

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

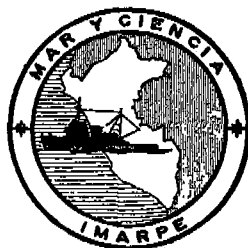
INFORME No. 31

**Investigaciones Adicionales de la Dinámica de la
Pesquería de la Anchoveta (*Engraulis ringens*)
en el Perú**

por

Milner B. Schaefer

**(Instituto de Recursos Marinos, Scripps Institution of
Oceanography, La Jolla, California)**



**CALLAO, PERU
MARZO, 1970**

Investigaciones Adicionales de la Dinámica de la Pesquería
de la Anchoveta (*Engraulis ringens*) en el Perú

por

Milner B. Schaefer*

C O N T E N I D O

	Pág.
1.—Introducción	3
2.—Reconocimientos	5
3.—Recientes análisis previos de la pesquería comercial	5
4.—Medida y estandarización de la captura por unidad de esfuerzo y del esfuerzo	7
5.—Efectos de los cambios en la población de aves guaneras	9
5.1 Hipótesis y datos empleados	9
5.2 Análisis	10
5.3 Discusión	11
6.—Modelos alternativos de la productividad de la población de anchoveta	11
6.1 Modelos empleados anteriormente	11
6.2 Modelo general de productividad de Pella y Tomlinson	13
6.3 Naturaleza del modelo	13
6.4 Aplicación del modelo	14
6.5 Aplicación del modelo general de productividad a la dinámica de la pesquería de la anchoveta	16

* Instituto de Recursos Marinos, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California.

7.—Indicaciones para la administración de la pesquería de la anchoveta..	18
7.1 Participación de la pesca comercial y de la población de aves guaneras..	18
7.2 El esfuerzo al nivel del máximo rendimiento sostenible en relación al tamaño de la flota comercial pesquera..	19
8.—Literatura citada..	20
Tablas..	22
Figuras..	24

1.—INTRODUCCION

La pesca comercial de la anchoveta, *Engraulis ringens*, a lo largo de la costa del Perú es ahora la más grande pesquería de una sola especie en el mundo, habiendo producido cerca de 10 millones de toneladas métricas durante el año pesquero 1967-68. Como puede verse en la Figura 1, que muestra la captura anual de anchoveta por año calendario, la pesquería comenzó a un nivel bajo a mediados de la década del 50, pero aceleró rápidamente, alcanzando a más de 4 millones de toneladas durante 1961. Hasta esa época las agencias gubernamentales del Perú habían colectado buenas estadísticas de captura total, pero no se había obtenido información adecuada sobre captura por unidad de esfuerzo, de la cual puede estimarse la abundancia de la población, y también el esfuerzo total de pesca. Sin embargo, a partir de 1960 el Instituto del Mar del Perú ha mantenido un sistema excelente para la colección de estadísticas no sólo de la captura total, sino también de la captura por unidad de esfuerzo. De la figura puede verse que desde entonces, la pesquería ha continuado incrementándose rápidamente, aunque más o menos se niveló alrededor de 8 millones de toneladas en 1964 hasta 1966. En 1967 y 1968 hubo un aumento en la captura total, permitida por el gobierno peruano sobre la base de análisis continuados por el Instituto del Mar de la condición de la población de la anchoveta y su reclutamiento anual, de manera que durante los años más recientes, la captura total ha estado cercana a los 10 millones de toneladas.

También se muestran en la Figura 1 puntos estimados de la población de aves guaneras adultas en las fechas que se indican en la figura. Puede verse que la población de estas aves, que también subsisten principalmente de la anchoveta, ha sufrido cambios bastante grandes durante los años representados. La baja en 1957-58 fue debida a "El Niño" de aquellos años (Jordán y Fuentes, 1966). Después de esta baja, la población de aves se recuperó rápidamente hasta un nivel de unos 16 millones de adultos. Otro El Niño nuevamente mermó la población de aves, a algo así como 4 millones de adultos, y desde entonces la población se ha mantenido casi en el mismo nivel o ha aumentado escasamente. Como se explica en detalle más adelante, uno de los propósitos de este trabajo es examinar los efectos conjuntos de la pesquería y de la predación de las aves sobre la abundancia de la población de la anchoveta y la cosecha que puede obtenerse de ella.

Aunque los datos sobre la captura de la anchoveta en la Figura 1 están dados por años calendarios, un año pesquero es lo más conveniente para administrar la pesquería y para analizar los datos estadísticos de captura, porque es más efectivo en el sistema corriente de administración pesquera suspender la pesca durante la temporada principal de desove, en el invierno sureño. El año de pesca comienza el 1º de Setiembre cada año y continúa durante el año siguiente hasta que la cosecha permisible ha sido recogida (véase Schaefer 1967 e Instituto del Mar del Perú 1968a).

Los análisis de datos concernientes a la captura comercial total, captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo total derivado de eso, para los años pesqueros 1960-61 a 1965-66 (Schaefer 1967) proporcionaron un estimado del promedio de la relación de equilibrio entre el esfuerzo pesquero y la captura por unidad de esfuerzo, y en consecuencia, del rendimiento total sostenible. El método de estimación se basó en asumir que la logística de Verhulst-Pearl es la ley del crecimiento de la población de anchoveta,

lo cual corresponde a una relación lineal entre el esfuerzo de pesca y la captura por unidad de esfuerzo en el estado de equilibrio (Schaefer 1954, 1957, 1967). En la Figura 2 de mi trabajo de 1967, se da el estimado conjunto de los datos de la pesquería comercial a lo largo de toda la costa del Perú. Los puntos sólidos son los datos reales de esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo, a los cuales se ajusta la línea de cuadrados mínimos de regresión rotulada 3. Esto correspondería a un estimado de la relación promedio bajo condiciones de equilibrio si la pesquería observada cada año hubiera sido estable. Ya que no fue así, y porque, en general, la pesquería estuvo en aumento durante este período, esta línea proporciona un estimado demasiado alto de la abundancia estable y de la captura para un esfuerzo de pesca dado. Los círculos abiertos y la línea cortada ajustada a ellos, rotulada 4, corresponden a la estimación del rendimiento equilibrado por un método, siguiendo a Gulland (1961), por medio del cual la captura por unidad de esfuerzo es planteada contra el esfuerzo promedio experimentado durante el lapso de vida de una camada de peces en la pesquería, es este caso dos años. Como se indica en la figura, el rendimiento promedio máximo sostenible, C_{max} , fue así estimado alrededor de 7.5 millones de toneladas métricas por año.

Gulland (1968) ha examinado no solamente el modelo empleado por Schaefer (1967), sino también un modelo que asume reclutamiento constante a todos los niveles de población y esfuerzo pesquero correspondiente observados o probables de ocurrir en esta pesquería. El muestra que cualquiera de los dos modelos parece ajustarse a los datos existentes más o menos igualmente bien. Sin embargo, si el modelo propuesto por Schaefer se aplica, habría una aguda disminución en el rendimiento total sostenible al aumentar el esfuerzo pesquero por encima de más o menos 1.3 millones de embarcación-tonelada-mes, standard, mientras que con el reclutamiento constante postulado por Gulland, la cosecha total continuaría aumentando, pero sólo muy lentamente, como puede verse en la Figura 6 de Gulland (1968). Así, bajo cualquiera de las dos hipótesis, parecería que la pesquería debería ser reducida a la cantidad de esfuerzo pesquero correspondiente a un rendimiento promedio sostenible de alrededor de 7.5 millones de toneladas métricas por año.

Ahora volviendo a la Figura 1, se puede ver que durante el período cubierto por los datos analizados en mi trabajo de 1967, la población de aves guaneras adultas fue moderadamente constante, en la vecindad de 16 millones de aves. Ese número de aves come alrededor de 2.5 millones de toneladas métricas de anchoveta por año, basado en el consumo de 430 gramos por ave por día, que corresponde a 157 kilos por ave por año, según estimado de Jordán y Fuentes (1966). Schaefer (1967) reconoció que las aves guaneras y los pescadores son probablemente competidores directos en su predación de la anchoveta y, en consecuencia, declaró: "Así para estimar el rendimiento promedio máximo sostenido de anchoveta disponible para el hombre y para las aves guaneras, es necesario añadir al estimado previo de 7.5 millones de toneladas la cantidad de 2.5 millones de toneladas que fueron usadas por las aves, lo que hace un total estimado de 10 millones de toneladas métricas. Parece entonces que, en promedio, la cosecha máxima continuada de anchoveta en las aguas peruanas es de 10 millones de toneladas para ser repartidas entre el hombre y las aves guaneras".

Como ya hemos notado, en 1965 la población de aves disminuyó drásticamente debido a una invasión de agua cálida a lo largo de la costa (El Niño) hasta más o

menos 4 millones de adultos (Jordán y Fuentes 1966). Desde entonces, la población de aves se ha recuperado muy lentamente hasta unos 5 millones de adultos en Marzo de 1969. Por lo tanto, parece que esto no es como en El Niño de 1957-58, después del cual la población de aves se recuperó muy rápidamente, como ya hemos visto en la Figura 1. La diferencia puede ser debida a los respectivos niveles de predación por los pescadores en las dos situaciones. Además, como veremos más adelante, siguiendo la declinación de la población de aves guaneras han habido aparentes incrementos en el reclutamiento de la población de anchoveta de tamaño comercial, y cambios aparentes en la cosecha sostenible estimada de la pesca comercial.

De ahí que un propósito principal de este trabajo sea examinar con más detalle las relaciones de los efectos de la población de aves guaneras y la pesquería comercial sobre la abundancia y la cosecha total sostenible de la población de la anchoveta.

El segundo propósito de este trabajo es examinar las relaciones promedio entre esfuerzo pesquero, abundancia de la población y cosecha total aprovechando de un modelo generalizado de productividad de poblaciones de peces, a fin de proporcionar algunas bases adicionales para decidir si algún otro modelo es más apropiado en este caso que la logística de Verhulst-Pearl.

También examinaremos algunas de las implicaciones de los resultados de los análisis anteriores a la administración de la pesquería.

2.—RECONOCIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la cooperación de todo corazón del personal del Instituto del Mar del Perú, quienes no solamente pusieron a mi disposición los datos utilizados en el estudio, sino que también proporcionaron un lugar de trabajo en el Instituto y ayuda en la tabulación de los datos durante mis visitas al Perú, y subsecuentemente me enviaron datos adicionales así como también me proporcionaron valioso consejo. Estoy especialmente agradecido al Capitán Alfredo V. Freyre, Director General del Instituto; Dr. Jorge Sánchez, Director Técnico y a los siguientes miembros del personal científico, Dr. Rómulo Jordán, Srta. Isabel Tsukayama y el Dr. Isaac Vásquez Aguirre.

La Sociedad Nacional de Pesquería no solamente proporcionó ayuda financiera para las investigaciones, sino que también muy bondadosamente proporcionó espacio y ayuda en sus oficinas en Lima, así como valiosos consejos. Estoy especialmente agradecido al Sr. Carlos Otero Lora, Gerente General de la Sociedad y al Dr. Ulises Robles.

3.—RECIENTES ANALISIS PREVIOS DE LA PESQUERIA COMERCIAL

Empleando la misma clase de análisis que fue empleado en mi anterior trabajo (Schaefer 1967), y el modelo logístico de productividad pesquera empleado allí, los científicos del Instituto del Mar han estimado cada año y conforme se disponía de datos adicionales, la relación entre esfuerzo de pesca comercial, abundancia de anchoveta y rendimiento sostenido. Esto ha resultado en que los estimados del rendimiento máximo

sostenible han aumentado por encima de los correspondientes a los primeros análisis, como puede verse en varios de los informes del Instituto del Mar del Perú (1968, 1969). Se indica, por ejemplo en el Informe Especial IM-30 (1968), en las Tablas 4 y 5 y en el texto que las acompaña, que el análisis de todos los datos de 1960-61 a 1967-68 inclusive, con respecto al esfuerzo de pesca y captura por esfuerzo, da un estimado del rendimiento máximo sostenible de 8.49 millones de toneladas métricas por año, empleando la línea ajustada a los datos actuales, y 8.21 millones de toneladas métricas por año si se emplea una línea de condiciones de equilibrio determinada de acuerdo al "método de Gulland", esto es relacionando la captura por esfuerzo en un año dado al esfuerzo promedio durante aquel año y en el año anterior.

