

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. 15, No. 4

**ESTIMATES OF THE RATES OF MORTALITY
OF YELLOWFIN TUNA IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN
DERIVED FROM TAGGING EXPERIMENTS**

**ESTIMACIONES DE LAS TASAS DE MORTALIDAD DE ATUN
ALETA AMARILLA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL
DEDUCIDAS DE ALGUNOS EXPERIMENTOS DE MARCACION**

by — por
WILLIAM H. BAYLIFF

La Jolla, California
1971

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT.....	381
INTRODUCTION.....	381
ACKNOWLEDGEMENTS.....	381
MATERIALS AND METHODS.....	382
DATA EMPLOYED.....	382
Tag releases and returns.....	382
Statistics of the fishery.....	383
REQUIREMENTS, ASSUMPTIONS, AND SOURCES OF ERROR.....	385
Mortalities and shedding.....	385
Availability.....	386
Tag returns.....	386
Statistics of the fishery.....	387
RESULTS.....	388
Coefficients of total mortality and shedding.....	388
Coefficients of mortality other than fishing mortality.....	391
Beverton and Holt method.....	391
Murphy-Tomlinson method.....	392
Coefficients of catchability.....	393
SUMMARY AND CONCLUSIONS.....	394
FIGURES — FIGURAS.....	395
TABLES — TABLAS.....	407

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO.....	419
INTRODUCCION.....	419
RECONOCIMIENTO.....	419
MATERIALES Y METODOS.....	420
DATOS EMPLEADOS.....	420
Liberación y retorno de marcas.....	420
Estadísticas de pesca.....	421
REQUISITOS, SUPOSICIONES Y FUENTES DE ERROR.....	424
Mortalidad y desprendimiento.....	424
Accesibilidad.....	424
Retorno de marcas.....	424
Estadísticas de la pesca.....	426
RESULTADOS.....	427
Coeficientes de la mortalidad total y desprendimiento.....	427
Coeficientes de mortalidad distintos a la mortalidad de pesca.....	430
Método de Beverton y Holt.....	430
Método de Murphy-Tomlinson.....	431
Coeficientes de capturabilidad.....	433
SUMARIO Y CONCLUSIONES.....	433
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	435

ESTIMATES OF THE RATES OF MORTALITY OF YELLOWFIN TUNA IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN DERIVED FROM TAGGING EXPERIMENTS

ABSTRACT

Tag release and return data for the Baja California and Gulf of Guayaquil areas were selected for this study because substantial numbers of returns resulted from these releases and because the effects of emigration are small in these areas. The returns of tags per unit of fishing effort for several experiments in each area were used to estimate the coefficients of total mortality and shedding. The coefficient of annual natural mortality was estimated to be less than 2.0, which is in agreement with a previous estimate of 0.8, but does not improve upon it. The estimates for the average coefficients of catchability are 2.02×10^{-3} for the Baja California area and 0.67×10^{-3} for the Gulf of Guayaquil area.

INTRODUCTION

Considerable effort has been devoted to attempts to estimate the rates of total, fishing, and natural mortality of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean, and the rates of shedding of tags from this species. Schaefer (1957), Fox (1970), and Pella and Tomlinson (1969) employed the logistic, exponential, and general productivity models (the first two being special cases of the last) to estimate the coefficient of catchability, q , which, when multiplied by the fishing effort, f , gives the coefficient of fishing mortality, F . Hennemuth (1961b) and Davidoff (1965) used length-frequency data to estimate the coefficient of total mortality, Z ; Hennemuth used f and Schaefer's (1957) estimate of q to estimate F , and then subtracted F from Z to get an estimate of the coefficient of natural mortality, M . Schaefer, Chatwin, and Broadhead (1961) made estimates of the survival rates, s , of tagged fish, and Fink (1965a) estimated Z , F , M , and Q , the coefficient of loss due to carrying the tags and to shedding of the tags, from tagging data. Chapman, Fink, and Bennett (1965) used data from an experiment for which fish were single and double tagged to estimate the coefficient of shedding, L , of the tags. In the present paper more recent tagging data are used to estimate the rates of mortality of the fish in two areas of the eastern Pacific Ocean.

ACKNOWLEDGEMENTS

Unpublished data on the dates of release of the tagged fish for three California Department of Fish and Game cruises were furnished by Messrs. Harold B. Clemens and Robert R. Bell. Drs. James Joseph and Jerome J. Pella and Mr. Patrick K. Tomlinson assisted with some of the mathematical aspects of the analysis and read the manuscript critically.

MATERIALS AND METHODS

The methods of tagging the fish and handling the tag return data are described by Broadhead (1959), Blunt and Messersmith (1960), Schaefer, Chatwin, and Broadhead (1961), Fink (1965b), and Fink and Bayliff (1970). The methods of collecting and handling the catch and effort statistics are discussed by Shimada and Schaefer (1956) and Joseph and Calkins (1969).

Most of the calculations were performed on the CDC 3600 computer at the University of California at San Diego. The following programs were employed for this purpose:

- coefficient of total mortality and shedding—Analysis of a Catch Curve Program (Paulik, 1964);
- least squares regression—Weighted Linear Regression for Two Variables (Paulik and Gales, 1965);
- solution of the Murphy catch equation—A Computer Program for the Generalized Murphy Catch Equation (Tomlinson, 1970).

DATA EMPLOYED

Tag releases and returns

It was decided to use data for tagged fish released west and southwest of the Baja California peninsula and in and near the Gulf of Guayaquil and the return data for the fish from these releases recaptured in the same areas (and in one case also in and near the Gulf of California, as a substantial amount of the returns from one experiment were from recaptures made there). The areas are shown in Figure 1. They were selected because large numbers of tagged fish were released in these areas in several years and large numbers of returns resulted from them, practically all in the areas of release (Fink and Bayliff, 1970). Thus the tag returns per unit of fishing effort in the two areas can be used as indices of the numbers of the tagged fish remaining alive without appreciable error resulting from emigration of tagged fish from the areas under consideration.

The tag release and return data used in this study are listed in Tables 1 through 4. Cruises 58C1, 58C2, and 58C3 were conducted by the California Department of Fish and Game (Blunt and Messersmith, 1960), while the others were conducted by the Tuna Commission. All the data for Baja California area releases during a given year which produced sufficient numbers of returns for analysis were considered. For the Gulf of Guayaquil area the data for releases for given quarters of 1956-1960 and for given months of 1961-1962 were considered if sufficient returns were received from fish of these releases. The returns which resulted from fish recap-

tured in the areas outside the areas of release or in unknown areas were not used (with the exception noted above). The returns for which the years of recapture were unknown were also not considered, but those for which the months were unknown but the years were known were prorated among the months of the year of recapture according to the portions of the known recaptures made during each month of the years in question.

Statistics of the fishery

The statistical data routinely collected by the Tuna Commission include the logged catches in short tons of yellowfin by 1-degree and 5-degree areas, by months, quarters, and years, by types of gear (purse seine and baitboat), and by size classes of vessels, and the corresponding effort in days of fishing, both unstandardized and standardized to Class-3 purse-seine (vessels of 101-200 short tons capacity) days and Class-4 baitboat (vessels of 201-300 short tons capacity) days (Shimada and Schaefer, 1956; Joseph and Calkins, 1969). All effort is assumed to be directed toward yellowfin (and also toward skipjack) except that for the few trips for which species other than yellowfin or skipjack make up more than one third of the total weight of the catch.

It is necessary to obtain estimates of the fishing effort in the areas in question standardized to one particular type of gear. Broadhead (1962) devised a method for converting Class-3 purse-seine effort to Class-4 baitboat effort. For the present study, however, it was decided to convert the baitboat effort to purse-seine effort, as purse seiners have been the dominant type of gear since 1960, and will continue to be so during the foreseeable future. The conversion was accomplished by the method employed by Broadhead except that the variables were reversed so that the baitboat effort could be converted to purse-seine effort instead of the reverse. The 36 pairs of catch-per-unit-of-effort (CPUE) values used by Broadhead and listed in his Table 6 were employed, but the log-log relationship of the purse-seine CPUE to the baitboat CPUE instead of the log-log relationship of the baitboat CPUE to the purse-seine CPUE was determined. This results in the equation

$$\log Y = 0.4751175 + 0.7077775(\log X) \quad (1)$$

or

$$Y = 2.986X^{0.7077775} \quad (2)$$

where

Y = purse-seine CPUE in Class-3 purse-seine days and
 X = baitboat CPUE in Class-4 baitboat days.

The data are shown in Figure 2, with Broadhead's curve as well as the present one.

If the variances of the two relationships were the same and the log-log equation was the proper one to use the two curves would coincide, and the difference between the two curves is largely a reflection of the inadequacy of the data to estimate the relationship between the CPUEs of the two types of gear, especially when the CPUEs are high. Unfortunately, however, there are no better data, as the conversion of the fleet from baitboats to purse seiners was accomplished almost completely during 1959 and 1960.

For the Baja California area the logged catches of yellowfin by baitboats north of 15°N and the corresponding effort data (standardized to Class-4 baitboats) were tabulated by month for the years in question, and the latter were divided into the former to get 12 CPUE values for each year. The total monthly logged effort in Class-3 purse-seine days for the Baja California area was estimated by

$$f_{ijk(PS+BB)PS} = f_{ijkPSPS} + \left(\frac{(C/f)_{jkBBBB}}{(C/f)_{..PS}} \right) f_{ijkBBBB} \quad (3)$$

where

$f_{ijk(PS+BB)PS}$ = total logged effort in area i during month j of year k by purse seiners and baitboats in Class-3 purse-seine days,

$f_{ijkPSPS}$ = total logged effort in area i during month j of year k by purse seiners in Class-3 purse-seine days,

$(C/f)_{jkBBBB}$ = CPUE north of 15°N during month j of year k by baitboats in Class-4 baitboat days,

$(C/f)_{..PS}$ = CPUE corresponding to $(C/f)_{jkBBBB}$ in Class-3 purse-seine days, estimated from Formula (1) or (2), and

$f_{ijkBBBB}$ = total logged effort in area i during month j of year k by baitboats in Class-4 baitboat days.

The monthly logged effort for purse seiners and baitboats, and for both gears combined, for the Baja California area for August 1957 through September 1964 is shown in Table 5.

The total monthly logged effort in Class-3 purse-seine days for the Baja California and Gulf of California areas combined was estimated by the same method. Data equivalent to those in Table 5 for the two areas combined for September 1959 through July 1960 are shown in Table 6.

For the Gulf of Guayaquil area the statistics are complicated by the fact that many small purse seiners and baitboats were fishing in the area during the years when the tagging was conducted, and that there are no effort data for these vessels. Total catch statistics for these vessels are available, however (Table 7), and these catches are known to have been practically all taken in the Gulf of Guayaquil area. The logged catches of yellowfin by large baitboats south of the equator and the corresponding

effort data (standardized to Class-4 baitboat days) were tabulated by month for the years in question, and the latter were divided into the former to get 12 CPUE values for each year. The total monthly logged effort in Class-3 purse-seine days for the Gulf of Guayaquil area was estimated by Formula (3), but in this case $(C/f)_{jkBBBB}$ refers to the area south of the equator instead of north of 15°N . The total monthly logged effort by large purse seiners and baitboats plus the total monthly effort by small purse seiners and baitboats was estimated by

$$f_{ijk(PS+BB+ps+bb)PS} = \frac{C_{ijkPS} + C_{ijkBB} + C_{ijkps} + C_{ijkbb}}{\frac{C_{ijkPS} + C_{ijkBB}}{f_{ijk(PS+BB)PS}}} \quad (4)$$

where

$f_{ijk(PS+BB+ps+bb)PS}$ = total logged effort by large purse seiners and baitboats plus total effort by small purse seiners and baitboats in Class-3 purse-seine days in area i during month j of year k ,

C_{ijkPS} and C_{ijkBB} = logged catches in area i during month j of year k by large purse seiners and large baitboats, respectively, and

C_{ijkps} and C_{ijkbb} = catches in area i during month j of year k by small purse seiners and small baitboats, respectively.

The total monthly logged effort by large purse seiners and baitboats, plus the total effort by all vessels combined, all in Class-3 purse-seine days, plus the data used to obtain these estimates, are shown in Table 7 for October 1956 through October 1963.

REQUIREMENTS, ASSUMPTIONS, AND SOURCES OF ERROR

Mortalities and shedding

It is assumed that when several or all members of a group of fish are tagged an unknown and varying portion of them die due to the effects of tagging and handling or shed their tags before there is a chance for any of them to be recaptured (Type-1 loss). The remainder are subject to the following types of exponential loss: fishing mortality, F ; natural mortality, M ; mortality caused by carrying the tags, G ; shedding of the tags, L . G and L are defined as Type-2 losses. All of these losses except F are assumed to be constant among years and within years. F is the product of the coefficient of catchability, q , and the fishing effort, f , neither of which necessarily remains constant either among years or within years. Fink (1965a) and Joseph and Calkins (1969) defined Q as $G + L$, X as $M + Q$, and Z' as $F + X$. In this report the subscripts m and a following the coefficients are used to designate monthly and annual values of them, respectively.

Availability

It is assumed that the availability of the fish remains constant among years and within years, *i.e.* that there is no emigration, either permanent or temporary, from the areas of study. Actually, tagged fish released in the Baja California area during June-December may occur near the Revillagigedo Islands and near the mouth of the Gulf of California during the first half of the succeeding year before returning to the Baja California area in about June (Fink and Bayliff, 1970). There is not much fishing in the Baja California area during January-May, and the tagged fish which are absent from that area during this period are not caught in appreciable numbers in the other areas (with the exception noted previously), so the fact that some of the fish leave the Baja California area for part of the year is not very important. Fink and Bayliff (1970) point out that tagged fish released in the Gulf of Guayaquil tend to remain there and tagged fish released elsewhere tend to migrate to it, so emigration is not believed to have been a serious problem for the Gulf of Guayaquil area either.

Tag returns

It is not necessary that the tags from all the tagged fish recaptured be returned, but it is necessary that the portions which are returned remain constant among time periods for fish caught in each area. (If the portions which are returned remain constant the effect of the loss of those which are not returned is the same as that of Type-1 loss.)

In four different years of the period under consideration "test tagging" was conducted by the Tuna Commission. This consisted of surreptitiously placing tags on dead fish at the canneries just after they were unloaded from the vessels. The results are summarized in Table 8. A Chi-square contingency test indicates that the rates of return did not differ among years ($\chi^2 = 5.1952$, d. f. = 3, $P = 0.10-0.20$). Therefore there is no indication that the estimates of the mortality rates could be biased due to different rates of tag return in different years.

Fish caught in the Baja California area are processed mostly at San Pedro and San Diego, California, but those caught in the Gulf of Guayaquil area are processed also at Mayaguez and Ponce, Puerto Rico, Manta, Ecuador, and Mancora, Peru. The test tagging experiments are deficient in that they were conducted mostly at San Pedro and not at all in Ecuador or Peru. It is likely that the return rates for San Pedro and San Diego and for Mayaguez and Ponce were about the same, but it is quite possible that the return rates for Puerto Rico, Ecuador, and/or Peru had upward or downward trends which cannot be detected from the results of the test tagging experiments. Also, even if there were no upward or downward trends in the rates of return for Puerto Rico, Ecuador, or Peru, if the rates differed from that of San Pedro and San Diego and the portions of fish

caught by vessels landing at the different locations varied from month to month or year to year the data would be biased. It is evident from Table 7 that the portion of the catch taken by small baitboats (based in Ecuador) increased considerably from 1956 through 1963. The ratios of the tag returns to the logged catches by the large purse seiners and baitboats and of the tag returns to the total catches by the small purse seiners and baitboats were calculated for the Gulf of Guayaquil area for 1956 through 1963. The ratios were higher than average for the large purse seiners in all years but 1962, higher than average for the small purse seiners in all years, lower than average for the large baitboats in all years but 1961, and lower than average for the small baitboats in all years. The catches of the large vessels were processed mostly in California and Puerto Rico, while those of the small purse seiners were processed at Mancora and those of the small baitboats at Manta. The differences in the rates of return of the tags from fish caught by the different types of gear are believed to be due at least partly to uneven distribution of the tagged fish within the Gulf of Guayaquil area, coupled with different distributions of the fishing effort by the different types of gear. The quality of the data does not make further study of this matter feasible. Most of the tag returns were from fish recaptured within 1 year of release, and the trends in the portions of the tags returned during such a short span of time are not likely to be pronounced.

In addition, the test tagging experiments are deficient in that the dead fish were not tagged until they had already been handled by the fishermen and unloaders, so that the tests provide only estimates of the portions of the tags which would have been returned by the cutters if the tags were not seen and removed by the fishermen and unloaders. Ideal test tagging would be accomplished by tagging the fish just before they are caught, but this is not possible, of course. For more recent test tagging the dead tagged fish have been placed in the wells of the vessels, either at sea immediately after capture by cooperative fishermen or by Tuna Commission personnel who are aboard the vessels chiefly to tag and release live fish, or in port shortly before unloading by Tuna Commission personnel who are at the canneries chiefly to measure fish.

Statistics of the fishery

Usable logbook data were not secured for all fishing trips by large purse seiners and baitboats, so the effort by these vessels is underestimated. It is not possible to know the total catch and effort for a given area because the vessels from which usable logbook data were not obtained as a rule fished in several areas, so their catches and effort could not be assigned to areas, even though their total catches, at least, were known. The portion of the catches and effort for which usable logbook data were obtained is believed to be about 90 percent for the Baja California and Gulf of California areas. For the Gulf of Guayaquil area the logbook coverage is

believed to have been nearly 100-percent complete. Thus the effort data in Tables 5 and 6 represent about 90 percent of the total effort, while those in Table 7 represent virtually all the effort.

