se producirán bajo las nuevas condiciones de explotación. El problema se hace más complejo si se considera que la presión de depredación es otro factor que condiciona las estrategias de reproducción de las especies, esto es disminuyendo su edad de primera madurez y aumentando su fecundidad (Grimes, 1987).

Resulta también de la mayor utilidad identificar el nivel de producción de huevos dependiendo de los objetivos específicos que se persigan en cada pesquería: si se persiguen mayores capturas, los rendimientos óptimos en peso se lograrán con edades de reclutamiento menores que las que proporcionarían rendimientos óptimos en términos de fecundidad, pero al mismo tiempo, reducirán el nivel de producción de huevos de la población y por lo tanto el rendimiento por recluta en estos términos, el cual podría tomarse como un índice del potencial reproductivo de la especie como ya se mencionó anteriormente. Por otro lado, si se desea proteger el recurso, se aumentará la edad de primer ingreso a la pesquería para incrementar la producción de huevos aunque se reduzca el rendimiento en biomasa. Estas predicciones deberán ser comprobadas realizando un seguimiento de la capturas de una especie en particular durante varias sucesivas temporadas de pesca.

LITERATURA CITADA

- Bagenal, T.B. y E. Braum. 1978. Eggs and Early Life History. In T. Bagenal (ed.). *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. IBP Handbook No 3, Ed. Blackwell Scien. Pubs.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt. 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Population. *Fish Invest. Minist. Agr. Fish. Food. G. B.* 19: 533pp.
- Campbell, A. 1985. Application of a Yield and Egg-per-recruit Model to the Lobster Fishery in the Bay of Fundy. *North Amer. Jour. Fish. Managem.* 5:91-104.
- Cushing, D. H. 1981. Stock and Recruitment. In *Fisheries Biology: A Study in Population Dynamics*. Univ. of Wisconsin Press, 142-171.
- DeMartini, E.E. y R.K. Fountain. 1981. Ovarian Cycling, Frequency and Batch Fecundity in the Queenfishs, *Seriphus politus*: Attributes Representative of Serial Spawning Fishes. *Fish. Bull.* 79(3):547-560.
- Grimes, C.B. 1987. Reproductive Biology of the Lutjanidae: a review. In J.J. Polovina y S. Ralston (eds.). *Tropical Snappers and Groupers, Biology and Fisheries Management*. Westview Press, London.
- Gulland, J.A. 1983. *Fish Stock Assessment. A Manual of Basic Methods*. FAO/W1. 223pp.
- Lasker, R. 1985. An Egg Production Method for Anchovy Biomass Assesment. In R. Lasker (ed.). *An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax**. NOAA Technical Report NMFS 36.
- Nikolskii, G.V. 1963. *The Ecology of Fishes*. Academic Press, New York, 352pp.
- Pauly, D. 1980. On the Interrelationships Between Natural Mortality, Growth Parameters and Mean Environmental Temperature in 175 Fish Stocks. *J. Cons., Cons. Int. Explor. Mer.* 39(3):175-192.
- Pauly, D. 1982. Studying single-species dynamics in a multispecies context. In D. Pauly and G.I. Murphy (eds.). *Theory and Management of Tropical Fisheries*. ICLARM Conf. Proc. 9:360p.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191:382p.
- Ricker, W. E. 1954. Stock and Recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.* (11):559-623.
- Ricker, W.E. 1954. Stock and Recruitment. *J. Fish. Res Board Can.* (19):8-73.
- Serns, S.L. 1982. Walleye Fecundity, Potential Egg Deposition, and Survival from Egg to Fall Young-of-year in Escanaba Lake, Wisconsin, 1979-1981. *North Amer. Jour. Fish. Manag.* 4:388-394.
- Takeshita, K. (pers. comm.). Seikai Regional Fisheries Research Laboratory. 49 Kokubu-cho, Nagasaki, 850 Japan.

- Torres, R.L., M. Matsuyama y S. Matsuura. 1987. Sexual Maturity of the Red Sea Bream *Pagrus major* from the Chikuzenkai, Northern Kyushu, in 1985. *J. Fac. Agri., Kyushu Univ.*, **31(4)**:383-389.
- Winberg, G.G. 1971. *Methods for the Estimation of Production of Aquatic Animals*. Academic Press, London.