En el Informe Especial IM-42 (1969), se informa que análisis similares, empleando la captura por TBR-viaje como medida de abundancia y el correspondiente TBR-viaje como la unidad de esfuerzo de pesca (que será discutido más adelante), da estimados del rendimiento promedio máximo sostenible, empleando una línea ajustada a los puntos de datos actuales y empleando el "método Gulland", de 8.7 millones de toneladas métricas por año y 8.5 millones de toneladas métricas por año, respectivamente.

Al mismo tiempo, los científicos del Instituto del Mar han estado estimando cada año, el reclutamiento del stock explotable de anchovetas midiendo la captura por unidad de esfuerzo, en números de peces, de los miembros de la clase anual entrante durante sus primeros meses en la pesquería. El método de estimar el reclutamiento está descrito en Instituto del Mar (1967), donde también se muestra que la clase anual entrante en 1966 fue más abundante que el promedio a largo plazo, y que los datos preliminares de 1967 indicaron una muy fuerte clase anual por lo menos en la región central de la pesquería. En el Informe Especial IM-30 (1968), la Tabla 6 indica que el reclutamiento de la población de la anchoveta en 1966, 1967 y 1968, en cada caso estuvo muy por arriba del promedio a largo plazo.

A fin de examinar con más detalle los resultados de los análisis, empleando el modelo logístico, de los datos para todos los años desde 1960-61 hasta 1967-68 inclusive, he repetido los análisis de la relación entre el esfuerzo en TBR-viajes y la captura por unidad de esfuerzo, en toneladas por TBR-viaje para los años 1960-61 a 1967-68. Los datos empleados se dan en las cuatro primeras columnas de la Tabla 1, y consisten, para cada año pesquero, del total de la captura por la pesca comercial para toda la costa del Perú; la captura por unidad de esfuerzo, en toneladas por TBR-viaje, corregida por efectos estacionales, eficiencia de aparejos, etc.; y el esfuerzo total ejercido, obtenido dividiendo la captura total por la captura por unidad de esfuerzo pesquero. Los datos y los resultados de los análisis se dan en la Figura 3. Los círculos abiertos y la línea continua de regresión corresponden a los datos actuales, mientras que los triángulos y líneas interrumpida corresponde a los estimados de equilibrio por el "método Gulland". Se puede ver en esta figura que el promedio del máximo rendimiento sostenible es de esta manera estimado en alrededor de 8.5 millones de toneladas métricas (como ya se había expuesto en el Informe Especial IM-42, anotado arriba), pero también se notará que los puntos por los dos últimos años caen arriba de la línea de tendencia seguida por los primeros años.

Ciertamente, es la crecida captura por esfuerzo en relación al esfuerzo durante los años más recientes la que explica la rotación de las líneas de mejor ajuste, lo que

resulta en aumento de los estimados del promedio del máximo rendimiento sostenible.

El aumento de la abundancia de peces en relación a la cantidad del esfuerzo de pesca comercial durante los años recientes, y el incremento aparente en el reclutamiento, justo al tiempo que la población de aves ha permanecido a un nivel algo bajo, conduce a la interrogante de si puede o no ser que estos fenómenos son principalmente el resultado de la baja predación por las aves guaneras sobre el mismo stock de peces que es perseguido por los pescadores y no tiene necesariamente relación con otros cambios ambientales en el océano. A fin de examinar más profundamente esta hipótesis, he examinado las relaciones entre esfuerzo pesquero ejercido, conjuntamente por los hombres y las aves, la abundancia del stock de anchoveta, y la cosecha total por hombres y por aves combinada, tratando esta combinación como una pesquería simple. Antes de discutir este análisis, sin embargo, es conveniente revisar los métodos recientemente desarrollados para medir y estandarizar el esfuerzo pesquero, mencionados anteriormente.

4.—MEDIDA Y ESTANDARIZACION DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO Y DEL ESFUERZO

En el pasado, la unidad de esfuerzo pesquero empleada en la pesquería de la anchoveta ha sido el tonelaje de registro bruto por mes (TBR-mes). Por razones de diferencias en la disponibilidad de peces durante los meses calendarios, ha sido necesario, a fin de expresar los datos de la pesquería para años diferentes en unidades comparables, aplicar factores de corrección para tomar en cuenta esta disponibilidad estacional variable para aquellos años en los cuales no hubo pesca en ciertos meses, por razones de veda, huelgas u otras causas. Además, durante algunos meses en años recientes, las embarcaciones han pescado solamente una parte del mes; esto ha sucedido cuando parte del mes era temporada de veda, o había una huelga. En estos casos, es necesario, al calcular el esfuerzo de pesca en términos de TBR-meses aplicar las correcciones a los datos de tales meses parciales, ya que en tales períodos las embarcaciones pescan solamente parte del mes, mientras que el empleo de la embarcación-pesca-mes asume que la embarcación pesca durante el mes entero. Una fuente adicional de disminución en el esfuerzo de pesca durante un mes fue el establecimiento de vedas los fines de semana comenzando en Setiembre de 1967, lo que también necesita un factor adicional de corrección. Además ha resultado conveniente aplicar factores de corrección a los cambios en la eficiencia de las embarcaciones a través de los años; esto por supuesto, se refiere tanto al TBR-mes como al TBR-día-pesca (o TBR-viaje).

Obviamente es mejor emplear el TBR-día-pesca en vez de TBR-mes, porque esto elimina la necesidad de corrección para la flota cuando pesca solamente parte del mes, y cuando está sujeta a las vedas de fines de semana, y porque también automáticamente se hace cargo de la situación cuando algunas embarcaciones de la flota trabajan sólo parte del mes, mientras otras trabajen durante el mes entero. Con respecto al último factor, el uso de embarcación-pesca-mes supone que la porción de la flota que trabaja solamente parte de un mes permanece constante de año a año; esto ha sido probablemente una razonable suposición, pero con una distribución cambiante de edades de las embarcaciones, puede ser una fuente potencial de error que debería ser eliminada.

Hasta 1968, no ha sido posible emplear el TBR-día-pesca como medida standard de esfuerzo, por la falta de información referente a las actividades día a día de las embarcaciones individuales en la flota pesquera. Sin embargo, durante 1968 IMARPE recopiló informes de los años pasados y está obteniendo datos actuales sobre viajes individuales de tal forma que es ahora posible, tanto para el pasado como para la actualidad emplear el TBR-viaje como una medida de esfuerzo de pesca. Esto es porque, para una gran parte de la flota actual, y para una muestra adecuada de la flota en el pasado, hay registradas las capturas de viajes individuales. De tales datos puede calcularse el promedio de captura por TBR-viaje, y aplicándola a la captura total, podemos calcular el esfuerzo en TBR-viajes

Con respecto a la nueva unidad de abundancia de la anchoveta, la captura por TBR-viaje (y la correspondiente medida de esfuerzo), hay tres aspectos a considerarse: (1) ¿Cuál es la relación de esta nueva estadística a la estadística más antigua, la captura por TBR-mes?; (2) ¿Con qué exactitud representa la captura por TBR-viaje, la captura por TBR-día de pesca?; (3) ¿Es probable que la relación entre la captura por TBR-viaje y la captura por TBR-día de pesca cambie en el futuro, introduciendo así un posible nuevo sesgo, y es probable que los cambios futuros en la flota pesquera hagan cualquiera o ambas de estas medidas de abundancia de anchoveta inadecuadas?

A fin de examinar la relación entre la captura por TBR-mes y la captura por TBR-viaje, están ploteados en la Figura 4, para cada uno de los años pesqueros desde 1960-61 hasta 1967-68, los valores de estas dos estadísticas. Los valores de la captura por TBR-mes fueron tomados de la Tabla 4 del Informe Especial IM-30 (1968). Estos datos han sido corregidos por los efectos de vedas y huelgas, por los efectos de meses parciales de pesca, y por cambios en la eficiencia de los aparejos entre años. La captura por TBR-viaje es la misma que aquella que aparece en la columna 3 de la Tabla 1, y ha sido corregida por los efectos de las temporadas de veda y huelgas, de la misma manera como fueron los datos de la captura por TBR-mes, y así mismo corregidas por diferencias entre años en la eficiencia de las embarcaciones de la misma manera como la captura por TBR-mes. La línea en la Figura 4 es la regresión por cuadrados mínimos que pasa por el origen.

En esta figura puede verse que los dos estimados están muy estrechamente correlacionados, de manera que cualquiera de los dos puede ser empleado con igual validez durante estos años. Ya que la captura por TBR-viaje no requiere algunas de las correcciones que requiere la captura por TBR-mes, y no requiere una de las suposiciones, como ya se ha indicado arriba, es sin duda superior en cuanto a su aplicabilidad.

Debe anotarse, sin embargo, que lo que nos gustaría emplear es el **TBR-día de pesca** y que el TBR-viaje es un válido estimador del TBR-día de pesca **solamente** si todas las embarcaciones de la flota utilizan un día, y solamente un día, por viaje, haya o no haya habido captura. Las dos medidas, son por supuesto, proporcionales si la fracción de la flota que utiliza más de un día en un viaje permanece constante de año a año. Parece que el TBR-viaje ha sido una aproximación razonable al TBR-día de pesca en el pasado, y puede aún ser una razonable aproximación en la actualidad. Sin embargo, con embarcaciones más grandes, de mayor capacidad de bodega y mayor radio de acción, probablemente existirá la tendencia de tales embarcaciones más grandes, en por lo menos algunas ocasiones, de no completar un viaje en un solo día. Ciertamente he sido informado

por algunos administradores que a principios de 1969, hubieron ocasiones en que algo de pesca se efectuó como a veinte o treinta horas del puerto de desembarque, de manera que las embarcaciones no pudieron completar un viaje en un solo día. Es por lo tanto recomendable que el Instituto comience a obtener información sobre la fecha y hora de partida y la fecha y hora de regreso de las embarcaciones, de manera que la conveniente estadística de abundancia, la captura por TBR-día pueda ser calculada en el futuro, y que sea empleada en lugar de la captura por TBR-viaje cuando haya indicaciones de que la última estadística ya está sujeta a sesgos significativos.

Con respecto a la tercera interrogante de arriba, esto es el efecto probable sobre las medidas de abundancia de los cambios en el tamaño de las embarcaciones de la flota pesquera, dos asuntos necesitan examen continuo. El primero de estos es aquel al que acabamos de referirnos, la mayor duración de los viajes por embarcaciones más grandes que puede afectar la relación entre la captura por TBR-viaje y la captura por TBR-día. El segundo factor es la relación entre el tamaño de la embarcación y su eficiencia, aún si la captura por TBR-día es empleada como medida de abundancia. Un examen de las estadísticas a través de 1965 por Schaefer (1967) indicó que hasta esa fecha, la eficiencia de las embarcaciones permaneció proporcional a su registro bruto de toneladas, para todas las clases de tamaños. De la experiencia con otras pesquerías, sin embargo se espera que a algún tamaño de embarcación la eficiencia no aumentará tan rápidamente como el tonelaje de registro bruto. Cuando esto ocurra, no será ya valioso emplear cualquiera de los dos el TBR-viaje o el TBR-día de pesca como la unidad de esfuerzo, sin aplicar alguna corrección adicional. En ese entonces, será necesario hacer una corrección adicional para el efecto del tamaño de la embarcación sobre la eficiencia por TBR. En consecuencia, es importante que la relación entre el tamaño de la embarcación y el factor de eficiencia continúe siendo reexaminado cada año conforme embarcaciones más y más grandes se incorporan a la flota.