As mentioned earlier, all fishing effort by tuna purse seiners and baitboats is assumed to have been directed toward yellowfin except for that for the few trips for which species other than yellowfin or skipjack made up more than one third of the total weight of the catch. Actually, in some areas at some times skipjack are much more abundant than yellowfin and the fishing effort could be directed primarily or entirely toward skipjack. Such is often the case in the Gulf of Guayaquil area, especially the northern part, but less often the case in the Baja California area. Unfortunately, no method has been devised to separate the effort directed toward yellowfin from the total effort (Bayliff and Orange, 1967), so this could constitute a source of error in the analysis.

It has been mentioned that there is error involved in the conversion of baitboat effort data to purse-seine effort data. Fortunately, the most extensive tag return data are for experiments initiated during 1961, 1962, and 1963, and purse seiners were the predominant type of vessel during this period. Also, of course, there is error involved in the standardization of the purse-seine effort data to effort by Class-3 vessels and of the baitboat effort data to effort by Class-4 vessels.

For months for which the effort by large purse seiners and baitboats was small and the catch by small purse seiners and baitboats was large in the Gulf of Guayaquil area the estimates of the total effort are likely to be poor. The outstanding example is provided by the data for March 1958, which resulted in an estimate for the total effort which is probably about 10 times the correct value. There was no other estimate of the total effort for a month greater than 1,000, however, which makes it appear that such very poor estimates of the total effort are uncommon.

RESULTS

Coefficients of total mortality and shedding

Chapman and Robson (1960) and Robson and Chapman (1961) derived formulae for the estimation of the survival ($s = e^{-Z}$) of a population of fish from age composition data obtained from samples of the catch taken in a single year. Paulik (1962) applied their methods to the problem of estimation of the coefficient of total mortality and shedding, Z' , of tagged fish of a single release from return data during several intervals after release.

For this method it is necessary that the fishing effort be constant among intervals, or at least that there be no upward or downward trend in the effort with time. Such was not the case for the effort data used in

this study (Tables 5, 6, and 7), so the return data were adjusted to compensate for this fact by partitioning the total returns among the months in proportion to the returns per unit of effort in those months. This was accomplished by

$$R_{ijk} = \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \times \frac{\sum_{j=1}^J r_{ijk}}{\sum_{j=1}^J \left(\frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \quad (5)$$

where

R_{ijk} = adjusted number of tag returns in area i during month j of fish of release k ,

r_{ijk} = number of tag returns in area i during month j of fish of release k , and

f_{ij} = fishing effort in area i during month j .

The effort data for the month(s) during which tagged fish were released were adjusted downward by Formula (80) of Joseph and Calkins (1969) to compensate for the fact that the tags were not available to the fleet the entire month(s).

The adjusted tag returns are shown in Tables 3 and 4 and Figures 3 and 4. These were used to make the estimates of Z_m' , which are shown in Table 9 and Figures 3 and 4. The single and double tag return data for the 1963 experiments are combined because the slope of the line for the single tag data was not steeper than those for the double tag data.

The catch curves are quite irregular, and Chi-square contingency tests demonstrated that most of them differ significantly from the expected curves (derived from the estimates of Z_m'). The reasons for this could be one or more of the following: (1) emigration of the tagged fish from the areas in question and possible later return of them to these areas; (2) temporal variation in the portion of the fishing effort directed toward yellowfin; (3) temporal variation in the vulnerability of the tagged fish to capture; (4) secondary effects of (2) or (3) or any other factors such as temporal variation in M , G , or L which would cause the total rate of attrition to be non-constant; (5) failure of the tagged and untagged fish to mix completely during the periods of recapture of the former coupled with uneven distribution of the fishing effort with respect to the distribution of the fish.

Emigration is not considered to have been a serious problem for either

the Baja California area or the Gulf of California area, as explained previously.

Temporal variation in the portion of the fishing effort directed toward yellowfin could be an important cause of the irregularity of the catch curves, especially for the Gulf of Guayaquil area, as this is by far the most important skipjack producing area of the eastern Pacific Ocean (Bayliff and Orange, 1967), and many large purse seiners and baitboats which fished in this area during the period under consideration caught primarily skipjack. However, tables similar to Tables 3 and 4 were made for the returns of tagged skipjack released in the same areas at the same times as the yellowfin, and in general the months which produced high returns of yellowfin also produced high returns of skipjack, and *vice versa*, whereas the converse would be expected if the vessels directed most of their effort toward yellowfin in some months and skipjack in others. These data, therefore, tend to support the assumption that all the fishing effort is directed toward yellowfin.

Temporal variation in the vulnerability of the tagged fish to capture is believed to have been an important cause of the irregularity of the catch curves. Among the possible causes of this variation are differences in the behavior of the fishermen relative to fish of different ages, differences in the behavior of the fish of different ages which affect their vulnerability to the gear, and differences in the weather which affect the efficiency of the gear and/or the behavior of the fish.

Partial avoidance by the fishermen of the fish of less than legal size obviously decreases their vulnerability to the fishery. The minimum legal size for yellowfin landed in California is $7\frac{1}{2}$ pounds (about 55 cm), and a great many of the tagged fish released in the Baja California area, particularly on the charter cruises of 1958 and 1962, were less than legal size (Fink and Bayliff, 1970: Appendix 1). This might reduce the negative slopes of the catch curves, or even make them positive, for all or part of the first few months after the experiments were initiated. To eliminate the possibility of such a bias the returns from fish which were less than 55 cm long when released were eliminated from the 1958 and 1962 data for the Baja California area, and the returns per unit of effort for the remainder of the data were calculated. These return-per-unit-of-effort data are shown as dots in Figures 3b and 3e. The shapes of the catch curves are not much changed, which indicates that the fact that many of the tagged fish were of sublegal size when released was not an important cause of the irregularity of the catch curves for the Baja California area.

It can be seen in Figure 4 that there were peaks in the catch curves for the Gulf of Guayaquil area for the 1961 experiments of October, November, and December in March 1962 and for the 1962 experiments of July, August, September, and October in January 1963. The catches per

unit of effort of untagged fish were high also during those months (Table 7), and it is believed that this was caused by the fish having become vulnerable to capture at these times. It is unlikely that these peaks in the catch curves were caused by the fish not having been fully recruited into the fishery until these times. First, there are no legal minimum size limits in Puerto Rico, Ecuador, and Peru, where most of the fish caught in the Gulf of Guayaquil area are landed; second, the lengths of the tagged fish at release (Fink and Bayliff, 1970; Appendix 1) were roughly the same as the lengths of the fish caught in this area (Hennemuth, 1961a; Davidoff, 1963); and third, the fish were released 3 to 6 months prior to the peaks, and those which were of sublegal size by California law should have reached catchable size within 2 or 3 months after release.

Nothing is known about temporal differences in the behavior of fish of different ages within the range of ages under consideration which might affect their vulnerability to the gear.

Differences in the weather can certainly cause differences in the efficiency of the gear, and when the catches of both yellowfin and skipjack are high in the same month or *vice versa* it is likely that unusually good or bad weather is mostly responsible. Unfortunately, however, it is not possible to correct the fishing effort for variations in efficiency due to the weather, except that when the weather is too bad to search for fish on certain days those days are not counted as days of fishing effort. Nothing is known about the effect of the weather on the behavior of the fish.

Nothing is known about temporal variation in the natural mortality rates of yellowfin of the ages under consideration, nor about temporal variation in the mortality due to carrying the tags or in shedding of the tags.

Nothing is known of the extent to which schools of yellowfin maintain their integrity beyond the fact that occasionally individuals from groups of tagged fish released in the same locations at the same times are sometimes recaptured at widely scattered locations shortly after release. This does not mean that some of the fish do not remain together for long periods, however.

Coefficients of mortality other than fishing mortality Beverton and Holt method

Beverton and Holt (1956) pointed out that when the fishing effort in different years for which estimates of Z are available varies considerably the linear relationship $Z = M + qf$ can be fitted by the method of least squares to obtain estimates of the constants M and q . For the present data the linear relationship is

$$Z'_m = X_m + q\bar{f}_m \quad (6)$$

but the method is the same.

For the Baja California area the effort data for each experiment were calculated by summing the effort data from the first month during which tagged fish were released to the end of that year (adjusting the effort data downward for the month(s) during which tagging took place, as described previously) and dividing this sum by the number of months involved to get \bar{f}_m . For the Gulf of Guayaquil area the same method was employed except that the data for the first month during which tagged fish were released plus the following 11 months were used to calculate the effort. Different techniques were employed for the two areas because in the Gulf of California area the fishery is very intense from about May or June to December and very light from about January to April or May, and very few tag returns were realized from fish recaptured during the latter period, whereas in the Gulf of Guayaquil area the fishing effort is more nearly constant throughout the year and the median time at liberty for the tagged fish is greater (Fink and Bayliff, 1970). These techniques for calculating the effort are arbitrary, of course, but at least they are consistent within areas. The Z_m' estimates were made from the adjusted return data for only the periods in question, so in most cases they differ somewhat from the estimates in Table 9. For calculation of the regressions the data for each experiment were weighted by the number of tag returns for the periods in question. The estimates of \bar{f}_m and Z_m' for each experiment are shown in Table 10, and the regression lines and their 95-percent confidence limits are shown in Figures 5 and 6. The slope of neither line is significantly different from zero, so it is apparent that estimates obtained by this method are useless.

Murphy-Tomlinson method

Many of the estimates of Z_m' in Table 9 are less than 0.25, so it appears that X_m must not be greater than 0.25. Tomlinson's (1970) computer program for use with the Murphy (1965) method was used to try to estimate X_m . The input for this program is a vector of unadjusted tag returns for the months (or combinations of months if there occur two or more successive months with no returns) before and including the last month for which there was at least one return, a trial value for X_m , and a trial value of F_m for the last month for which there was at least one return. The output includes estimates of F_m for each month and of the population of tagged fish at the beginning of each month.

Use of trial values of F_m which are too low or too high is likely to produce estimates of q ($= F_m/\bar{f}_m$) for the other months which decrease or increase precipitously, while use of trial values of X_m which are too low or too high is likely to produce estimates of the initial population (the number of tagged fish remaining alive after the Type-1 losses have taken place) which are too low or too high. It is likely that q at first increases with

time when the fish are smaller (Hennemuth, 1961b), and perhaps later decreases with time when the fish are very large, but it is not believed that it should change precipitously during the portion of the life span of the fish included in the present study. The estimate of the initial population should be somewhat less than the number of tagged fish released because of Type-1 losses. If it is higher than the number of fish released the trial value of X_m is believed to be too high, but since the extent of the Type-1 loss is not known, and probably varies considerably among experiments, it is not possible to determine from the estimates of the initial population when the trial values of X_m are too low.

For the Baja California area experiments of 1957-1960 and for the Gulf of Guayaquil area experiments trial values of X_m of 0.05, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20, and 0.25 and trial values of F_m of 0.05 through 0.40 at intervals of 0.05 were used. For the Baja California area experiments of 1962 and 1963 trial values of F_m of 0.20 through 1.20 at intervals of 0.10 were substituted.

The occurrence of precipitously changing estimates of q was of little or no use in deciding which of the trial values of F_m were poor estimates, as it was sometimes difficult to decide which were precipitously changing and because the precipitously changing estimates tended to occur with all trial values for a few of the experiments and none for most of the experiments. Furthermore, within these experiments all the precipitously changing estimates of q were increasing at all trial values of the final F_m , whereas they would be expected to decrease at low trial values and increase at high trial values.

The occurrence of impossibly high estimates of the initial population was helpful, however. In Figures 7 and 8 are shown the occurrence of these impossibly high values for each experiment. It will be noted that the impossibly high estimates occur most frequently when $X_m = 0.20$ and 0.25 , so X_m is probably less than 0.20 ($X_a < 2.4$). Bayliff and Moberand (unpublished data) have shown that L_a for dart tags (Fink, 1965b) is about 0.3, so $M_a + G_a$ is probably less than 2.1 and M_a is probably less than 2.0. Hennemuth (1961b) estimated M_a to be 0.77, with 95-percent confidence limits of 0.64 and 0.90. The present estimate is not in disagreement with that of Hennemuth, but unfortunately it is so crude that its usefulness is limited.

Coefficients of catchability

If M_a is 0.8 and L_a is 0.3, and G_a is arbitrarily assigned a value of 0.1, then X_a is 1.2 and X_m is 0.1. This estimate was subtracted from each of the estimates of Z_m' in Table 10 to get estimates of F_m . These were divided by the monthly average values of f_m in the same table to obtain estimates of q . The effort data for the Baja California area are only about 90-percent complete, however, as explained previously, so the q estimates for this

area were adjusted by multiplying them by 0.9. The data are shown in Table 11.

The 1962-1963 estimates for the Baja California area are higher than those for 1958-1960 for the same area. (The estimate of 3.030×10^{-3} for 1959 is probably much too high, as Z_m' estimated from all the return data (Table 9) is much lower than Z_m' estimated from those for August-December only (Table 10).) From this it appears that during 1962 and 1963 the fishing power of a purse seiner relative to that of a baitboat was greater than Broadhead's (1962) data indicate. It is likely that such was the case, for Broadhead's data were obtained during 1959 and 1960 when most of the fishermen had had relatively little experience fishing for tunas with purse seiners, so the fishing power of purse seiners would be expected to be greater during 1962 and 1963 than during 1959-1960. Of course, even if errors such as this were eliminated q would not be expected to be constant unless the vulnerability of the fish to capture were constant.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Tag release and return data for the Baja California and Gulf of Guayaquil areas were selected for this study because substantial numbers of returns resulted from these releases and because the effects of emigration are small in these areas. The fishing effort is not constant with time in either area, so to estimate Z' it is necessary to use data on the returns per unit of effort by month, rather than the returns per month. Considerable manipulation of the data was necessary to obtain estimates of the total effort in each area in Class-3 purse-seine units.

The graphs on semilogarithmic paper of the tag returns per unit of effort plotted against time are very irregular; this is apparently caused principally by temporal variation in the vulnerability of the fish to capture and failure of the tagged and untagged fish to mix completely during the periods of recapture of the former. Such being the case, it is not possible to make good estimates of the rates of total, fishing, and natural mortality. However, X_a is believed to be less than 2.4, and a fairly good estimate of 0.3 is available for L_a . If an arbitrary estimate of 0.1 is used for G_a , M_a is less than 2.0, which is not in disagreement with Hennemuth's (1961b) estimate of 0.8.

Using Hennemuth's estimate for M_a , X_a is 1.2 and X_m is 0.1. Subtraction of this from the Z_m' estimates for the various experiments gives estimates for F_m , and from these and the corresponding \bar{f}_m estimates the values of q can be estimated. The unweighted averages of these are 2.02×10^{-3} for the Baja California area and 0.67×10^{-3} for the Gulf of Guayaquil area.

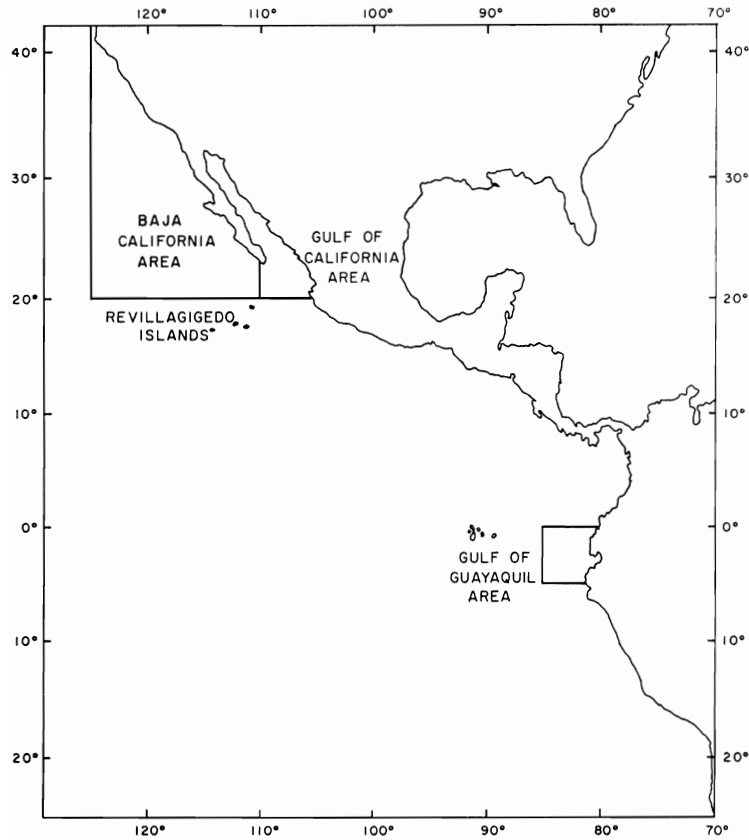


FIGURE 1. Map of the eastern Pacific Ocean, showing the areas mentioned in the text.

FIGURA 1. Mapa del Océano Pacífico oriental, indicando las áreas mencionadas en el texto.

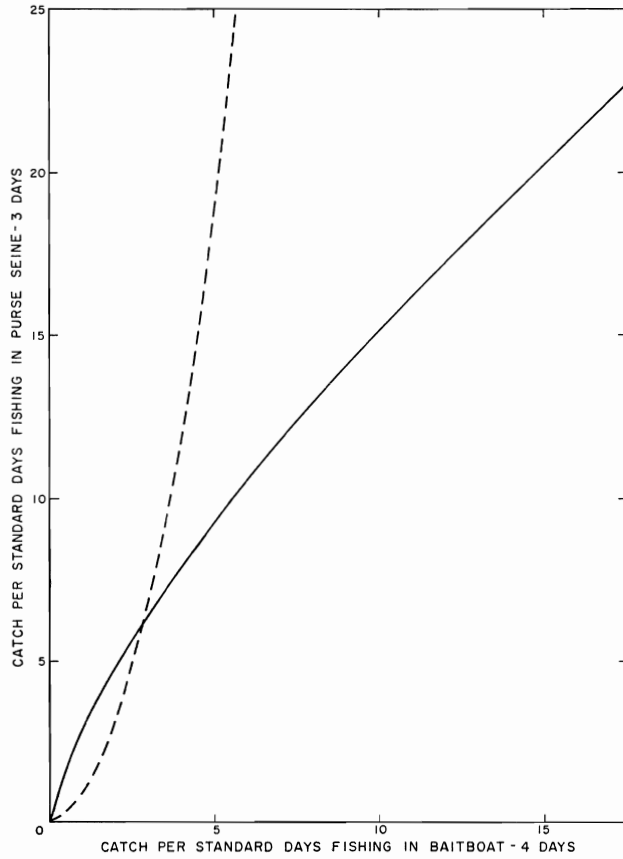


FIGURE 2. Relationship of the yellowfin catch per unit of effort by purse seiners in Class-3 days to that by baitboats in Class-4 days (solid line) and the reverse relationship (dashed line).

FIGURA 2. Relación de la captura de aleta amarilla por unidad de esfuerzo de barcos cerqueros en días de Clase 3 a la misma de clipers en días de Clase 4 (línea sólida) y la relación contraria (línea a guiones).

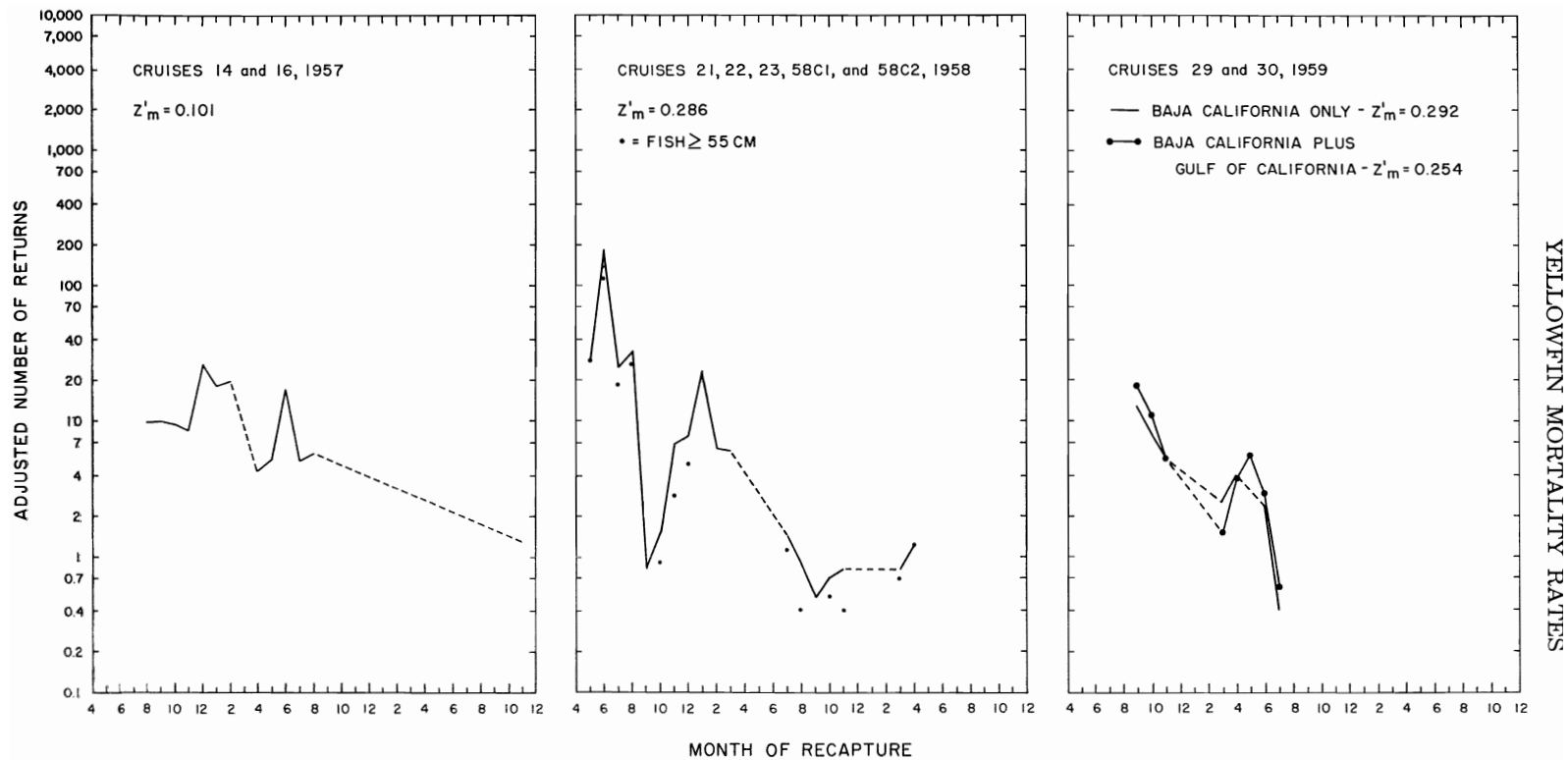


FIGURE 3A — FIGURA 3A

FIGURE 3. Adjusted tag returns by month of recapture for the Baja California releases.
FIGURA 3. Retornos ajustados de marcas por mes de recaptura respecto a las liberaciones de Baja California

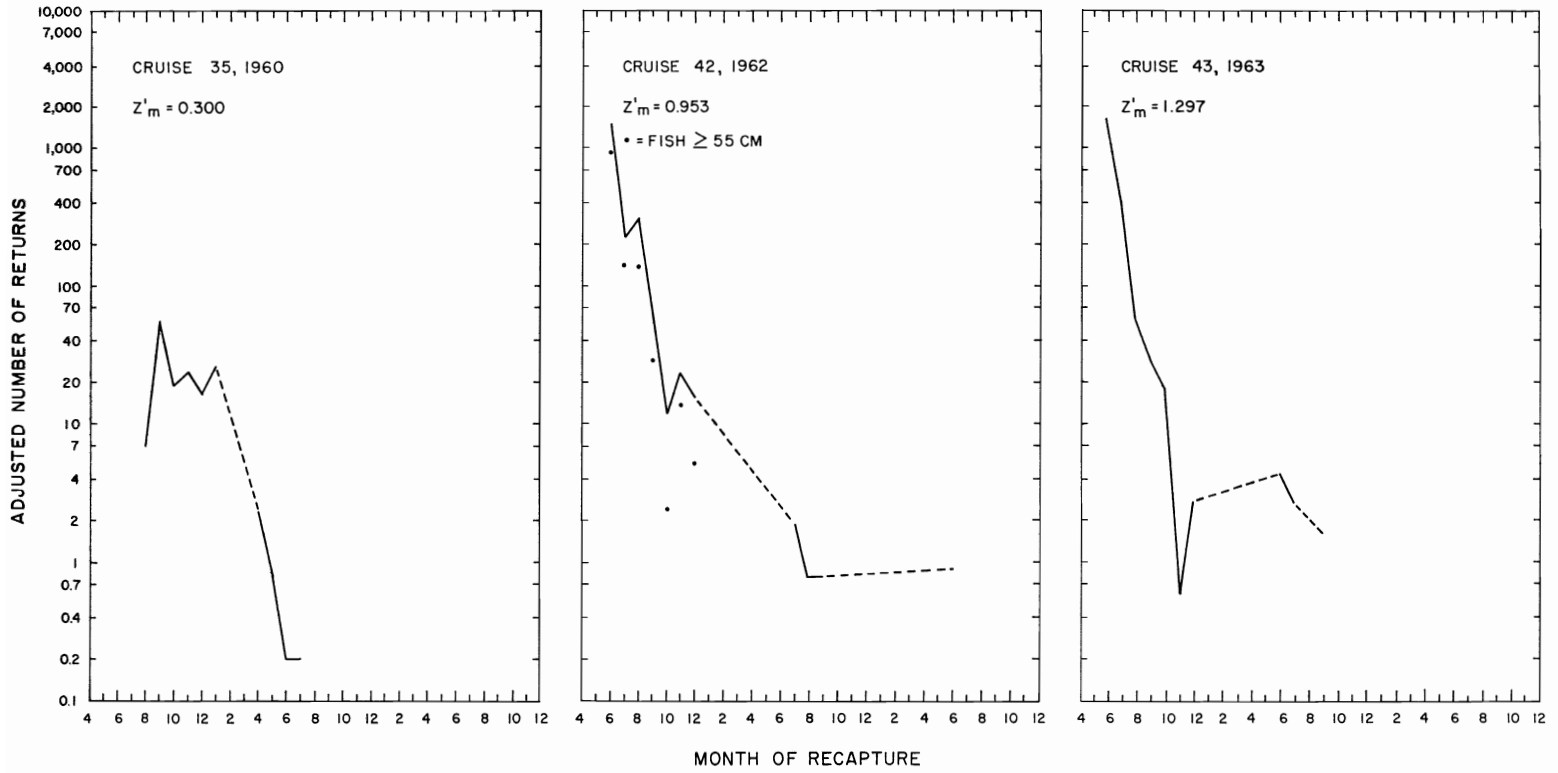


FIGURE 3B — FIGURA 3B

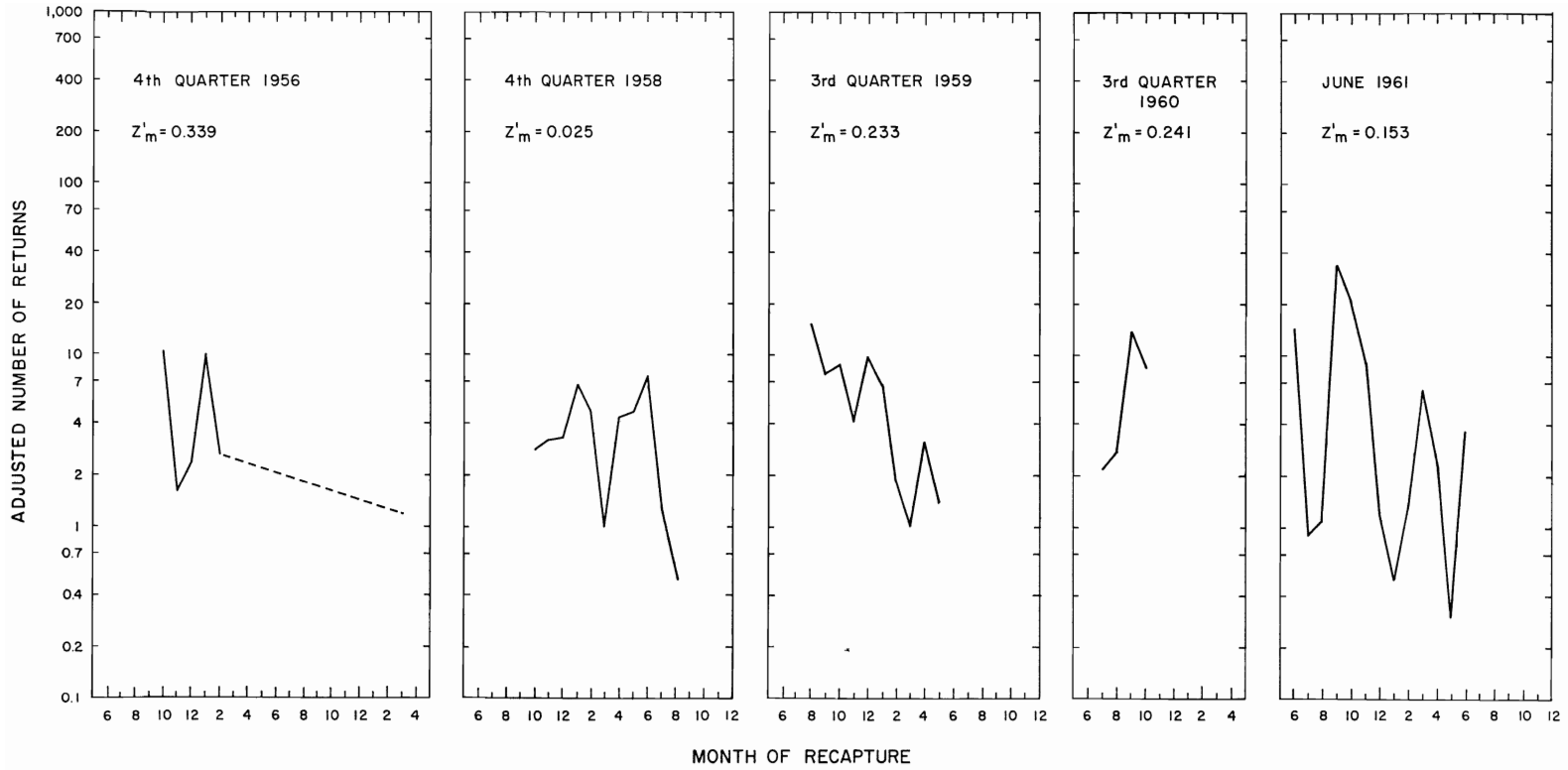


FIGURE 4A — FIGURA 4A

FIGURE 4. Adjusted tag returns by month of recapture for the Gulf of Guayaquil releases.
FIGURA 4. Retornos ajustados de marcas por mes de recaptura respecto a las liberaciones del Golfo de Guayaquil.