5.—EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN LA POBLACION DE AVES GUANERAS

5.1 Hipótesis y datos empleados

Como se ha anotado arriba, el aumento de la abundancia de las anchovetas en relación a la cantidad del esfuerzo de pesca comercial durante los años recientes, y los cambios aparentes en el reclutamiento, pueden muy posiblemente ser debidos principalmente a una más baja predación de parte de las aves guaneras sobre el mismo stock de peces que son perseguidos por los pescadores. Para examinar esta hipótesis, podemos tratar el stock de anchoveta comercial como una sola entidad que es cosechada conjuntamente por los hombres y por las aves guaneras, tratando esta combinación como una sola pesquería. A fin de hacer esto, la Tabla 1 ha sido confeccionada. Como ya se ha explicado arriba, la segunda columna de esta tabla indica la captura total por los pescadores comerciales. En la tercera columna aparece la medida de abundancia, según es observada, por los pescadores, esto es la captura por TBR-viaje, corregida por varios factores estacionales y también por los cambios de año a año en la eficiencia de los aparejos; así que estos son estimados de la abundancia medida por embarcaciones con la eficiencia corriente en 1960-61, pescando durante el año entero. En la cuarta columna de la tabla aparece el esfuerzo total ejercido por los pescadores, calculado dividiendo la

captura total por la captura por unidad de esfuerzo.

La población de aves guaneras según estimación de los científicos del Instituto del Mar, y su correspondiente captura de anchovetas, está indicada en las siguientes dos columnas de la Tabla 1. Al calcular la cantidad de anchovetas capturadas por las aves, he puesto, como ya se indicó arriba, un consumo anual de 150 kilos por ave por año, basado en el trabajo de Jordán y Fuentes (1966).

Sumando la captura estimada por las aves a la captura por los pescadores comerciales, se obtiene la captura combinada por ambos predadores, y esta está tabulada en la séptima columna de la tabla. Dividiendo la captura combinada de ambos predadores por la captura por unidad de esfuerzo de los pescadores, se ha calculado el esfuerzo combinado de ambos predadores, medido en unidades del esfuerzo pesquero de los pescadores. Este esfuerzo combinado está tabulado en la última columna de la tabla.

5.2 Análisis

En la Figura 5 están ploteados, para cada año, la abundancia de la población de la anchoveta (la captura por TBR-viaje) contra el esfuerzo total ejercido por los pescadores y las aves combinados. También se ha ploteado la captura por unidad de esfuerzo contra el esfuerzo promedio durante el año indicado y el anterior, como base para la estimación de una línea de condiciones de equilibrio por el "método de Gulland". Ajustando líneas rectas a estos dos conjuntos de datos, ya que esto corresponde al modelo logístico de la productividad de la población de la anchoveta, se obtienen los resultados indicados en la figura. Para los puntos actuales uno obtiene un estimado del máximo rendimiento sostenible de 10.3 millones de toneladas por año, y empleando el "método de Gulland" para la estimación de la línea de equilibrio, uno obtiene 9.9 millones de toneladas métricas por año como el máximo rendimiento sostenible. El último estimado debe considerarse aproximadamente como el más correcto.

Algunas características de la Figura 5, en comparación con la Figura 3, son notables. Primeramente los puntos correspondientes a los estimados de rendimiento equilibrado, aquellos indicados por triángulos, muestran mucha menos variación con respecto a la línea estimada de equilibrio en la Figura 5 que en la Figura 3. El error standard de estimación de estos datos en la Figura 3 es 0.050, mientras que en la Figura 5 es solamente 0.029. En segundo lugar, puede notarse que las posiciones de los puntos actuales, en relación a la línea estimada de equilibrio corresponde mejor en la Figura 5 a lo que se espera sobre la base teórica; esto es, durante los períodos en que el esfuerzo de pesca está aumentando, se espera que los puntos caigan arriba de la línea, mientras que cuando el esfuerzo de pesca está declinando, estos deben caer debajo de la línea (la razón teórica de esto está explicada por Schaefer, 1954).

Las flechas en los dos ejes de la Figura 5 indican los niveles de abundancia de la anchoveta y del esfuerzo relacionado de pesca por hombre y aves combinado, correspondientes al máximo rendimiento sostenido, para la línea ajustada a los actuales datos y para la línea ajustada por el método de Gulland. Puede verse que el máximo rendimiento sostenible está en la vecindad de 10 millones de toneladas métricas por año, y es obtenible por un esfuerzo de pesca combinado de hombres y aves de unos 26 millones de TBR-viajes, en términos de viajes de embarcaciones con eficiencia equivalente a las de 1960-61.

5.3 Discusión

Parece que los cambios en la abundancia del stock de anchoveta durante la serie entera de años, puede ser en su mayor parte explicada por los efectos de la pesca combinada de los hombres y las aves sobre la población de la anchoveta. El aumento aparente en la abundancia de las anchovetas de tamaño comercial para un nivel de esfuerzo pesquero dado en años recientes es muy probable que no sea debido a los efectos directos del ambiente oceánico, sino en gran parte, por lo menos, simplemente el resultado de la disminución de la tasa de mortalidad de la anchoveta debida a la disminución de la predación por las aves. Si el aparente incremento en el reclutamiento en años recientes es simplemente debido a una disminución en la tasa de mortalidad total, reflejada en la aparente más alta abundancia de la camada durante los primeros pocos meses en la pesca comercial, si existe realmente incremento en el reclutamiento debido a la más baja abundancia de la población de peces (como podría esperarse si la relación stock reclutamiento es de la forma postulada por Ricker 1958, p. 237 et seq.), o si también hay algún efecto de predación diferencial por aves y pescadores sobre los peces más chicos, no se puede examinar por ahora, debido a la falta de datos apropiados.

Como Schaefer (1967) y el Dr. Anthony Burd en un trabajo inédito han indicado, la pesca comercial al nivel de esfuerzo de alrededor de 1965-66, donde tendría un rendimiento sostenido de más o menos 7.5 millones de toneladas métricas por año, correspondió a un coeficiente de mortalidad de pesca de alrededor de 1.0/año y el coeficiente de mortalidad natural en esa época, con una población de aves de más o menos 16 millones, fue también alrededor de 1.0/año. Con las aves comiendo 2.5 millones toneladas métricas de anchoveta por año, parecería así que el coeficiente de mortalidad debido a la predación por las aves fue de 0.33/año quedando 0.67/año debido a otras causas naturales.

Con la población de aves recientemente calculada alrededor de 4.5 millones, comiendo 0.7 millones de toneladas métricas de anchoveta por año, el coeficiente de mortalidad correspondiente debido a aves es de 0.09/año. Si los pescadores toman el restante de los 10 millones de toneladas de cosecha sostenible, o alrededor de 9.3 millones de toneladas por año, esto corresponde a un coeficiente de mortalidad por pesca de 1.24/año, permaneciendo, como antes, la mortalidad debida a todas las otras causas naturales, con un coeficiente de 0.67/año.

6.—MODELOS ALTERNATIVOS DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA POBLACION DE ANCHOVETA

6.1 Modelos empleados anteriormente

En el análisis previo de Schaefer (1967) se ha asumido que la productividad de la población de la anchoveta seguía la ley logística de crecimiento de la población de Verhulst-Pearl, esto es:

$$\frac{dP}{dt} = KP - HP^2 \quad (1)$$

donde P es la biomasa de la población de la anchoveta de tamaños pescables, y donde K y H son constantes. El cambio en la población de anchovetas debido al balance entre el crecimiento de la población y la cosecha de una pesquería, está representando por

$$\frac{dP}{dt} = KP - HP^2 - FP \quad (2)$$

$$\text{o} \quad \frac{dP}{dt} = KP - HP^2 - qfP \quad (3)$$

donde F es el coeficiente de la mortalidad de pesca, y es igual a qf , donde f es la cantidad del esfuerzo de pesca y q es el coeficiente de mortalidad por unidad de esfuerzo de pesca. En la condición de equilibrio, con la cosecha de la pesca justamente balanceando la tasa natural de incremento en la población de la anchoveta, así

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= 0, \\ qf &= K - HP \end{aligned} \quad (4)$$

Ya que la captura es igual a qfP , y la captura por unidad de esfuerzo, $U = qfP$, tenemos, de (4),

$$qf = K - HU/q \quad (5)$$

De manera que, la relación de equilibrio entre el esfuerzo de pesca y la biomasa es lineal, y la relación entre esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo es lineal, suponiendo el modelo logístico de Verhulst-Pearl de la productividad de la población de peces.

Boerema, et al. (1967) han supuesto, en su tratamiento de la pesquería de la anchoveta, que el reclutamiento es constante en todos los tamaños de la población, y también implícitamente en apariencia han asumido que la tasa de mortalidad natural y la tasa de crecimiento para cada edad son constantes, conduciendo a una relación hiperbólica entre esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo, conforme está ilustrado en su Figura 8. Ellos no intentan especificar la forma matemática de esta relación.

Gulland (1968) ha examinado y comparado los resultados de los análisis basados en el modelo logístico de crecimiento de la población de Schaefer, y los resultados de un modelo que supone el reclutamiento constante. El último modelo para el cual no se da una fórmula matemática, es también una relación hiperbólica, conforme se ilustra, por ejemplo, en la Figura 7 del trabajo de Gulland.

Varios otros modelos han sido aplicados a la productividad de las poblaciones marinas por varios autores. En algunos casos se ha encontrado que puede aplicarse la relación lineal entre la biomasa de la población y la tasa relativa de incremento de la población. En otros casos, la relación no ha sido lineal, en algunos casos ha sido una

curva convexa y en otros una curva cóncava. Correspondientemente, la relación del esfuerzo de pesca y captura por unidad de esfuerzo, en estas circunstancias, puede ser lineal, convexa o cóncava, según se trate de una población u organismo determinado; aparentemente aún no hay una base analítica a priori para decidir cuál es el tipo de modelo más apropiado en una circunstancia dada.

6.2 Modelo general de productividad de Pella y Tomlinson

Para tener una base que sirva de marco a una variedad de relaciones entre productividad y biomasa de población, Pella y Tomlinson (1969) recientemente han desarrollado y publicado un modelo general de producción de stock, que ellos llaman GENPROD, el cual proporciona, una excelente base para el examen de las relaciones entre esfuerzo de pesca, captura por unidad de esfuerzo y captura total en la pesquería de la anchoveta.

6.3 Naturaleza del modelo

Pella y Tomlinson asumen la siguiente relación fundamental entre la biomasa de la población y la productividad (tasa de crecimiento de la población).

$$\frac{dP}{dt} = HP^m - KP \quad (6)$$

Correspondientemente, donde hay una pesquería comercial que ejerza una tasa de mortalidad por pesca $F = qf$, el cambio en la tasa de la población será

$$\frac{dP}{dt} = HP^m - KP - qfP \quad (7)$$

donde m es una constante a la que se puede asignar valores diferentes y donde los otros símbolos son como se les definió arriba.

Se puede ver que la anotación aquí es la misma que aquella empleada en la ecuación (1) arriba, y aquellas que le siguen inmediatamente, con la excepción que los signos de las constantes K y H han sido cambiados. Yo los he escrito en la forma dada aquí, para seguir la anotación de Pella y Tomlinson. En la aplicación, este cambio de signos, por supuesto, no importa, ya que las constantes pueden ser positivas o negativas.

Es importante anotar que cuando m es igual a 2, (6) y (7) resultan ser el modelo de Schaefer empleando la ley logística de crecimiento de la población de Verhulst-Pearl. Para m mayor que 2, la relación de P planteada contra f es convexa, y donde m es menor que 2 la correspondiente relación es cóncava. m no puede ser igual a 1 como puede verse de (8) abajo. Conforme m tiende a 1 la forma de crecimiento de la población se acerca a la de Gompertz, que recientemente ha sido empleada por varios autores en dinámica de pesquería. En la práctica la relación con $m = 1$ puede aproximarse muy estrechamente tomando $m = 0.999$ ó $m = 1.001$.