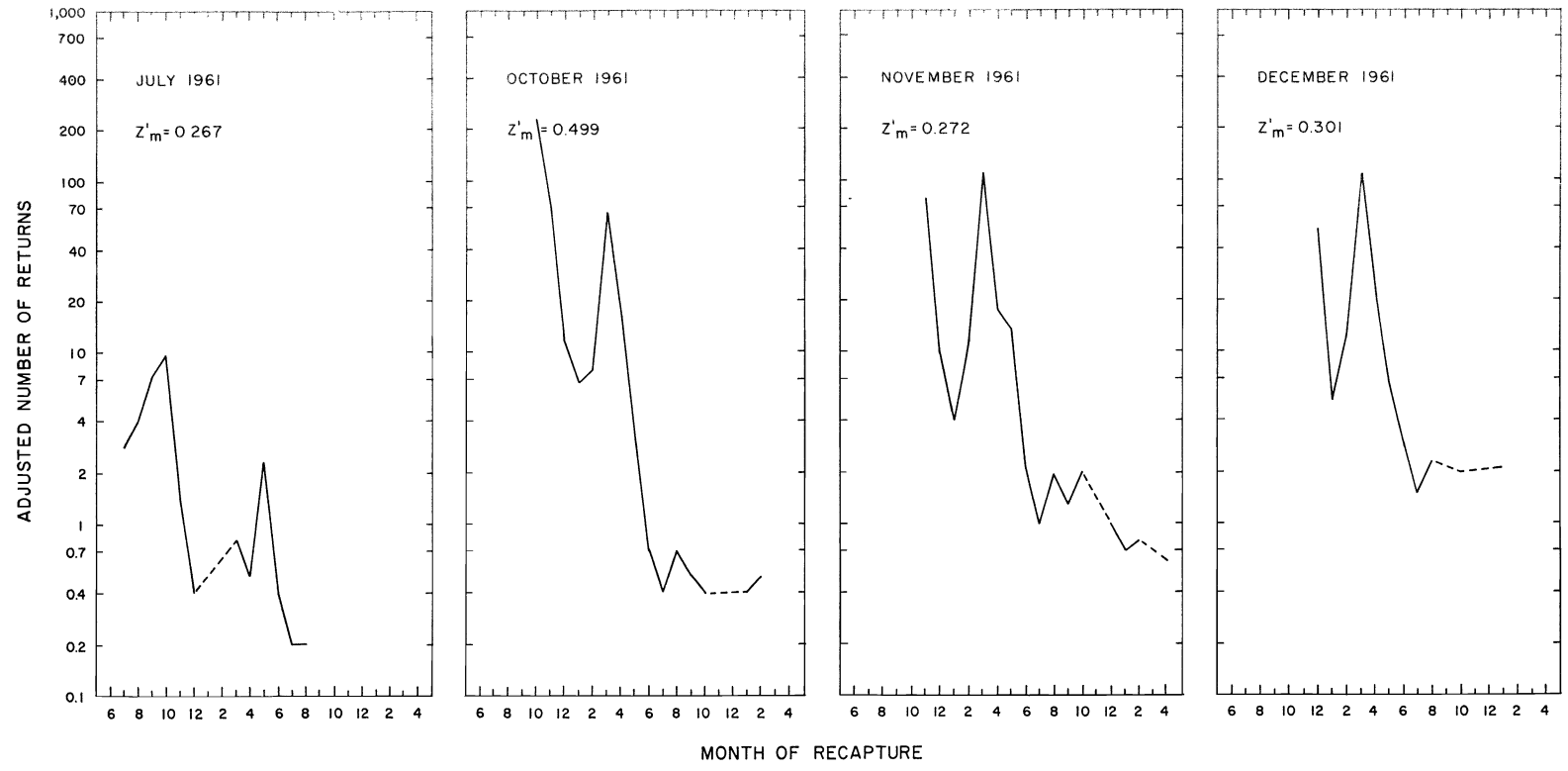


FIGURE 4B — FIGURA 4B

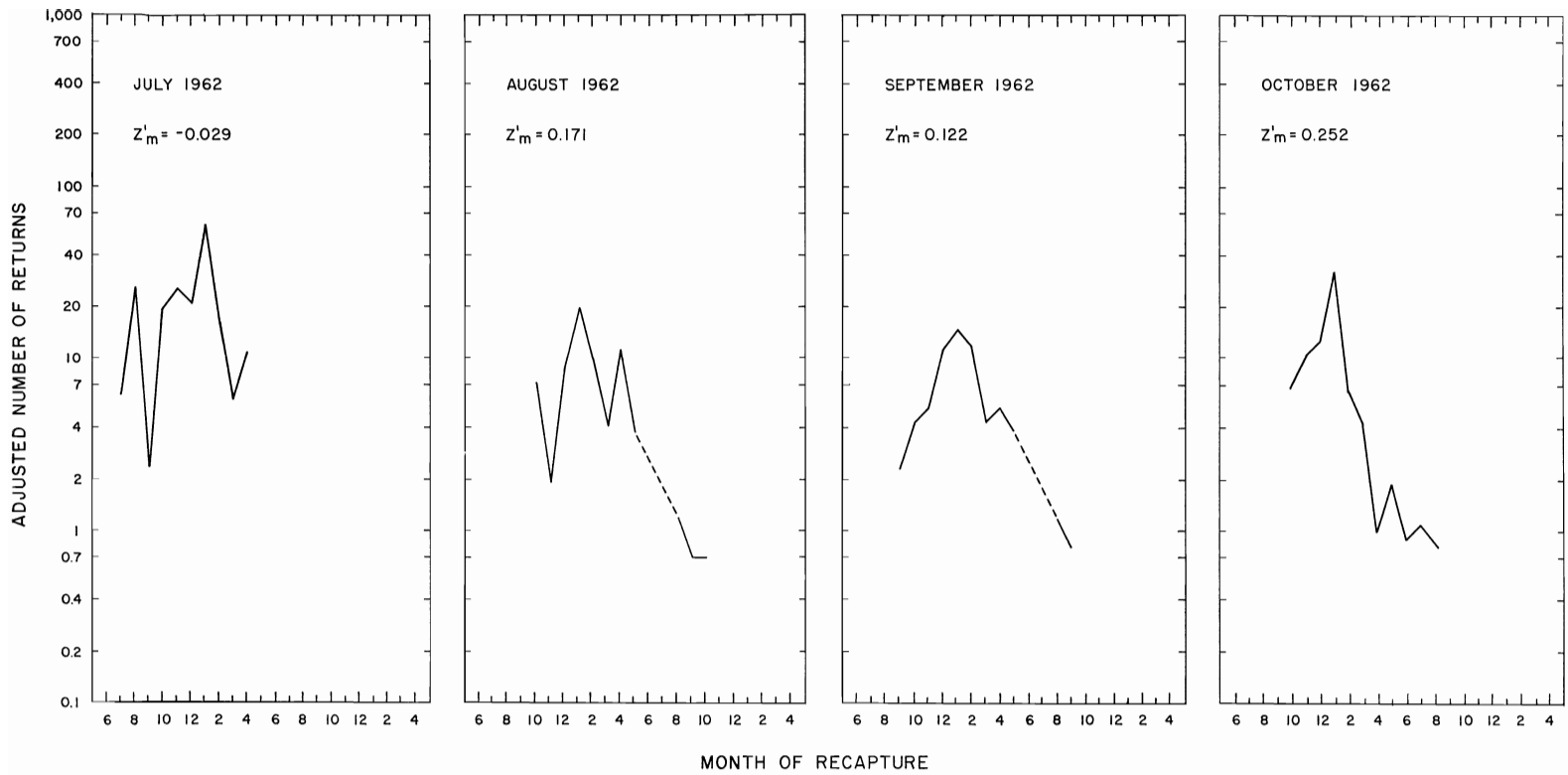


FIGURE 4C — FIGURA 4C

YELLOWFIN MORTALITY RATES

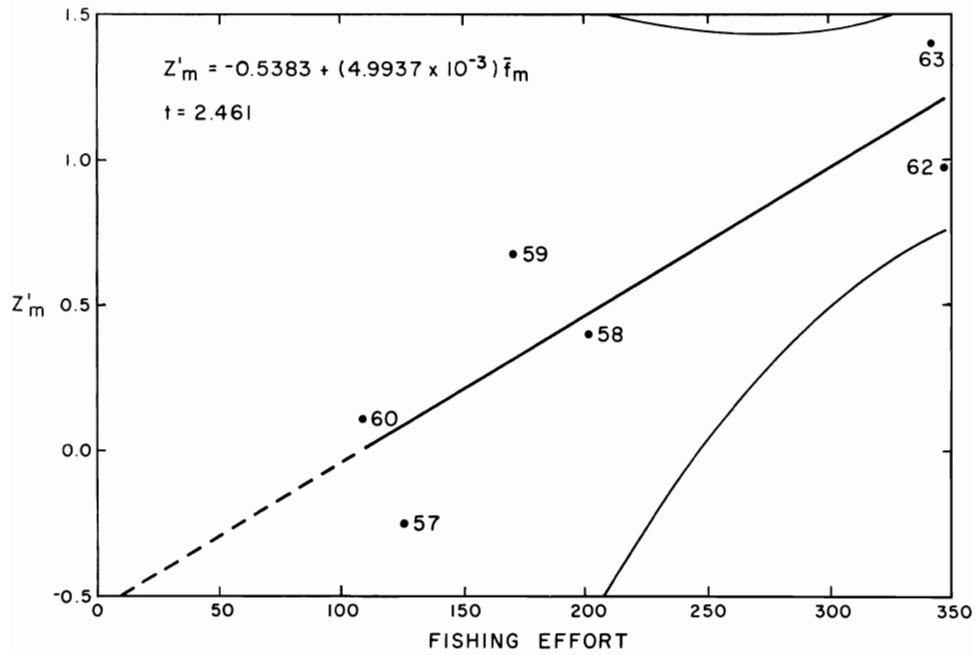


FIGURE 5. Least-squares regression line and its 95-percent confidence limits for estimation of X_m and q for the Baja California area.

FIGURA 5. Línea de regresión de los mínimos cuadrados y sus límites de confianza del 95 por ciento para estimar X_m y q para el área de Baja California.

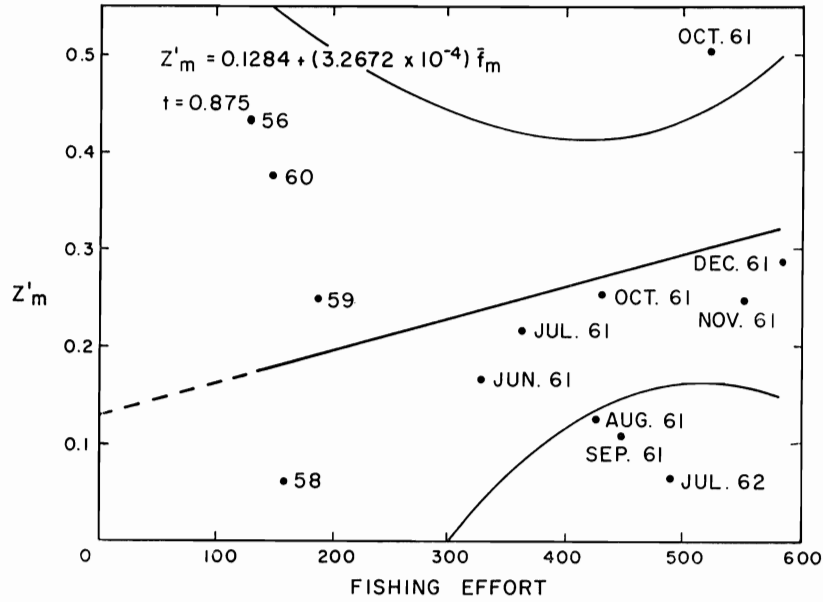


FIGURE 6. Least-squares regression line and its 95-percent confidence limits for estimation of X_m and q for the Gulf of Guayaquil area.

FIGURA 6. Línea de regresión de los mínimos cuadrados y sus límites de confianza del 95 por ciento para estimar X_m y q en el área del Golfo de Guayaquil.

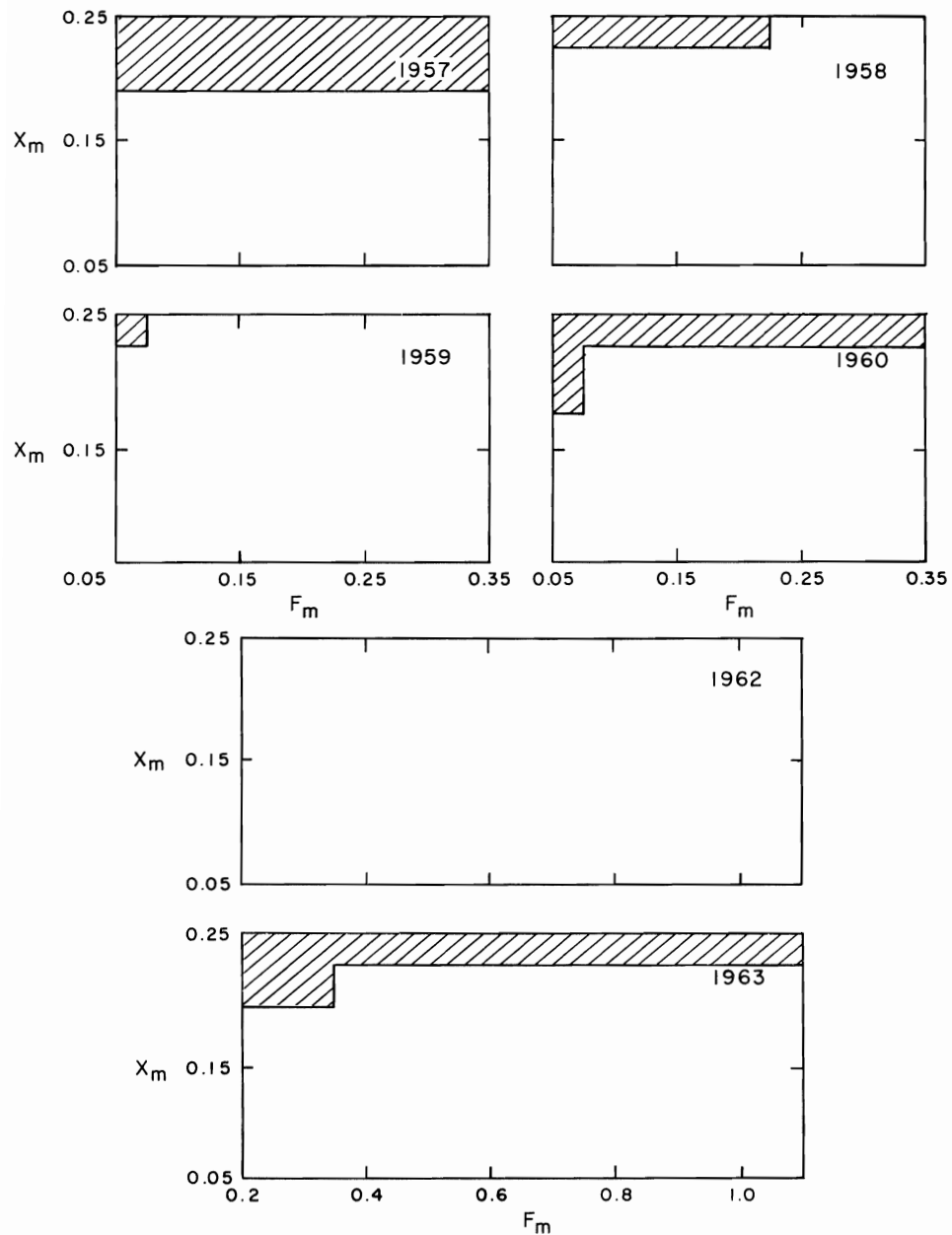


FIGURE 7. Data for estimation of X_m for the Baja California area with Tomlinson's (1970) computer program. The shaded areas represent combinations of F_m and X_m which result in impossibly high estimates of the initial population.

FIGURA 7. Datos de la estimación de X_m en el área de Baja California con el programa de computador de Tomlinson (1970). Las áreas sombreadas representan combinaciones de F_m y X_m lo cual da como resultado estimaciones irrealizablemente altas de la población inicial.

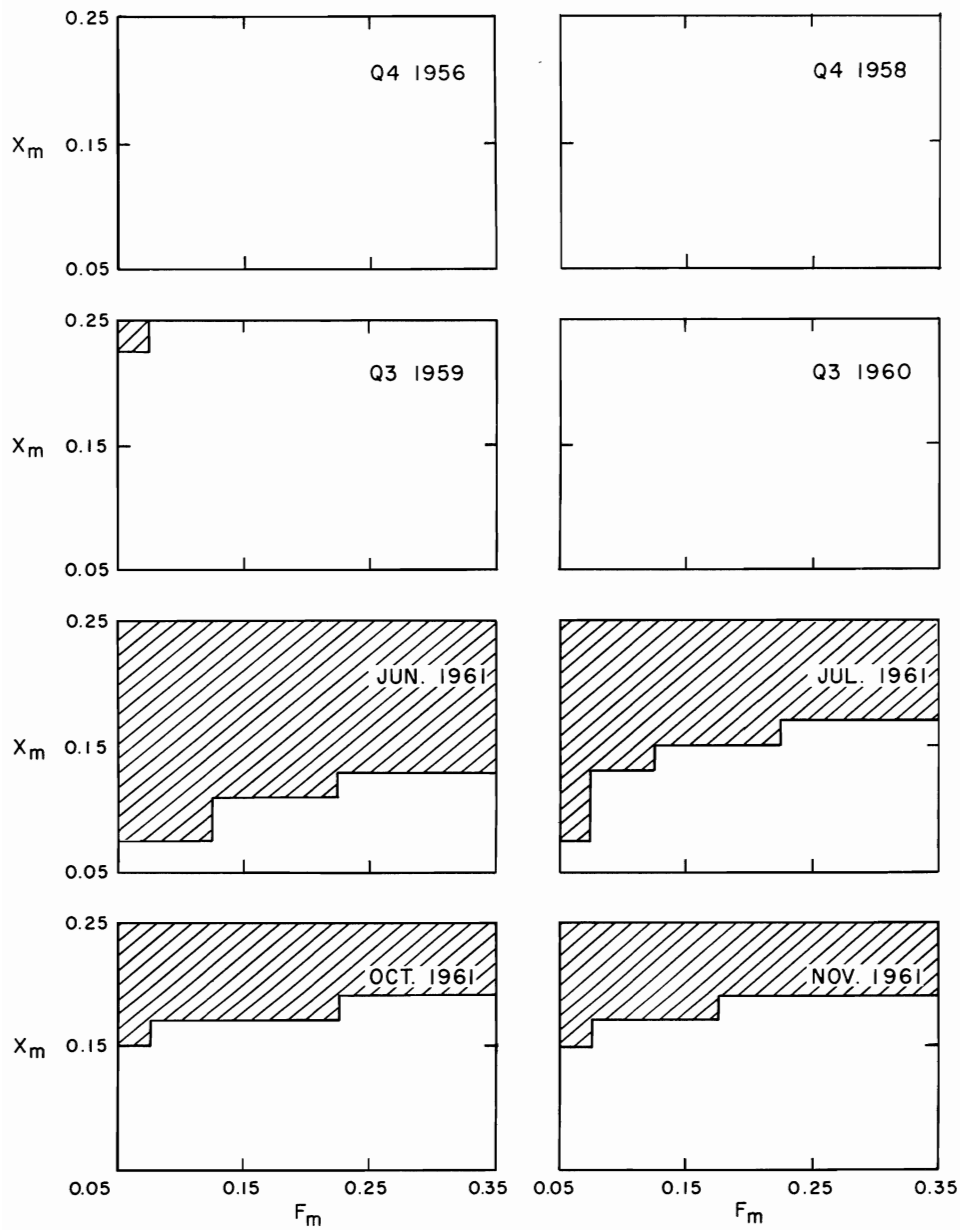


FIGURE 8A — FIGURA 8A

FIGURE 8. Data for estimation of X_m for the Gulf of Guayaquil area with Tomlinson's (1970) computer program. The shaded areas represent combinations of F_m and X_m which result in impossibly high estimates of the initial population.

FIGURA 8. Datos de la estimación de X_m del área del Golfo de Guayaquil con el programa de computador de Tomlinson (1970). Las áreas sombreadas representan combinaciones de F_m y X_m lo cual da como resultado estimaciones irrealizablemente altas de la población inicial.

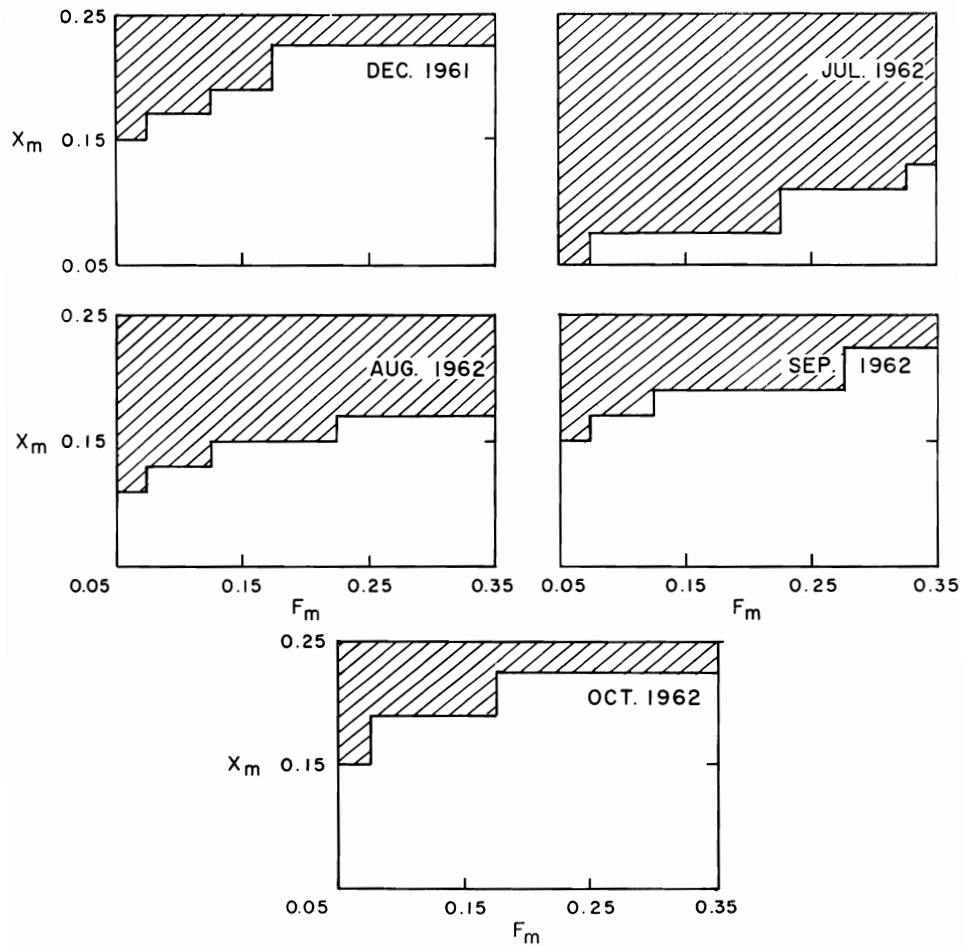


FIGURE 8B — FIGURA 8B

TABLE 1. Tagged fish release and return data used for estimation of the mortality of yellowfin in the Baja California area.
TABLA 1. Datos de peces marcados, liberados y retornados usados para la estimación de la mortalidad de aleta amarilla en el área de Baja California.

Cruise number Número del crucero	Date of release Fecha de liberación	Tag type Tipo de marca	Number released Número liberado	Number returned Número retornado	
14	Aug. 1-Sep. 21, 1957	loop-ojal	580	52	
16	Oct. 19-Dec. 1, 1957	loop	405	89	
21	May 26-Jul. 7, 1958	loop	160	45	
22	Jul. 4-Aug. 3, 1958	loop	391	58	
23	Aug. 4-24, 1958	loop	1,828	45	
58C1	May 22-Jul. 7, 1958	loop	765	107	
58C2	Jul. 17-Sep. 2, 1958	loop	437	8	
58C3	Aug. 23, 1958	loop	1	0	
29	Aug. 16-Sep. 20, 1959	loop	179	3	(Baja California only)
29				4	(Baja Calif. and Gulf of Calif.)
30	Sep. 14-Oct. 21, 1959	loop	449	33	(Baja California only)
30				45	(Baja Calif. and Gulf of Calif.)
35	Aug. 10-Sep. 16, 1960	dart-flecha	392	146	
42	Jun. 2-24, 1962	dart	4,622	2,158	
43	Jun. 5-Jul. 1, 1963	dart	2,578	1,710	
	Jun. 17-Jul. 1, 1963	dart + loop	280	88	
	Jun. 5-27, 1963	double dart	531	395	

TABLE 2. Tagged fish release and return data used for estimation of the mortality of yellowfin in the Gulf of Guayaquil area.

TABLA 2. Datos de peces marcados, liberados y retornados usados para la estimación de la mortalidad de aleta amarilla en el área del Golfo de Guayaquil.

Date of release Fecha de liberación	Tag type Tipo de marca	Number released Número liberado	Number returned Número retornado
Oct. 4-Dec. 8, 1956	loop-ojal	290	28
Oct. 6-Dec. 24, 1958	loop	420	40
Jul. 1-Sep. 18, 1959	loop	542	59
Jul. 8-Sep. 30, 1960	loop	252	23
Sep. 18-30, 1960	dart-flecha	41	4
Jun. 22-25, 1961	dart	241	95
Jul. 11-20, 1961	dart	132	30
Oct. 1-15, 1961	dart	967	408
Nov. 2- 9, 1961	dart	756	257
Dec. 1-15, 1961	dart	600	217
Jul. 14-18, 1962	dart	421	191
Aug. 29-31, 1962	dart	176	68
Sep. 1-18, 1962	dart	196	65
Oct. 15-22, 1962	dart	191	79

TABLE 3. Returns by month of recapture for tagged yellowfin released in the Baja California area and recaptured in the same area (and in one case in the Gulf of California area also).

TABLA 3. Retornos por mes de recaptura de aleta amarilla marcados y liberados en el área de Baja California y recapturados en la misma área (y también en un caso en el área del Golfo de California).

Month Mes	1957		1958		1959				1960		1962		1963				Total				
	Original	Adjusted	Original	Adjusted	B. C. only		B. C. + G. of C.		Original	Adjusted	Original	Adjusted	Dart-flecha		Loop + dart Ojal + flecha		Double dart Doble flecha		Original	Adjusted	
					Original	Adjusted	Original	Adjusted					Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted			Original
Year 0																					
May			1	28.2																	
Jun.			72	118.1								1,479	1,503.5	545	1,303.7	29	74.7	135	281.9	709	1,664.6
Jul.			28	25.0								251	229.3	853	308.3	41	9.7	210	94.4	1,104	408.4
Aug.	2	9.9	104	33.5					1.0	7.0		334	312.7	161	47.7	8	1.5	28	10.2	197	59.0
Sep.	4	10.3	1	0.8	5	13.1	5	18.2	73.1	56.4		68	57.2	83	24.1	6	1.1	14	5.0	103	30.3
Oct.	5	9.5	5	1.5	13	8.1	13	11.2	15.2	18.8		10	11.9	42	15.4	2	0.5	6	2.7	50	18.5
Nov.	8.6	8.5	17	6.8	8	5.4	8	5.4	38.6	23.9		5	23.2	1	0.6					1	0.6
Dec.	27.4	26.1	8	7.7					3.1	10.7		6	15.8	1	2.7					1	2.8
Year 1																					
Jan.	6	18.2	8	23.0					9	25.7											
Feb.	10	19.7	2	6.2																	
Mar.			1	6.0	2	2.6	3	1.5													
Apr.	2	4.3			2	4.1	8	3.8	3	2.3											
May	5	5.3					5	5.5	1	0.8											
Jun.	43	17.2			4	2.4	5	2.9	1	0.2				10	3.6	1	0.2	1	0.4	12	4.4
Jul.	12	5.1	5	1.4	2	0.4	2	0.6	1	0.2		2	1.9	10	2.2	1	0.1	1	0.3	12	2.7
Aug.	14	5.7	4	0.9								1	0.8								
Sep.			1	0.5								1	0.8	4	1.6					4	1.6
Oct.			2	0.7																	
Nov.			2	0.8																	
Dec.																					
Year 2																					
Jan.																					
Feb.																					
Mar.			1	0.8																	
Apr.			1	1.2																	
May																					
Jun.												1	0.9								
Jul.																					
Aug.																					
Sep.																					
Oct.																					
Nov.	2	1.3																			
Total	141	141.1	263	263.1	36	36.1	49	49.1	146	146.0	2,158	2,158.0	1,710	1,709.9	88	87.8	395	394.9	2,193	2,192.9	

TABLE 4. Returns by month of recapture for tagged yellowfin released in the Gulf of Guayaquil area and recaptured in the same area.**TABLA 4.** Retornos por mes de recaptura de aleta amarilla marcados y liberados en el área del Golfo de Guayaquil y recapturados en la misma área.

Month Mes	Oct.-Dec. 1956		Oct.-Dec. 1958		Jul.-Sep. 1959		Jul.-Sep. 1960		Jun. 1961		Jul. 1961			
	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted		
Year 0														
Jun.									15	14.2				
Jul.							2	2.2	2	0.9	3	2.8		
Aug.					8	15.0	8	2.8	1	1.1	3	4.0		
Sep.					10	7.7	10	13.7	11	33.9	2	7.3		
Oct.	1	10.2	2	2.8	5	8.6	6	8.4	10	20.5	4	9.7		
Nov.	1	1.6	4	3.2	4	4.1			15	9.0	2	1.4		
Dec.	2	2.4	9	3.3	13	9.7			10	1.2	3	0.4		
Year 1														
Jan.	20	10.0	7	6.7	12	6.4	1	0.0	2	0.5				
Feb.	3	2.6	4	4.7	2	1.9			7	1.3				
Mar.			2	1.0	1	1.0			9	6.3	1	0.8		
Apr.			5	4.3	2	3.1			10	2.2	2	0.5		
May			3	4.6	2	1.4			1	0.3	6	2.3		
Jun.			2	7.6					2	3.6	2	0.4		
Jul.			1	1.3							1	0.2		
Aug.			1	0.5							1	0.2		
Sep.														
Oct.														
Nov.														
Dec.														
Year 2														
Jan.														
Feb.														
Mar.		1	1.2											
Apr.														
Total	28	28.0	40	40.0	59	58.9	27	27.1	95	95.0	30	30.0		
Month Mes	Oct. 1961		Nov. 1961		Dec. 1961		Jul. 1962		Aug. 1962		Sep. 1962		Oct. 1962	
	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted	Original	Adjusted
Year 0														
May														
Jun.														
Jul.							5	6.1						
Aug.							37	25.5						
Sep.							3	2.3			3	2.3		
Oct.	59	225.8					16	19.0	7	7.1	4	4.2	3	6.8
Nov.	82	67.7	46	78.0			34	25.0	3	1.9	8	5.2	16	10.4
Dec.	74	11.9	35	9.8	101	51.1	23	20.8	11	8.4	14	11.3	16	12.8
Year 1														
Jan.	20	6.6	7	4.0	6	5.2	47	59.8	18	19.4	13	14.7	29	32.6
Feb.	31	7.9	26	11.4	19	12.7	11	16.2	8	10.0	9	11.8	5	6.5
Mar.	68	65.4	67	111.4	43	109.3	6	5.7	5	4.1	5	4.3	5	4.2
Apr.	54	16.1	34	17.6	26	20.5	9	10.6	11	11.0	5	5.2	1	1.0
May	7	3.0	18	13.5	6	6.9			2	3.7	2	3.8	1	1.9
Jun.	3	0.7	5	2.1	5	3.3							1	0.9
Jul.	2	0.4	3	1.0	3	1.5							1	1.1
Aug.	3	0.7	5	1.9	4	2.3			1	1.2	1	1.2		
Sep.	2	0.5	3	1.3					1	0.7	1	0.8	1	0.8
Oct.	1	0.4	3	2.0	2	2.0			1	0.7				
Nov.														
Dec.			2	1.0										
Year 2														
Jan.	1	0.4	1	0.7	2	2.1								
Feb.	1	0.5	1	0.8										
Mar.														
Apr.			1	0.6										
Total	408	408.0	257	257.1	217	216.9	191	191.0	68	68.2	65	64.8	79	79.0

TABLE 5. Total logged fishing effort exerted in the Baja California area during August 1957 through September 1964.**TABLA 5.** Totales del esfuerzo registrado de pesca ejecutado en el área de Baja California durante agosto 1957 hasta septiembre 1964.

Month Mes	Purse seine Cerquero		Baitboat Clíper		Total		Month Mes	Purse seine Cerquero		Baitboat Clíper		Total	
	f_{PSPS}	f_{BBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$				f_{PSPS}	f_{BBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$		
1957							1961						
Aug.	25.9	649.3	272.7	298.6		Jan.	40.5	34.4	15.8	56.3			
Sep.	0.0	341.4	143.4	143.4		Feb.	29.2	8.0	3.6	32.8			
Oct.	0.0	379.6	167.0	167.0		Mar.	18.5	0.0	0.0	18.5			
Nov.	12.2	487.0	219.2	231.4		Apr.	165.5	9.7	4.4	169.9			
Dec.	5.0	433.6	203.8	208.8		May	168.1	11.0	4.3	172.4			
1958							Jun.	463.1	228.4	98.2	561.3		
Jan.	0.0	172.5	65.6	65.6		Jul.	531.1	142.8	67.1	578.2			
Feb.	63.4	84.7	37.3	100.7		Aug.	244.1	266.4	111.9	356.0			
Mar.	5.1	173.5	76.3	81.4		Sep.	413.1	169.5	66.1	479.2			
Apr.	8.0	165.2	84.3	92.3		Oct.	293.5	95.9	34.5	328.0			
May	9.1	363.1	177.9	187.0		Nov.	53.1	200.3	68.1	121.2			
Jun.	218.6	568.8	278.7	497.3		Dec.	27.1	34.5	9.3	36.4			
Jul.	85.2	904.4	379.8	465.0		1962							
Aug.	155.2	868.3	330.0	485.2		Jan.	42.2	28.6	9.7	51.9			
Sep.	5.1	552.8	143.7	148.8		Feb.	12.6	2.0	0.8	13.4			
Oct.	82.6	832.9	341.5	424.1		Mar.	28.3	1.6	0.7	29.0			
Nov.	25.9	590.9	283.6	309.5		Apr.	12.7	2.0	0.8	13.5			
Dec.	2.0	274.5	126.3	128.3		May	276.2	35.4	20.2	296.4			
1959							Jun.	637.6	117.8	70.7	708.3		
Jan.	2.6	92.0	40.5	43.1		Jul.	395.0	108.1	67.0	462.0			
Feb.	9.2	65.2	30.6	39.8		Aug.	378.4	122.9	72.5	450.9			
Mar.	6.2	29.6	14.5	20.7		Sep.	475.9	57.4	25.8	501.7			
Apr.	90.1	27.3	10.9	101.0		Oct.	305.7	99.2	47.6	353.5			
May	138.4	15.3	65.8	204.2		Nov.	57.3	74.4	33.5	90.8			
Jun.	0.0	58.9	24.7	24.7		Dec.	125.9	80.9	34.8	160.7			
Jul.	420.1	89.4	34.0	454.1		1963							
Aug.	388.3	460.8	179.7	568.0		Jan.	102.5	35.0	15.8	118.3			
Sep.	118.2	422.8	135.3	253.5		Feb.	33.5	3.5	1.7	35.2			
Oct.	236.9	409.1	143.2	380.1		Mar.	22.8	0.0	0.0	22.8			
Nov.	180.4	301.1	135.5	315.9		Apr.	15.6	0.0	0.0	15.6			
Dec.	10.9	215.0	90.3	101.2		May	58.4	43.9	25.9	84.3			
1960							Jun.	165.9	90.4	46.1	212.0		
Jan.	8.3	17.2	8.1	16.4		Jul.	390.9	95.3	56.2	447.1			
Feb.	0.0	1.8	0.8	0.8		Aug.	513.6	97.5	38.0	551.6			
Mar.	163.8	1.5	0.7	164.5		Sep.	508.3	126.9	53.3	561.6			
Apr.	100.6	4.7	2.4	103.0		Oct.	418.3	63.7	28.0	446.3			
May	11.7	4.9	2.6	14.3		Nov.	231.0	106.7	30.9	261.9			
Jun.	286.3	131.6	72.4	358.7		Dec.	41.3	45.7	18.3	59.6			
Jul.	830.7	289.5	127.4	958.1		1964							
Aug.	524.0	113.9	54.7	578.7		Jan.	15.6	1.1	0.5	16.1			
Sep.	159.0	154.6	71.1	230.1		Feb.	6.2	2.4	0.9	7.1			
Oct.	41.8	146.6	64.5	106.3		Mar.	1.2	0.8	0.3	1.5			
Nov.	75.5	279.2	136.8	212.3		Apr.	14.6	1.6	0.8	15.4			
Dec.	7.0	67.8	31.2	38.2		May	25.8	33.3	14.0	39.8			
						Jun.	359.0	208.9	89.8	448.8			
						Jul.	694.8	75.0	32.2	727.0			
						Aug.	338.4	1.0	0.3	338.7			
						Sep.	408.3	0.0	0.0	408.3			

TABLE 6. Total logged fishing effort exerted in the Baja California and Gulf of California areas during August 1959 through July 1960.

TABLA 6. Totales del esfuerzo registrado de pesca ejecutado en las áreas de Baja California y el Golfo de California durante agosto 1959 hasta julio 1960.

Month Mes	Purse seine Cerquero	Baitboat Cliper		Total
	f_{PSPS}	f_{BBBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$
1959				
Sep.	132.0	422.8	135.3	267.3
Oct.	246.9	436.4	152.7	399.6
Nov.	254.5	460.6	207.3	461.8
Dec.	23.9	257.7	108.2	132.1
1960				
Jan.	36.4	129.6	60.9	97.3
Feb.	74.2	107.8	48.5	122.7
Mar.	626.5	2.8	1.3	627.8
Apr.	649.5	14.3	7.2	656.7
May	273.0	18.5	10.0	283.0
Jun.	462.9	144.5	79.5	542.4
Jul.	854.0	256.0	112.6	966.6

TABLE 7. Total logged fishing effort by large purse seiners and baitboats plus estimated total fishing effort by large and small purse seiners and baitboats in the Gulf of Guayaquil area during October 1956 through October 1963.

TABLA 7. Totales del esfuerzo registrado de pesca de cerqueros y clipers de gran porte más totales del esfuerzo estimado de pesca de cerqueros y clipers pequeños en el área del Golfo de Guayaquil durante octubre 1956 hasta octubre 1963.