Pella y Tomlinson emplean una forma integrada de la ecuación (7) para determinar la población en el tiempo t

$$P_t = \left[\frac{H}{K + qf} - \left(\frac{H}{K + qf} - P(0)^{l-m} \right) e^{-(K + qf)(l-m)t} \right]^{\frac{l}{l-m}} \quad (8)$$

donde $P(0)$ es la población inicial a $t = 0$, y otros símbolos son como se explica arriba.

La tasa instantánea de captura a tiempo t es, por supuesto,

$$\frac{dC}{dt} = qfP_t \quad (9)$$

En equilibrio estable, como puede verse en (7), con $\frac{dP}{dt} = 0$,

$$C = qfP = qf \left(\frac{qf + K}{H} \right)^{\frac{l}{m-1}} \quad (10)$$

y

$$U = q \left(\frac{qf + K}{H} \right)^{\frac{l}{m-1}} \quad (11)$$

6.4 Aplicación del modelo

A fin de aplicar este modelo a los datos de la pesquería, es necesario estimar de las estadísticas de captura y esfuerzo los valores de las diversas constantes en las anteriores ecuaciones. Pella y Tomlinson han desarrollado medios de hacer estos estimados, los cuales pueden describirse brevemente como sigue:

El período total durante el cual la pesquería ha estado en observación está dividido en n intervalos de duración Δt_i , $i = 1, 2, \dots, n$, para cada uno de los cuales la captura y esfuerzo son conocidos. En el caso general, los intervalos no necesitan ser iguales, pero en muchas aplicaciones, incluyendo aquella de la pesquería de la anchoveta peruana, es conveniente usar un año como intervalo. También en el caso general, cada uno de los intervalos de tiempo n pueden ser divididos en N sub-intervalos. En la siguiente aplicación a la pesquería de la anchoveta, sin embargo, N fue tomado como uno.

Ahora, para valores dados de H , K , $P(0)$ y q , para cualquier valor seleccionado de m , P_t puede ser calculado de (8), y la captura durante el intervalo i puede ser estimada por integración de (9) y, además, la integral puede ser aproximada por la suma de una ecuación de diferencia finita como sigue:

$$\hat{C}_i = \int_{t_{i-1}}^t qf_t P_t dt \approx qf_i \sum_{j=1}^N \frac{1}{2} (P_{ij} + P_{ij+1}) \frac{\Delta t_i}{N} \quad (12)$$

En el caso de la aplicación a la pesquería de la anchoveta, he tomado $N = 1$, de manera que tenemos

$$\hat{C}_i = q_i f_i \frac{1}{2} (P_i + P_{i+1}) \Delta t_i \quad (13)$$

donde las Δt_i son todas un año.

En la práctica, se ha programado una computadora digital, de manera que para un valor seleccionado de m , el que lo usa hace algunas suposiciones iniciales de las constantes en la ecuación (8), y luego se computan las capturas pronosticadas para cada año para ese conjunto de constantes. Entonces el programa modifica las suposiciones

iniciales de las constantes y re-computa \hat{C}_i . La suma de los cuadrados de las diferencias entre las capturas actuales (C_i) y las capturas estimadas es computada después de cada modificación de las constantes, y el programa busca sistemáticamente las combinaciones de los valores de las constantes hasta que se consigue un valor mínimo de esta suma (a un grado de exactitud especificado). Esto es, el criterio de la bondad del ajuste del conjunto de constantes es

$$S(H, K, q, m, P(0)) = \sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2 \quad (14)$$

Sin embargo, la computadora no modifica automáticamente los valores de m . El que usa el programa proporciona una serie de hasta 24 valores de m y, para cada uno de estos, la computadora busca los valores de las otras constantes que resulten en S mínima. El que lo emplea, puede entonces repasar el problema con valores adicionales de m en la cercanía del valor donde ocurre el mínimo para obtener el mejor valor de m para un grado de precisión especificado. La computadora también calcula un valor

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2 - \sum_{i=1}^n (C_i - \hat{C}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}$$

R es, por supuesto, la parte de la variación total en las capturas observadas atribuible al modelo.

En la práctica, el usuario del programa no conjetura directamente los valores de las constantes en (8) sino valores de algunas otras constantes que son más fáciles de estimar, y de las cuales las constantes en (8) son calculadas automáticamente. Las constantes que se conjeturan son q , F_{opt} (el esfuerzo requerido para mantener la población a un nivel correspondiente al máximo rendimiento equilibrado), r (el cociente del tamaño del stock cuando la pesquería por primera vez estuvo bajo observación, al tamaño máximo del stock), y U_{max} (la máxima captura por unidad de esfuerzo que sería observada cuando el stock está en su máximo).

La computadora para cada valor especificado de m , después de encontrar los valores del conjunto de constantes que corresponden a S mínima, computa e imprime los valores correspondientes de q , F_{opt} , C_{max} (captura máxima de equilibrio), U_{max} , y las constantes H y K , lo mismo que S y R .

Con las constantes q , H y K así determinadas, las curvas de captura de equilibrio y captura por esfuerzo contra esfuerzo, pueden ser calculadas de (10) y (11).

6.5 Aplicación del modelo general de productividad a la dinámica de la pesquería de la anchoveta

El modelo de Pella y Tomlinson, descrito arriba, fue aplicado a los datos de captura y esfuerzo de la pesquería de la anchoveta, para pescadores y aves combinados, empleando los datos en las últimas dos columnas de la Tabla 1 durante los años 1960-61 hasta 1967-68. Los resultados se dan en la Tabla 2*.

Sin restricción para ninguna de las constantes, el mejor ajuste fue obtenido con $m = 0.7$. Se puede ver, sin embargo, que esto representa solamente un pequeño e insignificante mejoramiento sobre el correspondiente resultado con $m = 2.0$. Además, en ambos de estos casos, y verdaderamente, para todos los valores de m examinados desde $m = 0.5$ hasta $m = 2.2$, sin restricción en q , los valores de q calculados son irrealmente grandes. Se recordará que, según se indicó arriba, el coeficiente de mortalidad de pesca es alrededor de 1.24 para valores de esfuerzo de pesca en años recientes. Esto corresponde a un valor de q en las cercanías de 0.5×10^{-4} .

En consecuencia, el modelo general de productividad fue otra vez aplicado a los mismos datos de captura y esfuerzo, pero con 0.5×10^{-4} como límite superior de q . También lo fue aplicado con un valor límite superior de q el doble de este. Los resultados aparecen también en la Tabla 2. Se verá que con la q restringida a 1×10^{-4} , la S mínima ocurre con $m = 1.05$, y nuevamente, hay muy pequeño mejoramiento en S con este valor de m en comparación con el obtenido para $m = 2.0$. Igualmente, con q restringida a 0.5×10^{-4} , S mínima corresponde a $m = 0.95$, pero otra vez la diferencia entre los resultados con $m = 0.95$ y $m = 2.0$ son insignificantes. Hay sin embargo, un pequeño aumento en la S mínima con este valor que sobre el mayor valor de q y, en consecuencia, la parte de la variación en las capturas observadas atribuible al modelo se rebaja de alrededor de 87% en el caso de la q más grande a alrededor de 82% con la q restringida a este valor más probable. En la Figura 6 se indican las capturas actuales, observadas para cada uno de los años de pesca, junto con las capturas estimadas para cada una de las combinaciones de m y q indicadas en la Tabla 2. En vista de que las seis capturas calculadas por cada año, que están indicadas por puntos en la línea vertical correspondiente al año en cuestión, están tan próximas, se dan símbolos a un costado que las identifican con los diferentes grupos de valores de m y q .

* En estos cálculos el esfuerzo está en miles de TBR-Viajes. En consecuencia, q es la tasa instantánea de mortalidad de pesca por miles de TBR-Viajes.

Se puede ver que con todos estos valores de los parámetros m y q , las capturas estimadas son bastante similares y que, además, las desviaciones de las capturas observadas están en la misma dirección cada año. Por consiguiente, de nuevo parece, como también podría concluirse de la Tabla 2 que existen pocas razones para escoger entre los varios resultados.

En la Figura 7 se indican para estas varias combinaciones posibles de q y m , las relaciones de equilibrio entre la captura total y el esfuerzo de pesca y, similarmente en la Figura 8 las relaciones de equilibrio entre la captura por esfuerzo y el esfuerzo. En ambas de estas figuras se indican también los puntos observados para los varios años de pesca. Se ve inmediatamente que, para la gama de datos observados, todas las curvas son muy similares. Parece por consiguiente, que para distinguir cuál de ellas puede aplicarse mejor a la pesquería de la anchoveta, se requerirían datos a niveles más altos de esfuerzo de pesca que las que se han observado hasta la fecha. Sin embargo, como puede verse en la Tabla 2 y la Figura 7, para todas las curvas el máximo rendimiento sostenible varía solamente de 9.9 a 10.7 millones de toneladas por año. Las flechas en la parte inferior de la Figura 7 indican los valores del esfuerzo pesquero correspondiente a los máximos de las varias curvas de captura sostenible contra esfuerzo pesquero. Aún si la curva correspondiente a $q = 5 \times 10^{-5}$, $m = 0.95$, describiera realmente la dinámica de la población de la anchoveta, es muy dudoso que sea económicamente provechoso aumentar el esfuerzo de pesca de su actual nivel a los 39.8 millones de TBR-viajes necesarios para alcanzar los 10.7 millones de toneladas métricas de rendimiento sostenible. Esto es solamente 0.6 millones de toneladas más grande que el rendimiento máximo indicado para el mismo valor de q con $m = 2.0$, que es alcanzado con solamente 29.5 millones de TBR-viajes. En el caso de la curva correspondiente a $m = 0.95$, el rendimiento de equilibrio a 29.5 millones de TBR-viajes es 10.3 millones de toneladas, de manera que la ganancia del esfuerzo pesquero extra sería solamente 0.4 millones de toneladas.

Señalaré que aún cuando uno desea emplear la logística de Verhulst-Pearl, correspondiente al modelo GENPROD con $b = 2.0$, el procedimiento desarrollado por Pella y Tomlinson para estimar las otras constantes del modelo, y así determinar las curvas de las condiciones de equilibrio, es algo superior al método de aproximación empleado al principio de este trabajo. En consecuencia, aún para las relaciones lineales entre el esfuerzo de pesca y la captura por unidad de esfuerzo, y las relaciones parabólicas correspondientes entre el rendimiento sostenible y el esfuerzo de pesca, los resultados de la aplicación del modelo GENPROD y su procedimiento de ajuste deben ser preferidos.

Entre las varias posibilidades examinadas en la Tabla 2 y representadas en las Figuras 7 y 8, creo que debemos considerar aquella para la cual el valor de q (5×10^{-5}), basado en estimados independientes del coeficiente de mortalidad por pesca como la más probablemente correcta en el estado actual de nuestro conocimiento. Así he reproducido en la Figura 9, para este valor de q , las relaciones entre esfuerzo de pesca y equilibrio de captura, y entre esfuerzo de pesca y equilibrio de captura por esfuerzo para el valor de m (0.95) que da una S mínima y para $m = 2.0$. Como ya se ha anotado arriba, de acuerdo al modelo con $m = 2.0$, el máximo rendimiento sostenible es alrededor de 10.1 millones de toneladas métricas por año a un esfuerzo de pesca de 29.5 millones de TBR-viajes por año, mientras que el máximo rendimiento sostenido para el valor de $m = 0.95$, que corresponde a una S mínima, es 10.7 millones de toneladas métricas por año alcanzables con 39.8 millones de TBR-viajes por año.

Debe recordarse que todos los cálculos en esta sección son para la pesca combinada por el hombre y por las aves, y que la cosecha por las aves y su correspondiente esfuerzo de pesca, necesita restarse para obtener los valores aproximados de esfuerzo de pesca y rendimiento sostenible para los pescadores.