Month	Large						Small			Total			
	Catch			Effort			Catch/effort	Catch			Catch	Effort	
Mes	Purse seine	Baitboat	Total	Purse seine	Baitboat	Total		Purse seine	Baitboat	Total			
	Grandes						Pequeños			Total			
Mes	Captura			Esfuerzo			Captura/esfuerzo	Captura			Captura	Esfuerzo	
	Cerquero	Clíper	Total	Cerquero	Clíper	Total		Cerquero	Clíper	Total			
				f_{PSPS}	f_{BBBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$						
1956													
Oct.	0.00	917.54	917.54	0.0	287.4	138.0	138.0	6.649	8.48	0.00	8.48	926.02	139.3
Nov.	0.00	880.35	880.35	43.0	550.5	209.2	252.2	3.491	35.79	0.00	35.79	916.14	262.4
Dec.	0.00	240.08	240.08	9.0	428.8	124.4	133.4	1.800	212.64	0.00	212.64	452.72	251.5
1957													
Jan.	16.00	39.00	55.00	16.0	90.2	23.5	39.5	1.392	758.44	1.67	760.11	815.11	585.6
Feb.	7.34	0.00	7.34	25.5	6.0	3.0	28.5	0.258	80.96	0.00	80.96	88.30	342.2
Mar.	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	—	39.09	0.00	39.09	39.09	—
Apr.	0.00	0.00	0.00	0.0	1.0	0.5	0.5	0.000	7.81	1.05	8.86	8.86	—
May	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	—	68.48	1.53	70.01	70.01	—
Jun.	0.00	10.93	10.93	0.0	54.2	17.3	17.3	0.632	14.42	0.72	15.14	26.07	41.2
Jul.	0.00	309.88	309.88	0.0	133.6	52.1	52.1	5.948	32.80	0.34	33.14	343.02	57.7
Aug.	0.00	280.22	280.22	0.0	105.0	49.4	49.4	5.672	14.15	2.83	16.98	297.20	52.4
Sep.	0.00	431.51	431.51	0.0	73.1	41.7	41.7	10.348	16.81	0.00	16.81	448.32	43.3
Oct.	0.00	204.99	204.99	0.0	59.8	29.3	29.3	6.996	116.75	17.02	133.77	338.76	48.4
Nov.	0.00	1,252.62	1,252.62	19.1	389.6	175.3	194.4	6.444	79.63	0.37	80.00	1,332.62	206.8
Dec.	5.00	59.43	64.43	43.8	81.8	25.4	69.2	0.931	36.86	1.57	38.43	102.86	110.5
1958													
Jan.	76.25	20.50	96.75	64.7	34.6	9.7	74.4	1.300	33.92	16.70	50.62	147.37	113.4
Feb.	15.00	0.50	15.50	42.0	9.3	2.8	44.8	0.346	287.91	20.67	308.58	324.08	936.6
Mar.	0.00	1.00	1.00	3.0	14.4	4.6	7.6	0.132	716.75	0.69	717.44	718.44	5,442.7
Apr.	132.90	442.46	575.36	11.9	410.1	131.2	143.1	4.021	471.77	0.00	471.77	1,047.13	260.4
May	54.00	30.00	84.00	8.6	63.0	23.9	32.5	2.585	201.14	0.07	201.21	285.21	110.3
Jun.	0.00	254.70	254.70	0.0	123.0	41.8	41.8	6.093	278.39	0.37	278.76	533.46	87.6
Jul.	0.00	34.44	34.44	13.0	17.7	7.6	20.6	1.672	278.11	0.79	278.90	313.34	187.4
Aug.	175.00	1,622.28	1,797.28	18.4	179.4	95.1	113.5	15.835	257.60	11.14	268.74	2,066.02	130.5
Sep.	47.50	964.27	1,011.77	16.2	339.0	128.8	145.0	6.978	49.28	7.58	56.86	1,068.63	153.1
Oct.	0.00	1,751.84	1,751.84	0.0	790.1	323.9	323.9	5.409	51.91	0.00	51.91	1,803.75	333.5
Nov.	0.00	1,695.90	1,695.90	0.0	369.3	173.6	173.6	9.769	539.52	0.00	539.52	2,235.42	228.8
Dec.	0.00	890.87	890.87	0.0	448.0	183.7	183.7	4.850	720.10	1.99	722.09	1,612.96	332.6

TABLE 7. (Continued)

Month	Large						Small			Total			
	Catch			Effort			Catch/effort	Catch			Total		
	Purse seine	Baitboat	Total	Purse seine	Baitboat	Total		Purse seine	Baitboat	Total		Catch	Effort
Mes	Grandes						Pequeños			Total			
	Captura			Esfuerzo			Captura/esfuerzo	Captura			Total		
	Cerquero	Clíper	Total	Cerquero	Clíper	Total		Cerquero	Clíper	Total		Captura	Esfuerzo
				f_{PSPS}	f_{BBBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$						
1959													
Jan.	0.00	400.38	400.38	0.0	210.3	84.1	84.1	4.761	205.47	0.00	205.47	605.85	127.3
Feb.	0.00	27.51	27.51	0.0	51.0	9.7	9.7	2.836	262.73	5.36	268.09	295.60	104.2
Mar.	0.00	9.00	9.00	0.0	26.0	9.1	9.1	0.989	226.62	9.38	236.00	245.00	247.7
Apr.	99.00	16.37	115.37	19.5	22.7	5.0	24.5	4.709	496.93	4.41	501.34	616.71	131.0
May	0.00	52.80	52.80	6.5	30.9	10.8	17.3	3.052	181.53	4.77	186.30	239.10	78.3
Jun.	100.00	2.00	102.00	13.1	5.9	3.4	16.5	6.182	63.78	38.40	102.18	204.18	33.0
Jul.	44.00	531.22	575.22	23.0	70.4	42.2	65.2	8.822	241.63	38.52	280.15	855.37	97.0
Aug.	357.84	1,071.73	1,429.57	42.0	247.1	128.5	170.5	8.385	397.59	151.95	549.54	1,979.11	236.0
Sep.	320.00	798.64	1,118.64	57.0	396.7	162.6	219.6	5.094	374.36	149.22	523.58	1,642.22	322.4
Oct.	180.77	285.60	466.37	28.4	191.6	70.9	99.3	4.697	51.67	92.80	144.47	610.84	130.0
Nov.	0.00	559.50	559.50	18.2	306.7	125.7	143.9	3.888	243.36	44.60	287.96	847.46	218.0
Dec.	0.00	189.75	189.75	0.0	502.8	125.7	125.7	1.510	232.06	29.62	261.68	451.43	299.0
1960													
Jan.	38.95	122.26	161.21	11.2	386.7	135.3	146.5	1.100	297.73	0.23	297.96	459.17	417.4
Feb.	63.00	15.51	78.51	9.8	93.3	53.2	63.0	1.246	198.84	8.85	207.69	286.20	229.7
Mar.	0.00	0.00	0.00	4.0	0.0	0.0	4.0	0.000	61.12	0.00	61.12	61.12	—
Apr.	0.00	48.90	48.90	16.8	40.1	14.0	30.8	1.588	162.95	15.45	178.40	227.30	143.1
May	41.85	40.90	82.75	28.0	52.0	15.1	43.1	1.920	473.89	62.24	536.13	618.88	322.3
Jun.	18.84	119.60	138.44	33.8	44.9	19.8	53.6	2.583	86.33	27.32	113.65	252.09	97.6
Jul.	0.68	294.30	294.98	18.2	66.8	34.1	52.3	5.640	104.83	160.75	265.58	560.56	99.4
Aug.	100.00	88.20	188.20	7.0	65.6	23.6	30.6	6.150	392.80	184.22	577.02	765.22	124.4
Sep.	0.00	233.10	233.10	0.0	33.1	19.2	19.2	12.141	16.72	32.06	48.78	281.88	23.2
Oct.	0.00	37.60	37.60	0.0	40.9	13.1	13.1	2.870	9.32	9.19	18.51	56.11	19.6
Nov.	0.00	0.00	0.00	0.0	3.1	0.2	0.2	0.000	0.00	36.04	36.04	36.04	—
Dec.	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.85	74.50	75.35	75.35	—

TABLE 7. (Continued)

Month	Large						Small			Total			
	Catch			Effort			Catch/effort	Catch			Catch	Effort	
	Purse seine	Baitboat	Total	Purse seine	Baitboat	Total		Purse seine	Baitboat	Total			
Mes	Grandes						Pequeños			Total			
	Captura			Esfuerzo			Captura/esfuerzo	Captura			Captura	Esfuerzo	
	Cerquero	Clíper	Total	Cerquero	Clíper	Total		Cerquero	Clíper	Total			
				f_{PSPS}	f_{BBBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$						
1961													
Jan.	0.00	1.00	1.00	0.0	31.4	10.0	10.0	0.100	0.83	84.95	85.78	86.78	867.8
Feb.	0.00	0.00	0.00	0.0	2.4	0.4	0.4	0.000	9.46	13.82	23.28	23.28	—
Mar.	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	—	16.23	0.00	16.23	16.23	—
Apr.	65.00	14.20	79.20	9.4	32.2	6.4	15.8	5.013	319.63	3.27	322.90	402.10	80.2
May	65.00	1.00	66.00	62.7	4.8	0.9	63.6	1.038	35.83	29.78	65.61	131.61	126.8
Jun.	138.02	1,339.00	1,477.02	432.1	70.5	50.1	482.2	3.063	2.33	363.82	366.15	1,843.17	601.8
Jul.	67.50	145.60	213.10	232.5	64.0	26.9	259.4	0.822	0.05	0.00	0.05	213.15	259.3
Aug.	0.00	29.50	29.50	18.2	27.0	9.2	27.4	1.077	0.77	82.88	83.65	113.15	105.1
Sep.	0.00	240.90	240.90	9.5	38.4	21.9	31.4	7.672	0.31	50.52	50.83	291.73	38.0
Oct.	0.00	1,079.70	1,079.70	0.0	70.7	52.3	52.3	20.644	1.85	99.92	101.77	1,181.47	57.2
Nov.	1.00	876.30	877.30	104.5	111.3	67.9	172.4	5.089	82.22	29.46	111.68	988.98	194.3
Dec.	258.84	204.60	463.44	558.7	57.2	28.0	586.7	0.790	285.40	37.34	322.74	786.18	995.2
1962													
Jan.	71.00	2.50	73.50	67.9	7.8	3.1	71.0	1.035	409.96	18.64	428.60	502.10	485.1
Feb.	0.00	7.00	7.00	7.4	5.4	1.5	8.9	0.787	488.70	2.24	490.94	497.94	632.7
Mar.	1,425.03	0.00	1,425.03	86.4	11.0	0.8	87.2	16.342	1,263.82	36.24	1,300.06	2,725.09	166.8
Apr.	2,544.35	0.00	2,544.35	478.2	11.3	0.8	479.0	5.312	266.70	41.22	307.92	2,852.27	536.9
May	546.37	16.30	562.67	278.5	6.0	2.2	280.7	2.005	138.51	39.50	178.01	740.68	369.4
Jun.	837.26	205.40	1,042.66	431.7	38.0	20.1	451.8	2.308	142.74	307.38	450.12	1,492.78	646.8
Jul.	495.41	165.60	661.01	591.1	24.7	14.1	605.2	1.092	112.40	160.70	273.10	934.11	855.4
Aug.	717.25	408.00	1,125.25	608.8	43.1	27.2	636.0	1.769	34.46	129.71	164.17	1,289.42	728.9
Sep.	166.57	261.60	428.17	421.3	42.5	24.2	445.5	0.961	97.92	102.88	200.80	628.97	654.5
Oct.	294.68	560.70	855.38	342.1	50.1	34.1	376.2	2.274	83.41	22.08	105.49	960.87	422.5
Nov.	1,208.69	200.90	1,409.59	443.7	48.6	23.8	467.5	3.015	594.38	54.50	648.88	2,058.47	632.7
Dec.	1,670.05	7.80	1,677.85	335.9	20.8	5.2	341.1	4.919	1,037.37	21.24	1,058.61	2,736.46	556.3

YELLOWFIN MORTALITY RATES

TABLE 7. (Continued)

Month	Large						Catch/effort	Small			Total		
	Catch			Effort				Catch			Catch	Effort	
	Purse seine	Baitboat	Total	Purse seine	Baitboat	Total		Purse seine	Baitboat	Total			
Mes	Grandes						Captura/esfuerzo	Pequeños			Total		
	Captura			Esfuerzo				Captura			Captura	Esfuerzo	
	Cerquero	Cliper	Total	Cerquero	Cliper	Total		Cerquero	Cliper	Total			
				f_{PSPS}	f_{BBBB}	f_{BBPS}	$f_{(PS+BB)PS}$						
1963													
Jan.	2,052.90	0.00	2,052.90	261.5	0.0	0.0	261.5	7.850	994.76	55.27	1,050.03	3,102.93	395.3
Feb.	680.46	20.00	700.46	234.5	9.5	3.9	238.4	2.938	154.68	147.02	301.70	1,002.16	341.1
Mar.	331.00	0.00	331.00	171.3	0.0	0.0	171.3	1.932	623.17	59.33	682.50	1,013.50	524.6
Apr.	1,689.03	145.80	1,834.83	299.5	24.0	13.0	312.5	5.871	651.62	20.26	671.88	2,506.71	427.0
May	112.91	312.60	425.51	121.6	34.5	22.1	143.7	2.961	188.58	75.87	264.45	689.96	233.0
Jun.	19.00	91.10	110.10	389.8	6.5	4.7	394.5	0.279	0.00	29.78	29.78	139.88	501.4
Jul.	0.00	68.50	68.50	85.8	7.0	4.6	90.4	0.758	0.31	231.43	231.74	300.24	396.1
Aug.	51.50	304.90	356.40	255.3	11.0	9.7	265.0	1.345	18.09	113.30	131.39	487.79	362.7
Sep.	328.02	191.30	519.32	474.7	6.0	5.5	480.2	1.081	61.47	41.22	102.69	622.01	575.4
Oct.	942.08	265.10	1,207.18	528.0	16.5	12.4	540.4	2.234	140.56	43.46	184.02	1,391.20	622.7

TABLE 8. Results of test tagging experiments conducted during 1957-1965.**TABLA 8.** Resultados de las pruebas de marcación conducidas durante 1957-1965.

Year Año	Location Local	Tag type Tipo de marca	Tagged Marcados	Returned Retornados
1957	San Pedro?	yellow loop—ojal amarillo	14	12
1960	San Pedro	yellow loop	42	35
1960	San Diego	yellow loop	6	6
1961	San Pedro	yellow dart—flecha amarilla	32	31
1965	San Pedro	yellow dart	11	11
1965	San Diego	yellow dart	1	1
1965	Mayaguez	yellow dart	3	3
1965	Ponce	yellow dart	1	1
Total			110	100

TABLE 9. Estimates of the coefficients of total mortality plus tag loss, and the upper and lower 95-percent confidence limits, for tagged yellowfin tuna.**TABLA 9.** Estimaciones de los coeficientes de mortalidad total más pérdidas de marcas en los aleta amarilla marcados y los limites superiores e inferiores de los intervalos de confianza del 95 por ciento.

Area	Date of release Fecha de liberación	Released Liberados	Returned Retornados	Z_m'	Z_{mL}'	Z_{mU}'
Baja California	Aug.-Dec. 1957	985	141	0.101	0.062	0.140
"	May-Sep. 1958	3,582	263	0.286	0.250	0.323
"	Aug.-Oct. 1959	628	36	0.292	0.159	0.425
Baja California + Gulf of California	Aug.-Oct. 1959	628	49	0.254	0.146	0.362
Baja California	Aug.-Sep. 1960	392	146	0.300	0.237	0.363
"	Jun. 1962	4,622	2,158	0.953	0.910	0.995
"	Jun.-Jul. 1963	3,389	2,193	1.297	1.238	1.356
Gulf of Guayaquil	Oct.-Dec. 1956	290	28	0.339	0.203	0.475
"	Oct.-Dec. 1958	420	40	0.025	-0.076	0.125
"	Jul.-Sep. 1959	542	59	0.233	0.121	0.325
"	Jul.-Sep. 1960	293	27	0.241	0.033	0.448
"	Jun. 1961	241	95	0.153	0.092	0.213
"	Jul. 1961	132	30	0.267	0.113	0.340
"	Oct. 1961	967	408	0.499	0.449	0.549
"	Nov. 1961	756	257	0.272	0.234	0.310
"	Dec. 1961	600	217	0.301	0.253	0.349
"	Jul. 1962	421	191	-0.029	-0.080	0.021
"	Aug. 1962	176	68	0.171	0.098	0.243
"	Sep. 1962	196	65	0.122	0.051	0.192
"	Oct. 1962	191	79	0.252	0.172	0.332

TABLE 10. Data used for calculation of the regressions $Z_m' = X_m + \bar{f}_m q$.**TABLA 10.** Datos usados para el cálculo de las regresiones $Z_m' = X_m + \bar{f}_m q$.

Area	Date of release		\bar{f}_m		Z_m'	
	Fecha de liberación	Estimación	Months	Estimación	Months	Meses
Baja California	Aug.-Dec.	1957	126.4	Aug.-Dec.	57	-0.252
"	May-Sep.	1958	201.9	May-Dec.	58	0.401
"	Aug.-Oct.	1959	170.8	Aug.-Dec.	59	0.675
"	Aug.-Sep.	1960	109.1	Aug.-Dec.	60	0.104
"	Jun.	1962	347.8	Jun.-Dec.	62	0.976
"	Jun-Jul.	1963	342.6	Jun.-Dec.	63	1.402
Gulf of Guayaquil	Oct.-Dec.	1956	131.5	Oct. 56-Sep.	57	0.432
"	Oct.-Dec.	1958	159.2	Oct. 58-Sep.	59	0.063
"	Jul.-Sep.	1959	190.2	Jul. 59-Jun.	60	0.246
"	Jul.-Sep.	1960	151.7	Jul. 60-Jun.	61	0.372
"	Jun.	1961	330.3	Jun. 61-May	62	0.163
"	Jul.	1961	364.9	Jul. 61-Jun.	62	0.214
"	Oct.	1961	525.7	Oct. 61-Sep.	62	0.503
"	Nov.	1961	554.8	Nov. 61-Oct.	62	0.246
"	Dec.	1961	585.0	Dec. 61-Nov.	62	0.298
"	Jul.	1962	490.2	Jul. 62-Jun.	63	0.064
"	Aug.	1962	428.7	Aug. 62-Jul.	63	0.123
"	Sep.	1962	451.6	Sep. 62-Aug.	63	0.106
"	Oct.	1962	432.6	Oct. 62-Sep.	63	0.252

TABLE 11. Estimates of the coefficients of catchability for tagged yellowfin tuna.**TABLA 11.** Estimaciones de los coeficientes de capturabilidad para aleta amarilla marcados.

Area	Date of release	Z_m'	\bar{f}_m	F_m	$q \times 10^3$
Area	Fecha de liberación				
Baja California	Aug.-Dec. 1957	-0.252	126.4	-0.352	—
"	May-Sep. 1958	0.401	201.9	0.301	1.342
"	Aug.-Oct. 1959	0.675	170.8	0.575	3.030
"	Aug.-Sep. 1960	0.104	109.1	0.004	0.033
"	Jun. 1962	0.976	347.8	0.876	2.267
"	Jun.-Jul. 1963	1.402	342.6	1.302	3.420
Unweighted mean—Promedio desponderado					2.018
Gulf of Guayaquil	Oct.-Dec. 1956	0.432	131.5	0.332	2.525
"	Oct.-Dec. 1958	0.063	159.2	-0.037	—
"	Jul.-Sep. 1959	0.246	190.2	0.146	0.768
"	Jul.-Sep. 1960	0.372	151.7	0.272	1.793
"	Jun. 1961	0.163	330.3	0.063	0.191
"	Jul. 1961	0.214	364.9	0.114	0.312
"	Oct. 1961	0.503	525.7	0.403	0.767
"	Nov. 1961	0.246	554.8	0.146	0.263
"	Dec. 1961	0.298	585.0	0.198	0.338
"	Jul. 1962	0.064	490.2	-0.036	—
"	Aug. 1962	0.123	428.7	0.023	0.054
"	Sep. 1962	0.106	451.6	0.006	0.013
"	Oct. 1962	0.252	432.6	0.152	0.351
Unweighted mean					0.670

ESTIMACIONES DE LAS TASAS DE MORTALIDAD DEL ATUN ALETA AMARILLA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL DEDUCIDAS DE ALGUNOS EXPERIMENTOS DE MARCACION

EXTRACTO

Se seleccionaron para este estudio algunos datos de liberación y retorno de marcas en las áreas de Baja California y el Golfo de Guayaquil debido a que cantidades substanciales de retornos resultaron de estas liberaciones y porque los efectos de migración son pequeños en estas áreas. Los retornos de marcas por unidad de esfuerzo de pesca de varios experimentos en cada área fueron empleados para estimar los coeficientes de mortalidad total y desprendimiento. Se estimó que el coeficiente de mortalidad natural anual fue inferior a 2.0, lo que está de acuerdo con una estimación anterior de 0.8, pero no la mejora. Las estimaciones de los coeficientes promedios de capturabilidad son 2.02×10^{-3} en el área de Baja California y 0.67×10^{-3} en el área del Golfo de Guayaquil.

INTRODUCCION

Se ha dedicado considerable esfuerzo al tratar de estimar las tasas (es decir, la mortalidad por unidad de tiempo) de la mortalidad total, de pesca y por causas naturales de atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico oriental, y las tasas de desprendimiento de marcas de esta especie. Schaefer (1957), Fox (1970) y Pella y Tomlinson (1969) emplearon los modelos logísticos, exponenciales y de productividad general (los dos primeros siendo casos especiales de este último) para estimar los coeficientes de capturabilidad, q , que, cuando se multiplica por el esfuerzo de pesca, f , produce el coeficiente de mortalidad pesquera, F . Hennemuth (1961b) y Davidoff (1965) usaron algunos datos de la frecuencia de las longitudes para estimar el coeficiente de mortalidad total, Z ; Hennemuth usó f y la estimación de q de Schaefer (1957) para estimar F , y luego substrajo F de Z para obtener una estimación del coeficiente de mortalidad natural, M . Según algunos datos de marcación Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) estimaron las tasas de supervivencia, s , de peces marcados, y Fink (1965a) estimó Z , F , M y Q , el coeficiente de pérdida por estar marcados y por el desprendimiento de marcas. Chapman, Fink y Bennett (1965) emplearon algunos datos de un experimento en el que los peces habían sido marcados con una o dos marcas para estimar el coeficiente de desprendimiento, L , de las marcas. Se emplean en este estudio datos de marcación más recientes para estimar las tasas de mortalidad de los peces en dos áreas del Océano Pacífico oriental.

RECONOCIMIENTO

Los Sres. Harold B. Clemens y Robert R. Bell suministraron datos inéditos sobre las fechas de liberación de peces marcados durante tres cru-

ceros del California Department of Fish and Game. Los Dres. James Joseph y Jerome J. Pella y el Sr. Patrick K. Tomlinson ayudaron en algunos de los aspectos matemáticos del análisis y ofrecieron su crítica sobre el manuscrito.

MATERIALES Y METODOS

Los métodos de marcación de los peces y el uso de los datos de los retornos de marcas están descritos por Broadhead (1959), Blunt y Messersmith (1960), Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961), Fink (1965b) y Fink y Bayliff (1970). Shimada y Schaefer (1956) y Joseph y Calkins (1969) discuten los métodos de recolección y uso de las estadísticas de captura y esfuerzo.

Se hizo la mayoría de los cálculos mediante la computadora CDC 3600 en la Universidad de California en San Diego. Se emplearon los siguientes programas con este propósito:

coeficiente de mortalidad total y desprendimiento—Analysis of a Catch Curve Program (Paulik, 1964);

regression de los mínimos cuadrados—Weighted Linear Regression for Two Variables (Paulik y Gales, 1965);

solución de la ecuación de captura de Murphy—A Computer Program for the Generalized Murphy Catch Equation (Tomlinson, 1970).

DATOS EMPLEADOS

Liberación y retorno de marcas

Se decidió usar los datos de peces marcados liberados al oeste y sudoeste de la Península de Baja California y en el Golfo de Guayaquil y cerca a éste y los datos de retorno de peces de estas liberaciones recapturados en las mismas áreas (y también en un caso en el Golfo de California y cerca a éste, ya que una cantidad substancial de retornos de un experimento provino de recapturas obtenidas allí). Las áreas se presentan en la Figura 1. Fueron seleccionadas ya que grandes números de peces marcados fueron liberados en estas áreas durante varios años y resultaron grandes números de retornos, prácticamente todos en las áreas de liberación (Fink y Bayliff, 1970). Así que los retornos de marcas por unidad de esfuerzo de pesca en las dos áreas pueden emplearse como índices de las cantidades de peces marcados que permanecieron vivos sin error apreciable como resultado de la migración de peces marcados en las áreas bajo consideración.

Los datos de la liberación y retorno de marcas usados en este estudio se enumeran en las Tablas 1 a la 4. Los cruceros 58C1, 58C2 y 58C3 fueron

conducidos por el California Department of Fish and Game (Blunt y Messersmith, 1960), mientras que los otros fueron conducidos por la Comisión del Atún. Se consideraron todos los datos de las liberaciones del área de Baja California durante un año determinado que produjeron suficiente números de retornos para el análisis. Los datos de liberaciones en el Golfo de Guayaquil fueron considerados si se recibieron suficientes retornos de peces en estas liberaciones durante trimestres determinados en 1956-1960 y en meses determinados en 1961-1962. No se emplearon los retornos que resultaron de peces recapturados en áreas fuera de las áreas de liberación o en áreas desconocidas (con excepción de lo anotado anteriormente). Los retornos para los cuales no se conoció el año de recaptura tampoco fueron considerados, pero aquellos en los que no se conoció el mes, pero sí el año, fueron prorrateados entre los meses del año de recaptura de acuerdo a las porciones de recapturas conocidas realizadas durante cada mes de los años que se trata.

Estadísticas de pesca

Los datos estadísticos obtenidos rutinariamente por la Comisión del Atún incluyen las capturas registradas en toneladas cortas de atún aleta amarilla por áreas de 1 grado y 5 grados, por meses, trimestres y años, por tipo de arte (cerqueros y clípers) y por la clase de tamaño de los barcos y, el esfuerzo correspondiente en días de pesca, no standardizado y standardizado a días de la Clase 3 de barcos cerqueros (barcos de 101-200 toneladas cortas de capacidad) y a días de la Clase 4 de clípers (barcos de 201-300 toneladas cortas de capacidad) (Shimada y Schaefer, 1956; Joseph y Calkins, 1969). Se supone que todo el esfuerzo se dirige hacia el aleta amarilla (y también hacia el barrilete) excepto en unos pocos viajes en que otras especies que no fueron aleta amarilla o barrilete formaron más de un tercio del peso total de la captura.

Es necesario obtener estimaciones del esfuerzo de pesca en las áreas consabidas standardizadas a un tipo especial de arte. Broadhead (1962) concibió un método para convertir el esfuerzo de la Clase 3 de cerqueros al esfuerzo de la Clase 4 de clípers. Sin embargo, en este estudio se decidió convertir el esfuerzo de los clípers al esfuerzo de los cerqueros, ya que éstos han sido el tipo dominante de arte desde 1960, y continuará siéndolo durante el futuro previsible. La conversión fue realizada por el método empleado por Broadhead excepto que se invirtieron las variables con el fin de que el esfuerzo de los clípers pudiera convertirse al esfuerzo de los cerqueros en lugar de ser a la inversa. Se emplearon los 36 pares de los valores de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) usados por Broadhead y enumerados en su Tabla 6, pero se determinó la relación log-log de la CPUE de los cerqueros respecto a la CPUE de los clípers en vez de la relación log-log de la CPUE de los clípers respecto a la CPUE de los cerqueros. Esto dio como resultado la ecuación

$$\log Y = 0.4751175 + 0.7077775(\log X) \quad (1)$$

o

$$Y = 2.986X^{0.7077775} \quad (2)$$

donde

Y = CPUE de cerqueros en días de esfuerzo de la Clase 3 de cerqueros y

X = CPUE de clípers en días de esfuerzo de la Clase 4 de clípers.

Los datos se presentan en la Figura 2, con la curva de Broadhead como también la que se presenta aquí.

Si las varianzas de las dos relaciones fueran iguales y la ecuación log-log fuera la apropiada para usar las dos curvas coincidirían, y la diferencia entre las dos curvas es principalmente una reflexión de la insuficiencia de los datos para estimar la relación entre la CPUE de los dos tipos de arte, especialmente cuando las CPUE son altas. Desafortunadamente, sin embargo, no existen mejores datos, ya que el reacondicionamiento de la flota de clípers a cerqueros fue realizado casi completamente durante 1959 y 1960.

Se tabularon para el área de Baja California las capturas registradas de aleta amarilla logradas por clípers al norte de los 15°N y los datos correspondientes de esfuerzo (standardizados a la Clase 4 de clípers) por mes para los años de que se trata, y éstos últimos fueron divididos entre los primeros para obtener 12 valores de la CPUE para cada año. Se estimó el total del esfuerzo registrado por meses en días de la Clase 3 de cerqueros para el área de Baja California mediante

$$f_{ijk(PS+BB)PS} = f_{ijkPSPS} + \left(\frac{(C/f)_{jkBBBB}}{(C/f)_{..PS}} \right) f_{ijkBBBB} \quad (3)$$

donde

$f_{ijk(PS+BB)}$ = esfuerzo total registrado en el área i durante el mes j del año k por cerqueros y clípers en días de la Clase 3 de cerqueros,

$f_{ijkPSPS}$ = esfuerzo total registrado en el área i durante el mes j del año k por cerqueros en días de la Clase 3 de cerqueros,

$(C/f)_{jkBBBB}$ = CPUE al norte de los 15°N durante el mes j del año k por clípers en días de la Clase 4 de clípers,

$(C/f)_{..PS}$ = CPUE correspondiente a $(C/f)_{jkBBBB}$ en días de la Clase 3 de cerqueros, estimada según la Fórmula (1) o (2) y

$f_{ijkBBBB}$ = esfuerzo total registrado en el área i durante el mes j del año k por clípers en días de la Clase 4 de clípers.

El esfuerzo mensual registrado de cerqueros y clípers, y para ambas artes

combinadas, para el área de Baja California en agosto de 1957 a setiembre 1964 se presenta en la Tabla 5.

El esfuerzo total registrado mensualmente en días de la Clase 3 de cerqueros para las áreas combinadas de Baja California y el Golfo de California fue estimado por el mismo método. Se presentan en la Tabla 6 datos equivalentes a los de la Tabla 5 para las dos áreas combinadas desde setiembre 1959 a julio 1960.

Respecto al área del Golfo de Guayaquil las estadísticas se encuentran complicadas por el hecho de que había muchos cerqueros y clípers pequeños pescando en el área durante los años en los que se realizó la marcación, y no hay datos del esfuerzo de estos barcos. Sin embargo, se dispone de las estadísticas totales de captura de estos barcos (Tabla 7), y se conoce que estas capturas fueron prácticamente todas obtenidas en el área del Golfo de Guayaquil. Las capturas registradas de aleta amarilla de los clípers de gran porte al sur del ecuador y los datos correspondientes de esfuerzo (standardizados a días de la Clase 4 de clípers) fueron tabulados por mes para los años de referencia, y las primeras fueron divididas por los últimos para obtener durante cada año 12 valores de la CPUE. El total del esfuerzo registrado por meses en días de la Clase 3 de cerqueros para el área del Golfo de Guayaquil fue estimado mediante la Fórmula (3), pero en este caso $(C/f)_{jkBBBB}$ se refiere al área al sur del ecuador en vez de al norte de los 15°N . El total del esfuerzo registrado por meses por cerqueros y clípers de gran porte más el esfuerzo total mensual de cerqueros y clípers pequeños fue estimado mediante

$$f_{ijk(PS+BB+ps+bb)PS} = \frac{C_{ijkPS} + C_{ijkBB} + C_{ijkps} + C_{ijkbb}}{\frac{C_{ijkPS} + C_{ijkBB}}{f_{ijk(PS+BB)PS}}} \quad (4)$$

donde

$f_{ijk(PS+BB+ps+bb)PS}$ = total del esfuerzo registrado para cerqueros y clípers de gran porte más el esfuerzo total de cerqueros y clípers pequeños en días de la Clase 3 de cerqueros en el área i durante el mes j del año k ,

C_{ijkPS} y C_{ijkBB} = capturas registradas en el área i durante el mes j del año k por cerqueros y clípers de gran porte, respectivamente, y

C_{ijkps} y C_{ijkbb} = capturas en el área i durante el mes j del año k por cerqueros y clípers pequeños, respectivamente.

El total del esfuerzo registrado por meses por cerqueros y clípers de gran porte, más el esfuerzo total de todos los barcos combinados, todos en días de la Clase 3 de cerqueros, más los datos empleados para obtener estas estimaciones, se presentan en la Tabla 7 para octubre 1956 a octubre 1963.

REQUISITOS, SUPOSICIONES Y FUENTES DE ERROR

Mortalidad y desprendimiento

Se supone que cuando varios o todos los miembros de un grupo de peces son marcados una porción variable y desconocida de ellos muere debido a los efectos del marcado y a la manipulación o se les desprenden las marcas antes de que tengan algunos de ellos la oportunidad de ser recapturados (pérdida Tipo-1). El resto está sujeto a los siguientes tipos de pérdida exponencial: mortalidad de pesca, F ; mortalidad natural, M ; mortalidad causada por las marcas, G ; desprendimiento de marcas, L . G y L se definen como pérdidas del Tipo-2. Se supone que todas estas pérdidas excepto F sean constantes entre los años y en los años. F es el producto del coeficiente de capturabilidad, q , y el esfuerzo de pesca, f , ninguno de los cuales permanece necesariamente constante ya sea entre los años o en los años. Fink (1965a) y Joseph y Calkins (1969) definieron Q como $G + L$, X como $M + Q$ y Z' como $F + X$. En este informe los subscriptos m y a enseguida de los coeficientes se utilizan para designar los valores mensuales y anuales de éstos, respectivamente.

Accesibilidad

Se supone que la accesibilidad de los peces permanece constante entre los años y en los años, es decir, que no hay migración, ya sea permanente o temporal, de las áreas de estudio. Actualmente, los peces marcados y liberados en el área de Baja California durante junio-diciembre pueden aparecer cerca a las Islas Revillagigedo y cerca a la boca del Golfo de California durante el primer semestre del año siguiente antes de regresar aproximadamente en junio al área de Baja California (Fink y Bayliff, 1970). No hay mucha pesca en el área de Baja California durante enero-mayo, y los peces marcados que se encuentran ausentes del área durante este período no son capturados en cantidades apreciables en las otras áreas (con excepción de lo anotado anteriormente), así que el hecho de que algunos de los peces abandonan el área de Baja California parte del año no es muy importante. Fink y Bayliff (1970) indicaron que los peces marcados liberados en el Golfo de Guayaquil tienden a permanecer allí y que los peces marcados liberados en otras partes tienden a desplazarse allí, así que no se cree que la migración sea tampoco un problema serio en el área del Golfo de Guayaquil.

Retorno de marcas

No es necesario que las marcas de todos los peces marcados recapturados sean devueltas, pero es necesario que las porciones retornadas permanezcan constantes entre los períodos de tiempo con respecto a los peces capturados en cada área. (Si las porciones retornadas permanecen

constantes el efecto de pérdida de las que no son devueltas es el mismo que el del Tipo-1 de pérdida).

En cuatro años diferentes del período considerado la Comisión del Atún realizó "pruebas de marcación". Estas consistieron en colocar subrepticamente marcas en peces muertos en las fábricas enlatadoras inmediatamente después de haber sido desembarcados. Los resultados han sido sumariados en la Tabla 8. Una prueba de contingencia del Ji-cuadrado indica que los índices de retorno no se diferenciaron entre los años ($\chi^2 = 5.1952$, g. l. = 3, P = 0.10-0.20). Consecuentemente, no hay indicación de que las estimaciones de los índices de mortalidad puedan sesgarse debido a las diferentes tasas del retorno de marcas en diferentes años.