7.--INDICACIONES PARA LA ADMINISTRACION DE LA PESQUERIA DE LA ANCHOVETA

7.1 Participación de la pesca comercial y de la población de aves guaneras

Tanto de los análisis en la primera parte de este trabajo, empleando el modelo logístico de crecimiento de la población y métodos aproximados de estimación de la línea de condiciones de equilibrio, como de la aplicación del modelo GENPROD, encontramos que el máximo rendimiento sostenible de la población de la anchoveta para las aves guaneras y los pescadores combinados, está en la cercanía de 10 millones de toneladas métricas. En la actualidad, la cosecha combinada tomada por ambos predadores está muy cerca del máximo indicado, con las aves guaneras tomando algo así como 0.7 millones de toneladas métricas y los pescadores comerciales el resto.

La pesquería comercial podría, en principio, tomar toda la cosecha sostenible, eliminado las aves guaneras. Sin embargo, esto es, indudablemente, no deseable, porque es de primerísimo interés de la sociedad conservar suficientes aves guaneras a fin de que estas puedan estar disponibles para que el hombre las emplee en el futuro.

En otras palabras, debemos evitar cuidadosamente la disminución de la población de aves guaneras hasta un nivel en que exista serio peligro de su extinción, porque tal cambio irreversible significa la imposibilidad de cualquier empleo futuro de las poblaciones de aves.

Desafortunadamente, no tenemos buena base para estimar cuál es el mínimo requerido de la población de aves guaneras para asegurar el mantenimiento de las especies ni cuál es la mejor manera para proteger ese número. Sin embargo, la historia anterior de la población de aves, a principios de este siglo, según se representa en la Figura 1 de Jordán y Fuentes (1966) parecería indicar que la población de aves guaneras puede sobrevivir y ser capaz de aumentar desde un nivel de unos 4 millones de adultos, que corresponde aproximadamente a la presente situación. De ahí que se sugiere, pendiente de las investigaciones necesarias sobre la ecología y dinámica de la población de aves guaneras para determinar con más precisión cuál es el margen apropiado de seguridad de la población que debe mantenerse, que es deseable mantener la población a más o menos su nivel actual, el cual requerirá unas 0.7 ó 0.8 millones de toneladas métricas por año de la cosecha de anchoveta. La cosecha por los pescadores sería entonces, en el año promedio, restringida al restante, unos 9.3 millones de toneladas métricas.

Sin embargo, deberá acentuarse que si se permite el incremento de la población de aves guaneras, será necesario disminuir la captura tomada por la pesca comercial, si la población de la anchoveta debe ser mantenida en una condición del rendimiento de cosecha máxima sostenible aún para la pesca comercial bajo la nueva situación.

7.2 El esfuerzo al nivel del máximo rendimiento sostenible en relación al tamaño de la flota comercial pesquera

Volviendo a la Figura 9, se puede ver que con $m = 2.0$, el rendimiento máximo sostenible de 10 millones de toneladas métricas por año, puede ser mantenido, en promedio, con el esfuerzo equivalente a 29.5 millones de TBR-viajes ejercido combinadamente por el hombre y por las aves. Como ya hemos indicado arriba, si el valor verdadero de m es 0.95, la cosecha podría incrementarse hasta alrededor de 10.7 millones de toneladas métricas por año, pero con un incremento en el esfuerzo hasta 39.8 millones de TBR-viajes de esfuerzo equivalente. Se sugiere que esto no sería económico, aún si el modelo de $m = 0.95$ es correcto. En el caso que el modelo con $m = 2.0$ sea correcto, aumentando el esfuerzo a este nivel podría ser económicamente desastroso, como ya ha sido indicado por el estudio de Gulland (1968). En este caso la cosecha total sostenible caería a 8.8 millones de toneladas métricas por año.

Se sugiere, por consiguiente, que el nivel apropiado de esfuerzo de pesca combinado por el hombre y las aves guaneras es de alrededor de 29.5 millones de TBR-viajes por año, con una captura sostenible de 10.1 millones de toneladas métricas por año, y una captura por esfuerzo correspondiente a 0.342 toneladas por TBR-viaje. Con las aves guaneras tomando 0.7 millones de toneladas de peces por año, esto dejaría 9.4 millones de toneladas por año para los pescadores, y esa cantidad sería tomada por 27.5 millones de TBR-viajes standard. Las aves, por supuesto, ejercerían el equivalente de alrededor de 2 millones de TBR-viajes para capturar sus 0.7 millones de toneladas por año.

Los 27.5 millones de TBR-viajes estimados en el acápite anterior son en términos de eficiencia de embarcaciones de 1960-61. Ya que la eficiencia de las embarcaciones en 1967-68 es tomada como 20% mayor que en 1960-61, esto corresponde a $27.5/1.20 = 22.9$ millones de GRT-viajes por embarcaciones con eficiencia de 1967-68.

Se requiere una corrección adicional para estimar los TBR-viajes si se emplea el actual patrón de operación de la flota, desde la reglamentación de las temporadas de vedas. Esto es, que debemos aplicar el factor de mayor disponibilidad, en promedio, durante la actual temporada de pesca recortada en comparación con aquella cuando las embarcaciones tenían la opción de operar durante todo el año. Dicho factor fue empleado para convertir todos los datos a una base común para la Tabla 1, y para los cálculos subsecuentes, y es necesario ahora aplicarlo en el sentido opuesto para estimar el esfuerzo en términos de embarcaciones de 1967-68 operando durante la estación de pesca modificada. El factor de corrección aplicado para este fin, para los años recientes, es de alrededor de 0.9, esto es, la abundancia aparente durante la estación más corta (8 meses) se multiplicó por 0.9 para hacerla comparable con los estimados basados en operaciones de la flota durante el año entero. En consecuencia, el esfuerzo de pesca actual requerido, si la flota opera solamente durante la temporada más corta de 8 meses (con temporadas de veda en Febrero y en Junio-Julio-Agosto), será alrededor de 20.6 millones de TBR-viajes por año.

Podemos también estimar el tamaño de la flota requerida para generar esta cantidad de esfuerzo. De acuerdo a la Tabla 3 del Informe Especial IM-42, la embarcación

promedio de la flota durante los últimos dos años, ha operado solamente alrededor de 100 días por año (debe recordarse que un viaje y un día de operación son tomados como equivalentes). Con este patrón se requeriría 206,000 toneladas de registro bruto de la flota para producir el esfuerzo. Se cree, sin embargo, que puede ser posible operar embarcaciones quince días por mes, en cuyo caso, durante una temporada de pesca de ocho meses, habrían 120 días de operaciones de embarcaciones por año, y si así fuera, el esfuerzo de pesca requerido podría ser generado por 171,700 toneladas de registro bruto.

Para la gente relacionada con la pesquería de la anchoveta que está más acostumbrada a tratar con la capacidad de la bodega que con tonelaje de registro bruto, podemos observar que, para la flota operando en esta pesquería durante los años recientes, un apropiado factor de conversión de tonelaje de registro bruto a capacidad de bodega es multiplicar el primero por 1.25. Los antes mencionados tonelajes de registro bruto corresponderían entonces a 257,500 toneladas y 214,600 toneladas de capacidad respectivamente.

De acuerdo a un censo de la flota de pesca anchovetera, publicado por el Director General de Capitanías, estuvieron operando en esta flota durante el período de Setiembre de 1967 a Mayo de 1968, un total de 1,411 embarcaciones con un total de capacidad de bodega de 180,406 toneladas. El Informe IM-42, Tabla 2, indica también que durante 1967-68 hubieron embarcaciones que totalizaron 146,468 toneladas de registro bruto, o 188,959 toneladas de capacidad. Estos datos parecerían indicar que, por lo menos en esa época, la flota pesquera no era más grande de lo que la pesca requería, suponiendo que la cosecha por las aves guaneras debe ser mantenido a su actual bajo nivel, permitiendo la más grande cosecha continuada para los pescadores.

8.—LITERATURA CITADA

- BOEREMA, L. K., G. SAETERSDAL, I. TSUKAYAMA, J. E. VALDIVIA y B. ALEGRE. 1967.—Informe sobre los efectos de la pesca en el recurso peruano de anchoveta. Inst. Mar Perú, Boletín, Vol. 1, Nº 4, pp. 133-186.
- GULLAND, J. A. 1961.—Fishing and the stocks of fish at Iceland. Min. Agr. Fish. and Food (U.K.), Fish. Investig., Ser. II, Vol. 23, Nº 4, pp. 1-32.
- GULLAND, J. A. 1968.—Informe sobre la dinámica de la población de anchoveta peruana. Inst. Mar Perú, Boletín, Vol. 1, Nº 6, pp. 305-346.
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERU. 1967.—Informe complementario sobre la pesquería de la anchoveta. Inst. Mar Perú, Informe Nº 15, 13 p.
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERU. 1968.—El estado del stock de anchoveta y recomendaciones para el año pesquero 1968/69. Inst. Mar Perú, Informe Especial Nº IM-30, 12 p. (Mimeo., distribución restringida).
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERU. 1969.—Tonelaje máximo de captura para el año pesquero 1968/69. Inst. Mar Perú, Informe Especial Nº IM-42, 15 p. (Mimeo., distribución restringida).
- JORDAN, R. y H. FUENTES. 1966.—Las poblaciones de aves guaneras y su situación actual. Inst. Mar Perú, Informe Nº 10, 31 p.
- PELLA, J. J. y P. K. TOMLINSON. 1969.—A generalized stock production model. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 13, Nº 3, (Inglés y Español) pp. 421-496.

- RICKER, W. E. 1958.—Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. Nº 19, 300 p.
- SCHAEFER, M. B. 1954.—Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 1, Nº 2, pp. 25-56.
- SCHAEFER, M. B. 1957.—A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 2, Nº 6, (Inglés y Español) pp. 245-285.
- SCHAEFER, M. B. 1967.—Dinámica de la pesquería de la anchoveta, *Engraulis ringens*, en el Perú. Inst. Mar Perú, Boletín, Vol. 1, Nº 5, (Español e Inglés) pp. 191-303.

Tabla 1. Datos concernientes a la captura y esfuerzo por la pesca combinada por el hombre y aves de la anchoveta frente al Perú.

Año de Pesca	Captura por los pescadores 10 ⁶ toneladas	Captura por esfuerzo Toneladas/ T.B.R. viaje	Esfuerzo por los pescadores 1,000 T.B.R. viajes	Población de aves adultas 10 ⁶ aves	Captura por las aves 10 ⁶ toneladas	Captura Combinada 10 ⁶ toneladas	Esfuerzo Combinado 1,000 T.B.R. viajes
		(1)		(2)	(3)		
1960-61	3.934	0.551	7,134	12.0	1.88	5.81	10,544
1961-62	5.502	0.603	9,129	17.0	2.67	8.17	13,549
1962-63	6.907	0.478	14,447	18.0	2.83	9.74	20,377
1963-64	8.006	0.376	21,285	15.0	2.36	10.37	27,580
1964-65	8.037	0.376	21,374	17.3	2.72	10.76	28,617
1965-66	8.096	0.356	22,741	4.3	0.68	8.77	24,635
1966-67	8.242	0.435	18,948	4.8	0.75	8.99	20,667
1967-68	9.818	0.472	20,800	4.5	0.71	10.53	22,309

(1) De I. Tsukayama. Corregida para los efectos de veda, huelgas, etc., relacionadas a la disponibilidad estacional variable; corregida por cambios en la eficiencia de aparejos. Por consiguiente las unidades de esfuerzo son en términos de la eficiencia en 1960-61.

(2) De R. Jordán y H. Fuentes, IMARPE Informe N° 10, e información inédita para años recientes.

(3) Calculada a razón de 430 gramos de anchoveta por ave por día (157 kg./año).

Tabla 2. Resultados del ajuste del modelo GENPROD de Pella y Tomlinson a los datos de captura y esfuerzo de la pesquería de la anchoveta del Perú, por el hombre y aves combinados, 1960-61 a 1967-68.

	F_{opt} 10^6 T.B.R. viajes	C_{max} 10^6 toneladas	U_{max} Tons/T.B.R. viaje	q $\times 10^{-4}$	S_{10} 10 tons. ²	R
q sin restricción:						
m = 2.0	27.275	9.931	.728	16.215	2.355	.8735
m = 2.7 (\$ mínimo)	39.010	10.443	.879	8.250	2.263	.8785
q restringido (máximo 1×10^{-4}):						
m = 2.0	27.540	9.931	.721	1.000	2.497	.8659
m = 1.05 (\$ mínimo)	33.390	10.196	.810	1.000	2.455	.8682
q restringido (máximo 5×10^{-5}):						
m = 2.0	29.460	10.061	.683	.500	3.411	.8168
m = 0.95 (\$ mínimo)	39.790	10.727	.752	.500	3.386	.8181

Figura 1

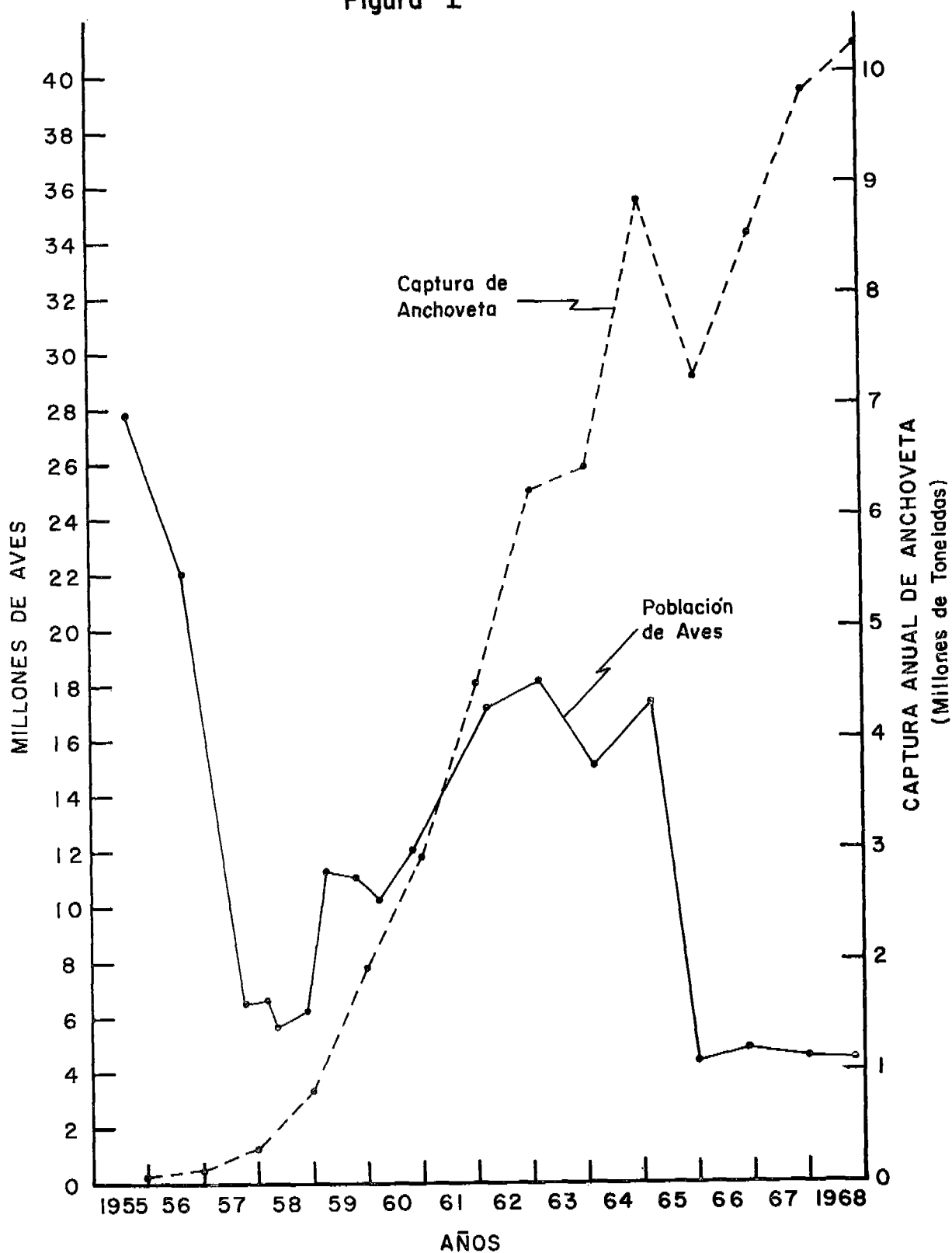


Figura 1 Captura comercial de la anchoveta por años calendarios, y población de aves guaneras adultas en las fechas indicadas.

Figura 2

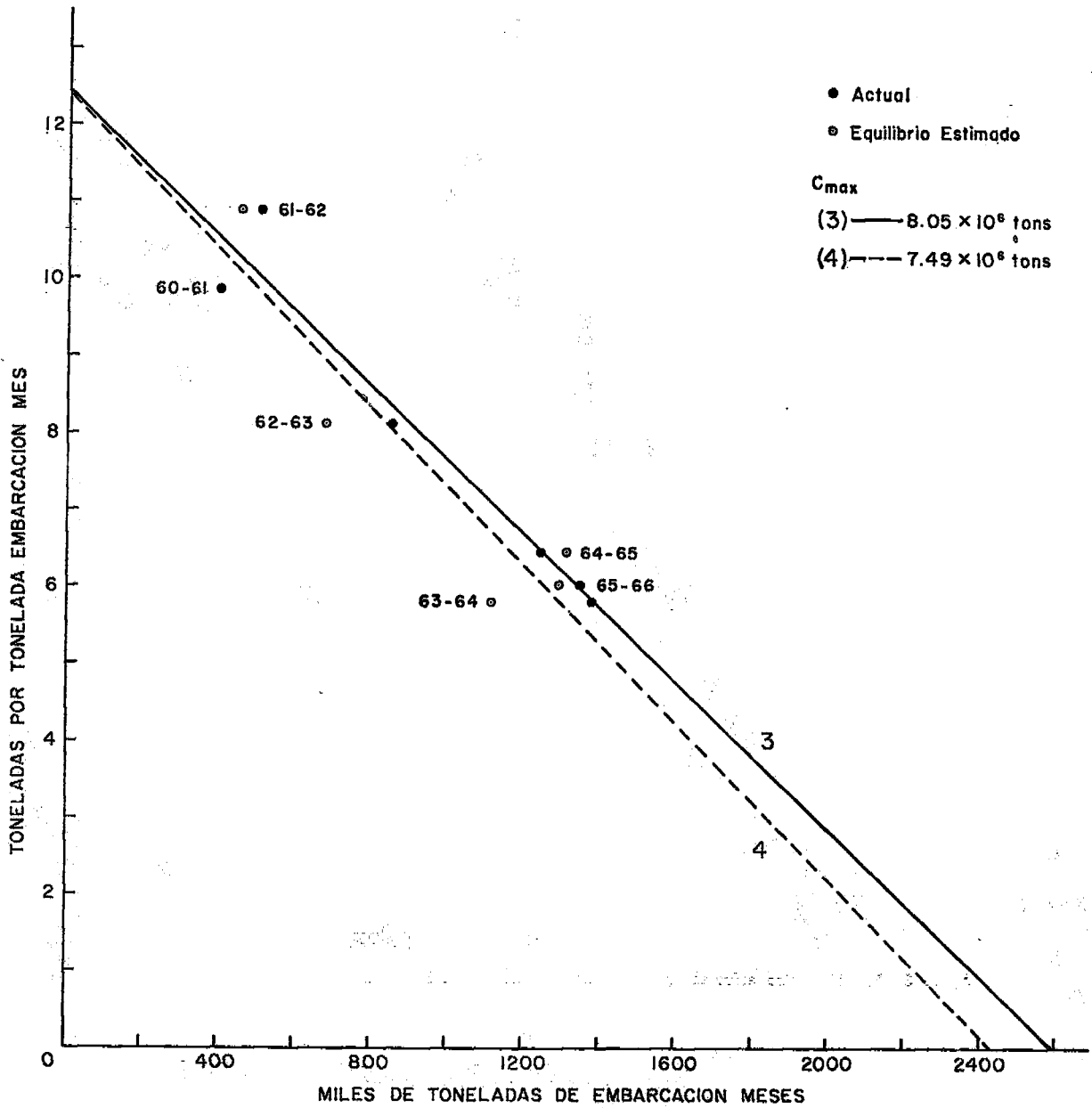


Figura 2 Relación entre el esfuerzo de pesca en la pesca comercial y abundancia aparente 1960-61 a 1965-66. (Según Schaefer 1967, Figura 14).

Figura 3

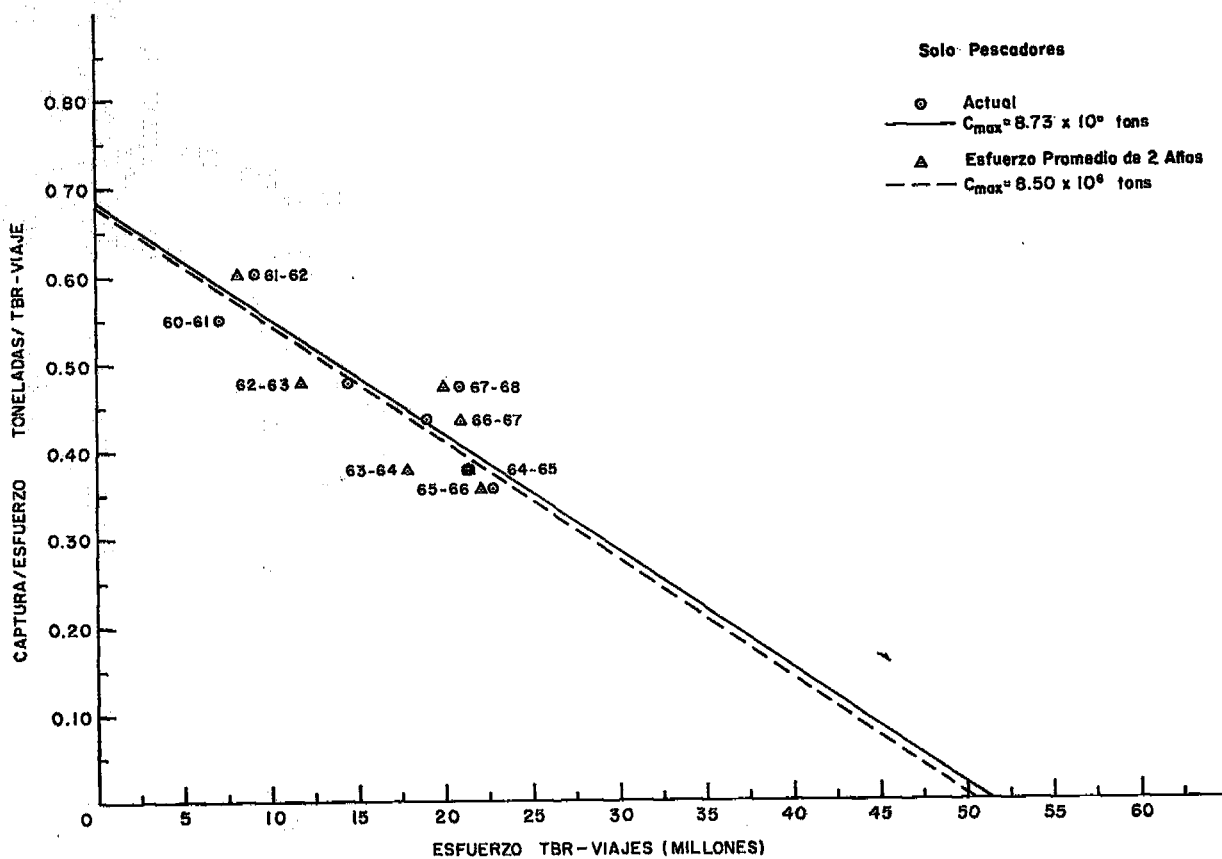


Figura 3 Relación entre esfuerzo de pesca en la pesca comercial y abundancia aparente, 1960-61 a 1967-68.

Figura 4

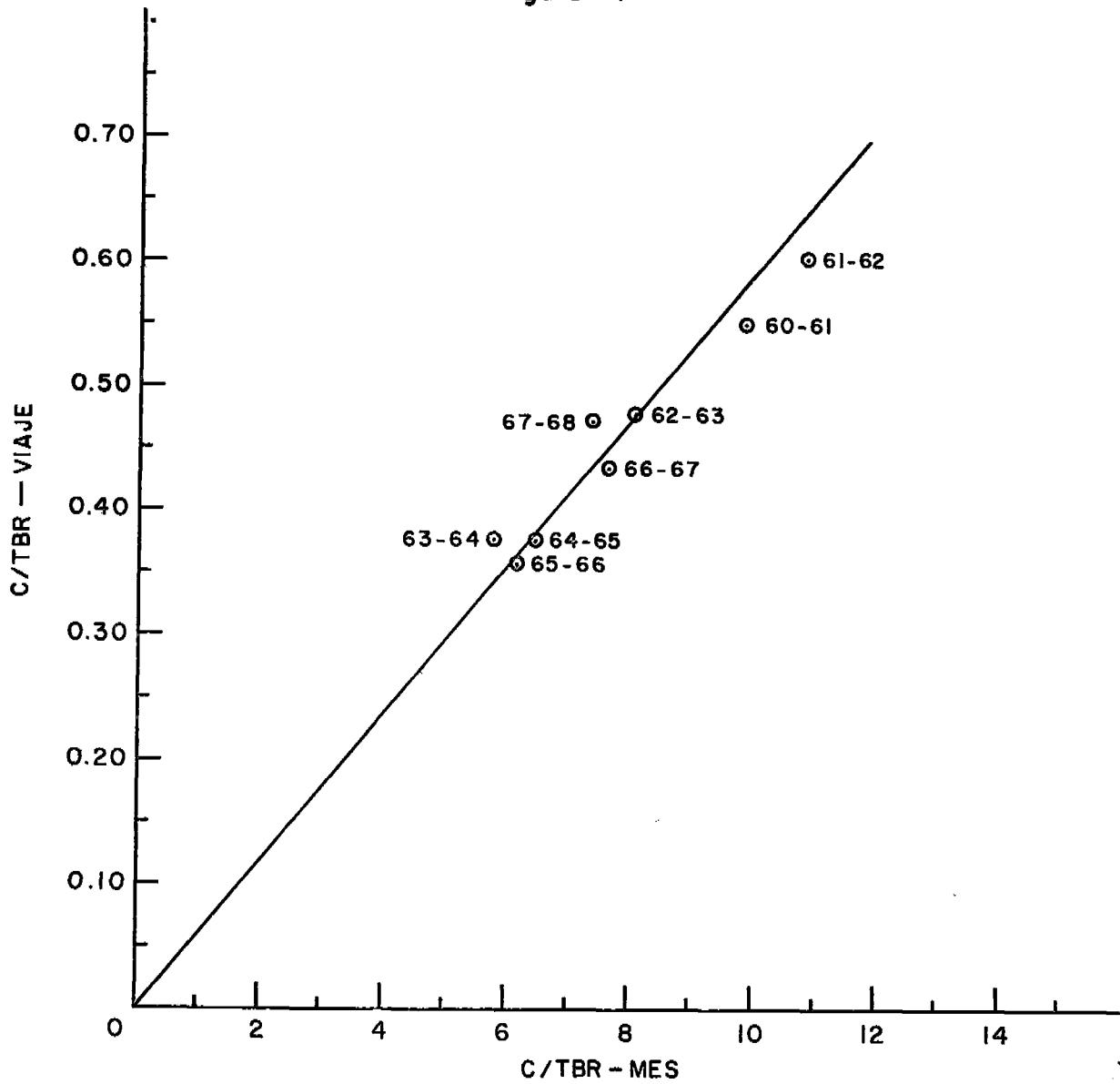


Figura 4 Relación entre captura por tonelada de registro bruto-mes y captura por tonelaje de registro bruto-viaje 1960-61 a 1967-68.

Figura 5

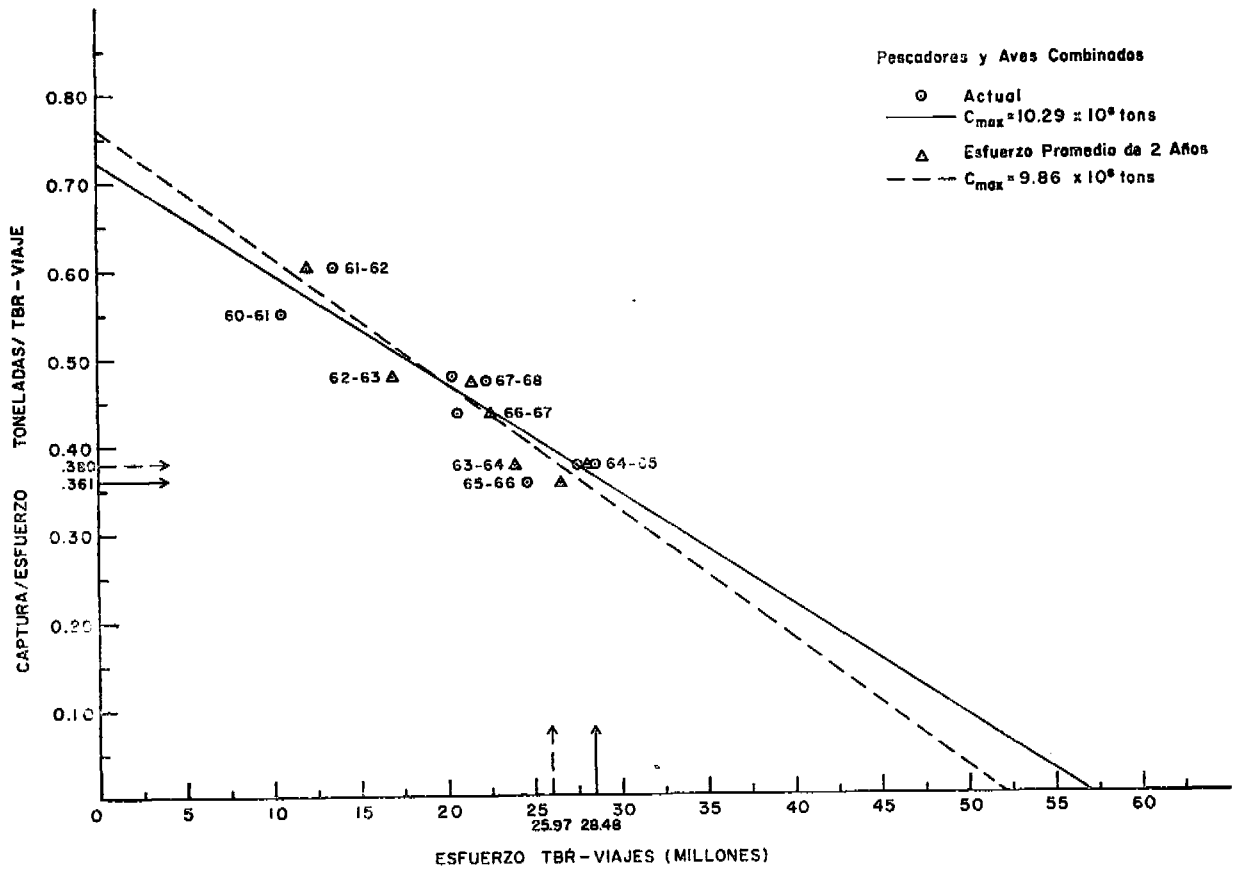


Figura 5 Relación entre la abundancia aparente y el esfuerzo de pesca ejercido por pescadores y aves guaneras combinado, 1960-61 a 1967-68.

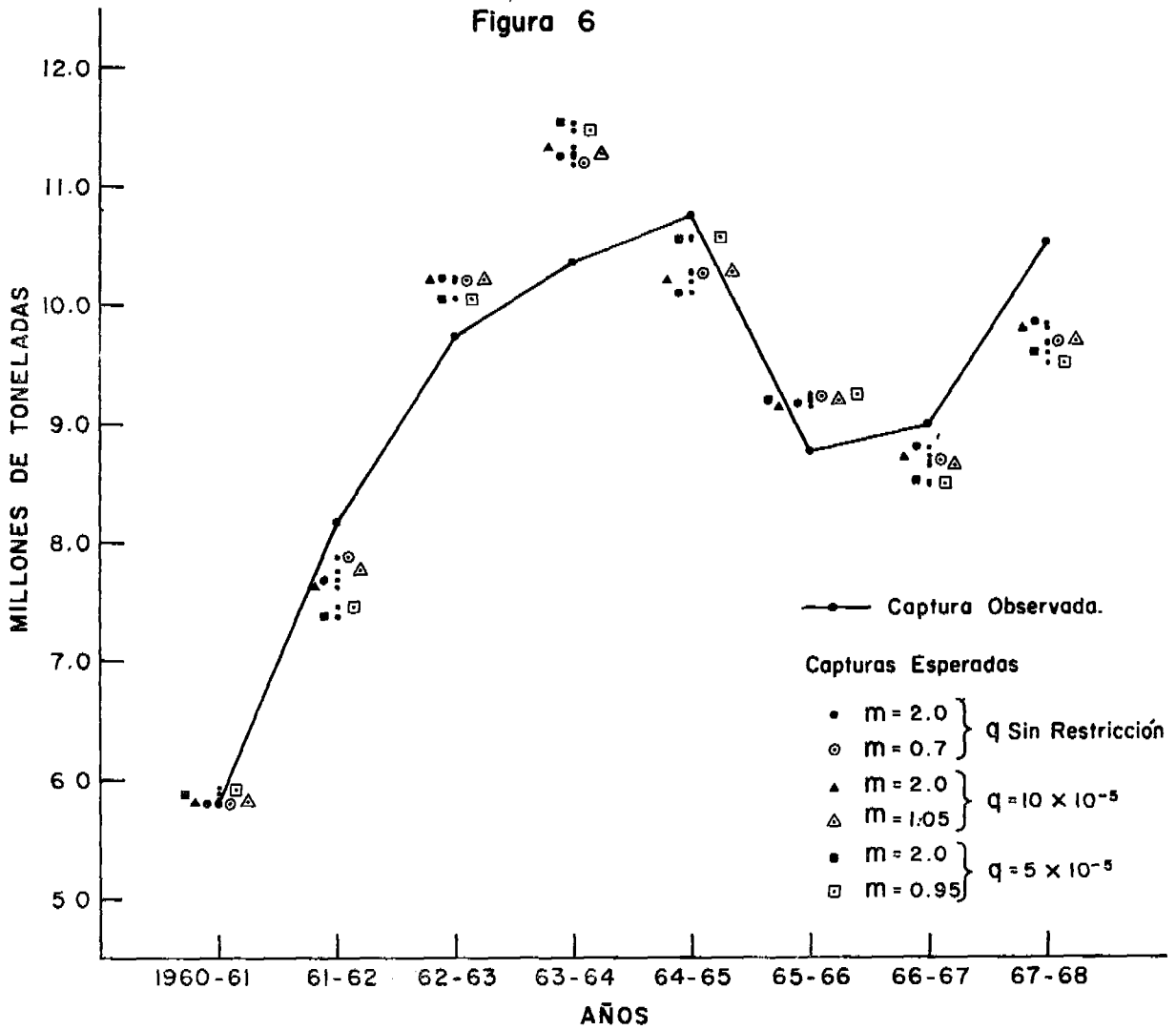


Figura 6 Capturas observadas y capturas pronosticadas por el modelo GENPROD para varios valores de m y q , 1960-61 a 1967-68.

Figura 7

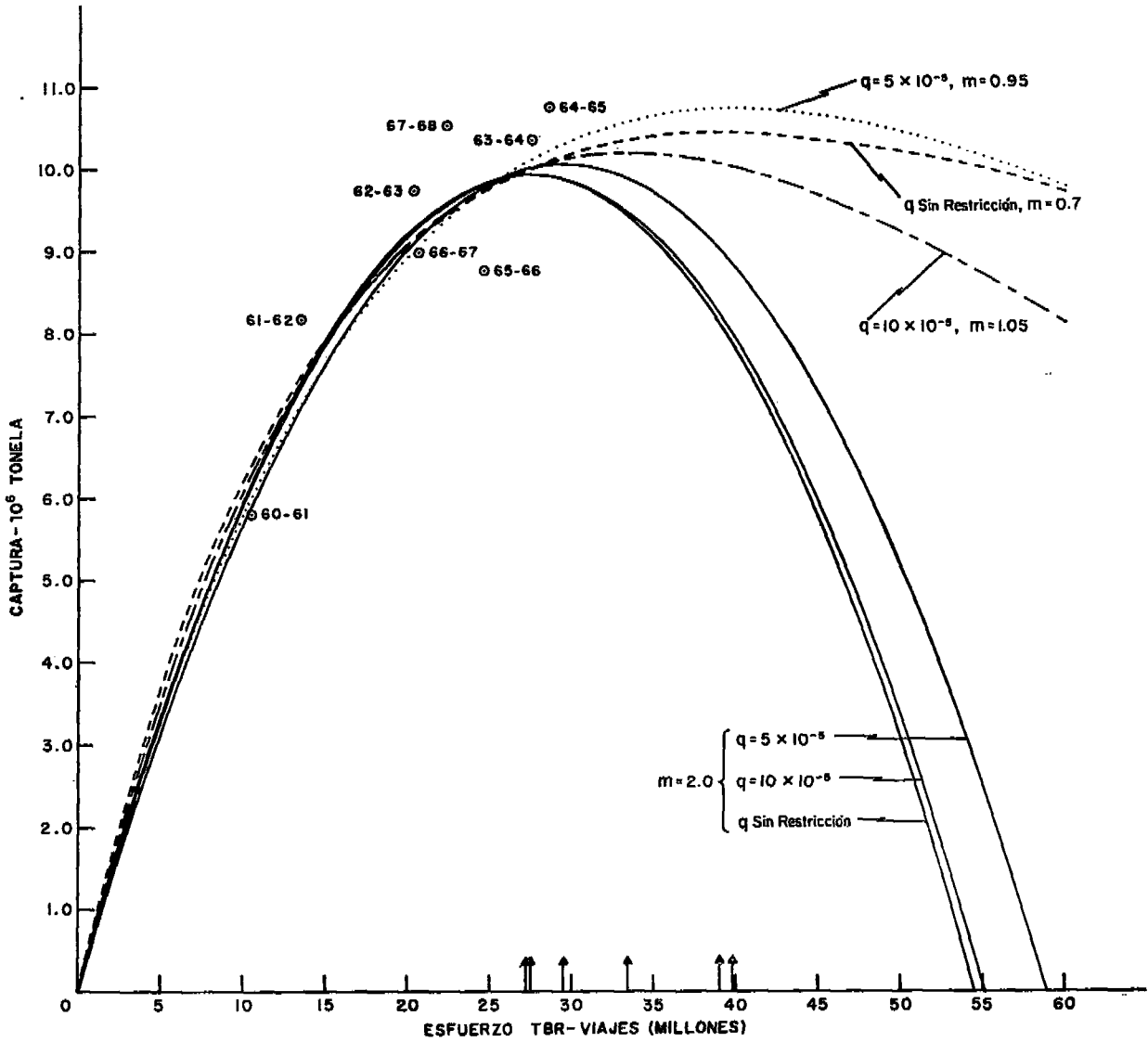


Figura 7 Relaciones de equilibrio entre la cosecha total por el hombre y aves combinada y su esfuerzo total de pesca, para varias variaciones de parámetros en el modelo GENPROD, con valores de captura y esfuerzo observados 1960-61 a 1967-68.

Figura 8

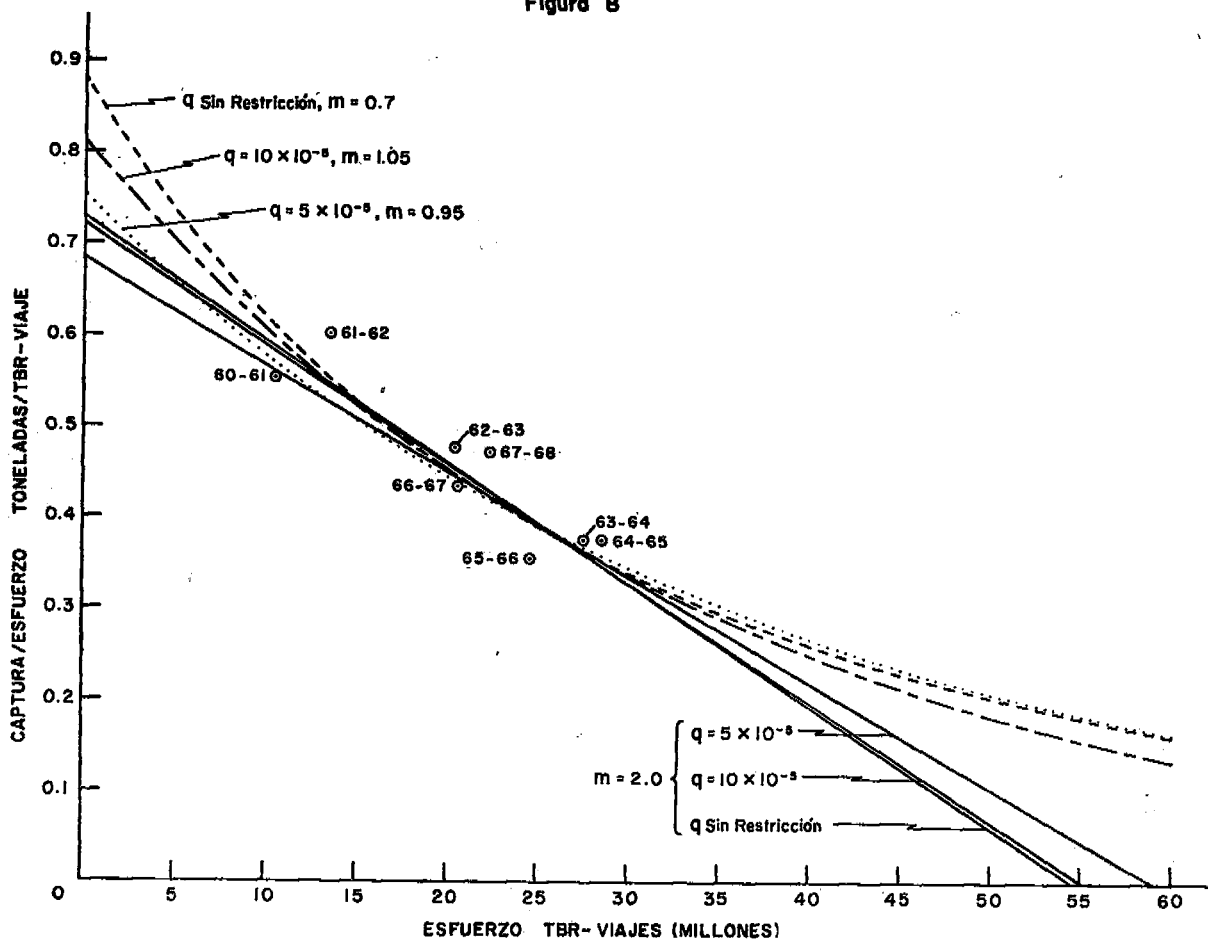


Figura 8 Relaciones de equilibrio entre la captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo de pesca por el hombre y aves combinado, para varias variaciones de parámetros en el modelo GENPROD, con valores de captura por unidad de esfuerzo y esfuerzo observados 1960-61 a 1967-68.

Figura 9

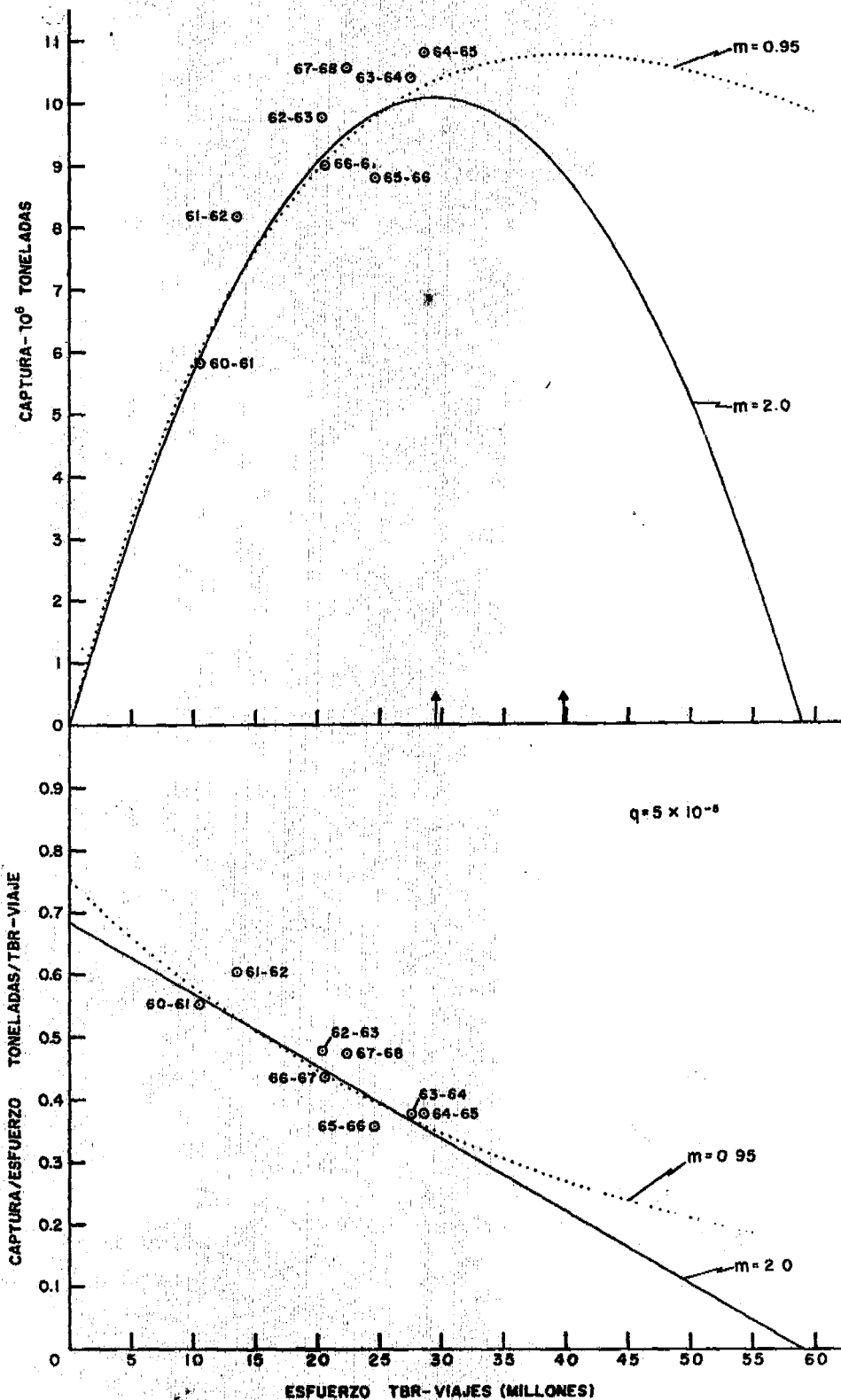


Figura 9 Relaciones de equilibrio entre esfuerzo, captura por unidad de esfuerzo, y captura total para la pesca por el hombre y las aves combinadas, para $q = 5 \times 10^{-5}$ y $m = 2.0$ ó $m = 0.95$, con valores observados de captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo 1960-61 a 1967-68.