Los peces capturados en el área de Baja California se procesan principalmente en San Pedro y San Diego, California, pero aquellos obtenidos en el área del Golfo de Guayaquil son procesados también en Mayaguez y Ponce, Puerto Rico, Manta, Ecuador y Mancora, Perú. Los experimentos de marcación fueron deficientes ya que se realizaron en su mayor parte en San Pedro y no en el Ecuador o Perú. Es probable que las tasas de retorno de San Pedro y San Diego y de Mayaguez y Ponce hubieran sido las mismas, pero es muy posible que las tasas de retorno de Puerto Rico, Ecuador y/o Perú tengan tendencias ascendentes o descendentes las cuales no pueden descubrirse por los resultados de las pruebas de marcación. Además, aún si no existieran tendencias ascendentes y descendentes en las tasas de retorno de Puerto Rico, Ecuador o Perú, si las tasas se diferenciaron de las de San Pedro y San Diego y las porciones de los peces capturados por barcos que desembarcaron en diferentes localidades variaron de un mes a otro o de año a año los datos estarán sesgados. Es evidente según la Tabla 7 que la porción de captura obtenida por clippers pequeños (basados en el Ecuador) aumentó considerablemente desde 1956 a 1963. Se calcularon las razones de retornos de marcas en relación a las capturas registradas por los cerqueros y clippers de gran porte y del retorno de marcas en relación a las capturas totales de los cerqueros y clippers pequeños para el área del Golfo de Guayaquil desde 1956 a 1963. Las razones fueron superiores al promedio para los cerqueros de gran porte en todos los años excepto 1962, superiores al promedio para los cerqueros pequeños en todos los años, inferiores al promedio para los clippers de gran porte en todos los años menos en 1961 e inferiores al promedio para los clippers pequeños en todos los años. Las capturas de los barcos de gran porte fueron procesadas principalmente en California y Puerto Rico, mientras aquellas de los cerqueros pequeños fueron procesadas en Mancora y las de los clippers pequeños en Manta. Se cree que las diferencias en las tasas del retorno de marcas de peces capturados por diferentes tipos de arte son debidas por lo menos parcialmente a la distribución irregular de los peces marcados en el área del Golfo de Guayaquil, junto con diferentes distribuciones del esfuerzo de pesca por los diferentes tipos de arte. La calidad de los datos no hace factible continuar

el estudio de este asunto. La mayoría de las marcas retornadas fueron de peces recapturados durante el primer año después de su liberación, y las tendencias en las porciones de marcas retornadas en este corto lapso de tiempo probablemente no son muy pronunciadas.

Además, las pruebas de marcación son deficientes en cuanto a que los peces muertos no fueron marcados sino después de haber sido manipulados por los pescadores y desembarcadores, así que las pruebas proveen solo estimaciones de las porciones de marcas devueltas por los cortadores si los pescadores y desembarcadores no habían visto antes las marcas y las habían quitado. Se podría realizar una prueba ideal de marcación al marcar los peces justamente antes de ser capturados, pero claro está ésto no es posible. En pruebas más recientes de marcación se han colocado los peces muertos con marcas en las bodegas de los barcos, ya sea inmediatamente después de la captura en el mar por pescadores colaboradores o por el personal de la Comisión del Atún que está a bordo principalmente para marcar y liberar peces vivos, o en el puerto antes de descargar por el personal de la Comisión del Atún que se encuentra en las enlatadoras principalmente para medir pescado.

Estadísticas de la pesca

No se obtuvieron datos útiles de los cuadernos de bitácora respecto a todos los viajes de pesca de los cerqueros y clípers de gran porte, así que el esfuerzo de estos barcos ha sido subestimado. No es posible conocer la captura total y el esfuerzo para un área determinada debido a que los barcos de los cuales no se obtuvieron datos útiles de los cuadernos de bitácora pescaron por regla general en varias áreas, así que las capturas y el esfuerzo no pudieron asignarse a áreas, a pesar de que se conocieron, por lo menos, sus capturas totales. Se cree que la porción de las capturas y del esfuerzo de la que se obtuvo datos útiles de los cuadernos de bitácora sea aproximadamente el 90 por ciento para las áreas de Baja California y el Golfo de California. Se cree que los cuadernos de bitácora abarcaron casi el 100 por ciento en el área del Golfo de Guayaquil. Así que los datos de esfuerzo en las Tablas 5 y 6 representan cerca del 90 por ciento del esfuerzo total, mientras que los de la Tabla 7 representan virtualmente todo el esfuerzo.

Según se mencionó anteriormente, se supone que todo el esfuerzo de pesca de los cerqueros y clípers que pescan atún de dirige hacia el atún aleta amarilla excepto en unos pocos viajes en los que otras especies distintas al aleta amarilla o barrilete formaron más de un tercio del peso total de la captura. Actualmente, en algunas áreas en ciertas épocas el barrilete es mucho más abundante que el aleta amarilla y el esfuerzo de pesca puede dirigirse principalmente o completamente hacia el barrilete. Este a menudo es el caso en el área del Golfo de Guayaquil, especialmente en la parte septentrional, pero con menos frecuencia en el área de Baja California.

Desafortunadamente, no se ha ideado un método para separar el esfuerzo dirigido hacia el aleta amarilla del esfuerzo total (Bayliff y Orange, 1967), así que esto puede constituir una fuente de error en el análisis.

Se ha mencionado que existe error en la conversión de los datos de esfuerzo de los clipers a datos de esfuerzo de los cerqueros. Afortunadamente, los mayores datos sobre retorno de marcas son para experimentos iniciados durante 1961, 1962 y 1963, y los cerqueros fueron el tipo predominante de barco durante este período. Además existe, claro está, error en la standardización de los datos de esfuerzo de los cerqueros en barcos de la Clase 3 y de los datos de esfuerzo de los clipers en barcos de la Clase 4.

Las estimaciones del esfuerzo total son probablemente deficientes en el área del Golfo de Guayaquil en los meses para los que el esfuerzo de cerqueros y clipers de gran porte fue pequeño y las capturas de cerqueros y clipers pequeños fue grande. El ejemplo sobresaliente lo proveen los datos de marzo 1958, que dieron como resultado una estimación del esfuerzo total que probablemente es unas 10 veces el valor correcto. Sin embargo, no hubo otra estimación del esfuerzo total para un mes determinado superior a 1,000, que haga aparecer que dichas estimaciones tan deficientes del esfuerzo total no son comunes.

RESULTADOS

Coefficientes de la mortalidad total y desprendimiento

Chapman y Robson (1960) y Robson y Chapman (1961) dedujeron fórmulas para la estimación de supervivencia ($s = e^{-Z}$) de una población de peces según los datos de la composición de edad obtenidos de muestras de la captura lograda en un año individual. Paulik (1962) aplicó estos métodos al problema de la estimación del coeficiente de la mortalidad total y desprendimiento, Z' , de peces marcados de una sola liberación según los datos de retornos recibidos durante varios intervalos después de la liberación.

Es necesario en este método que el esfuerzo de pesca sea constante entre intervalos, o por lo menos que no exista una tendencia ascendente o descendente en el esfuerzo con tiempo. Este no fue el caso para los datos de esfuerzo usados en este estudio (Tablas 5, 6 y 7), así que los datos de retorno fueron ajustados para compensar por este hecho dividiendo el total de retornos entre los meses en proporción a los retornos por unidad de esfuerzo en esos meses. Esto se realizó mediante la fórmula

$$R_{ijk} = \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \times \frac{\sum_{j=1}^J r_{ijk}}{\sum_{j=1}^J \left(\frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \quad (5)$$

donde

R_{ijk} = número ajustado de los retornos de marcas en el área i durante el mes j de peces de la liberación k ,

r_{ijk} = número de los retornos de marcas en el área i durante el mes j de peces de la liberación k y

f_{ij} = esfuerzo de pesca en el área i durante el mes j .

Los datos de esfuerzo para el mes o meses durante los que los peces marcados fueron liberados se ajustaron en forma descendente mediante la Fórmula (80) de Joseph y Calkins (1969) para compensar por el hecho de que las marcas no estuvieron disponibles a la flota durante todo el mes o meses.

Los números ajustados de los retornos de marcas se presentan en las Tablas 3 y 4 y en las Figuras 3 y 4. Estos fueron usados para hacer las estimaciones de Z_m' , que se presentan en la Tabla 9 y en las Figuras 3 y 4. Los datos de los retornos de marcas sencillas y dobles de los experimentos de 1963 se combinan debido a que el gradiente de la línea de los datos de marcas sencillas no fue tan inclinado como aquellos de los datos de marcas dobles.

Las curvas de captura son bastante irregulares, y las pruebas de contingencia del Ji-cuadrado demostraron que la mayoría de ellas se diferenciaban significativamente de las curvas esperadas (deducidas según las estimaciones de Z_m'). Las razones para esto pueden ser una o más de las siguientes: (1) migración de los peces marcados de las áreas consabidas y posiblemente el regreso tardío de estos peces a esas áreas; (2) variación temporal en la porción del esfuerzo de pesca dirigido hacia el aleta amarilla; (3) variación temporal en la vulnerabilidad a la captura de los peces marcados; (4) efectos secundarios de (2) o (3) o cualquiera de los otros factores como variación temporal en M , G o L que causaría que la tasa total de pérdida no fuera constante; (5) el hecho de que los peces marcados y sin marcar no se mezclan completamente durante los períodos de recaptura de los primeros junto con una distribución desigual del esfuerzo de pesca con respecto a la distribución de los peces.

Conforme se explicó anteriormente, no se considera que la migración haya sido un problema serio ya sea para el área de Baja California o para el área del Golfo de California.

La variación temporal en la parte del esfuerzo de pesca dirigido hacia el aleta amarilla puede ser una causa importante en la irregularidad de las curvas de captura, especialmente para el área del Golfo de Guayaquil, ya que ésta es por mucho el área más importante productora de barrilete del Océano Pacífico oriental (Bayliff y Orange, 1967), y muchos cerqueros y cliques de gran porte que pescaron en esta área durante el período con-

siderado pescaron principalmente barrilete. Sin embargo, se hicieron tablas similares a las Tablas 3 y 4 de los retornos de barriletes marcados liberados en las mismas áreas y al mismo tiempo que los aleta amarilla, y en general los meses que produjeron altos retornos de aleta amarilla rindieron también altos retornos de barrilete y viceversa, mientras que podría esperarse lo contrario si los barcos dirigieran la mayor parte de su esfuerzo hacia el aleta amarilla en algunos meses y al barrilete en otros. Estos datos, por lo tanto, tienden a apoyar la suposición de que todo el esfuerzo de pesca se dirige hacia el aleta amarilla.

Se cree que la variación temporal en la vulnerabilidad a la captura de los peces marcados haya sido una causa importante de la irregularidad en las curvas de captura. Entre las causas posibles de esta variación se encuentran las diferencias en el comportamiento de los pescadores en relación a los peces de diferentes edades, diferencias en el comportamiento de los peces de distintas edades que afectan su vulnerabilidad a las artes y diferencias en el tiempo que afectan la eficiencia del arte y/o el comportamiento de los peces.

La parcial evitación por los pescadores de los peces de tallas inferiores a la legal evidentemente disminuye su vulnerabilidad a la pesquería. La talla mínima legal del aleta amarilla desembarcado en California es 7½ libras (unos 55 cm), y muchos de los peces marcados liberados en el área de Baja California, especialmente en los cruceros fletados de 1958 y 1962, fueron de tallas inferiores a la legal (Fink y Bayliff, 1970; Apéndice 1). Esto puede reducir los gradientes negativos de las curvas de captura, o aún convertirlos en positivos, para una parte o todos los primeros meses después de que se iniciaron los experimentos. Para eliminar la posibilidad de tal sesgo se eliminaron de los datos de 1958 y 1962 del área de Baja California, los retornos de peces inferiores a 55 cm de longitud, y se calcularon los retornos por unidad de esfuerzo para el resto de los datos. Estos datos de retorno por unidad de esfuerzo se presentan como puntos en las Figuras 3b y 3e. La forma de las curvas de captura no cambió mucho, lo que indica en realidad que aunque muchos de los peces marcados eran de talla ilegal cuando fueron liberados ésto no fue una causa importante de la irregularidad de las curvas de captura para el área de Baja California.

Puede verse en la Figura 4 que existían máximos en las curvas de captura para el área del Golfo de Guayaquil en marzo de 1962 correspondientes a los experimentos de octubre, noviembre y diciembre de 1961 y en enero 1963 para los experimentos de julio, agosto, setiembre y octubre de 1962. Las capturas por unidad de esfuerzo de peces sin marcar fueron también altas durante esos meses (Tabla 7), y se cree que ésto fue causado porque los peces se volvieron más vulnerables a la captura en esos tiempos. No es probable que éstos máximos en las curvas de captura hubieran sido causados por peces que no habían sido totalmente reclutados en la pesquería

hasta esa época. Primero, no existen límites en la talla mínima legal en Puerto Rico, Ecuador y Perú, en donde se desembarca la mayor parte de los peces obtenidos en el área del Golfo de Guayaquil; segundo, las tallas de los peces marcados a tiempo de ser liberados (Fink y Bayliff, 1970: Apéndice 1) fueron aproximadamente las mismas que las de los peces capturados en esa área (Hennemuth, 1961a; Davidoff, 1963); y tercero, los peces fueron liberados de 3 a 6 meses antes que se alcanzaran los máximos, y los que eran de tamaño ilegal por la ley de California debían haber alcanzado una talla capturable unos 2 o 3 meses después de liberados.

No se tiene conocimiento acerca de las diferencias temporales en el comportamiento de los peces de diferentes edades dentro de la distribución de edad considerada que pueda afectar su vulnerabilidad al arte.

Las diferencias en el tiempo pueden ciertamente causar diferencias en la eficiencia del arte, y cuando capturas de ambas aleta amarilla y barrilete son altas durante el mismo mes o viceversa es probable que el tiempo inusualmente bueno o malo sea principalmente responsable. Sin embargo, desafortunadamente, no es posible corregir el esfuerzo de pesca por las variaciones en la eficiencia debidas al tiempo, excepto que cuando el tiempo es demasiado malo para buscar peces en ciertos días estos no se cuentan como días de esfuerzo de pesca. No se conoce cómo afecta el tiempo el comportamiento de los peces.

No se conoce acerca de la variación temporal de las tasas de mortalidad natural del aleta amarilla durante las edades consideradas, ni tampoco acerca de la variación temporal en la mortalidad por llevar marcas o por el desprendimiento de éstas.

No se tiene conocimiento alguno del grado en el que los cardúmenes de aleta amarilla mantienen su integridad, más allá del hecho de que ocasionalmente individuos de grupos de peces marcados liberados al mismo tiempo en las mismas localidades son recapturados algunas veces en regiones ampliamente diseminadas poco tiempo después de su liberación. Sin embargo, esto no significa que algunos de los peces no permanezcan juntos durante grandes períodos de tiempo.

Coefficientes de mortalidad distintos a los de la mortalidad de pesca

Método de Beverton y Holt

Beverton y Holt (1956) indicaron que cuando el esfuerzo de pesca de diferentes años en los que se tuvieron estimaciones de Z varía considerablemente la relación lineal $Z = M + qf$ puede ajustarse mediante el método de los mínimos cuadrados para obtener estimaciones de las constantes M y q . Respecto a estos datos la relación lineal es

$$Z'_m = X_m + q\bar{f}_m \quad (6)$$

pero el método es el mismo.

Los datos de esfuerzo en cada experimento para el área de Baja California fueron calculados al sumar los datos de esfuerzo del primer mes durante el cual los peces marcados fueron liberados hasta el final de ese año (ajustando los datos de esfuerzo en forma descendente para el mes o meses durante los cuales tuvo lugar la marcación, según se describió anteriormente) y dividiendo esta suma por el número de meses incluido para obtener \bar{f}_m . Se empleó el mismo método para el área del Golfo de Guayaquil con excepción de que fueron usados los datos correspondientes al primer mes durante el cual se liberaron peces marcados más los 11 meses siguientes para calcular el esfuerzo. Se emplearon diferentes técnicas respecto a las dos áreas porque en el área del Golfo de California la pesca es muy intensa desde aproximadamente mayo o junio hasta diciembre y muy ligera desde enero hasta abril o mayo, y durante este último período hubo pocos retornos de marcas de peces recapturados, mientras que en el área del Golfo de Guayaquil el esfuerzo de pesca es más constante durante el año y la media del tiempo en libertad de los peces marcados es superior (Fink y Bayliff, 1970). Estas técnicas para calcular el esfuerzo son arbitrarias, claro está, pero al menos son consistentes en las áreas. Las estimaciones de Z_m' se hicieron según los datos ajustados de retorno para solo los períodos consabidos, así que en la mayoría de los casos se diferencian algo de las estimaciones de la Tabla 9. Para calcular las regresiones se ponderaron los datos de cada experimento por el número de marcas retornadas durante los períodos de los que se trata. Las estimaciones de \bar{f}_m y Z_m' de cada experimento se indican en la Tabla 10, y las líneas de regresión y sus límites de confianza del 95 por ciento se presentan en las Figuras 5 y 6. Ninguna de las líneas tiene un gradiente significativamente diferente a cero, así que es aparente que las estimaciones obtenidas mediante este método son inservibles.

Método de Murphy-Tomlinson

Muchas de las estimaciones de Z_m' en la Tabla 9 son inferiores a 0.25, por lo tanto parece que X_m no debe ser superior a 0.25. El programa de computadora de Tomlinson (1970) preparado para usar con el método de Murphy (1965) fue empleado para tratar de estimar X_m . La entrada de este programa es un vector del retorno no ajustado de marcas correspondiente a los meses (o combinación de meses si habían dos o más meses sucesivos sin retornos) anteriores e incluyendo el último mes para el que hubo por lo menos un retorno, un valor de ensayo de X_m y un valor de ensayo de F_m correspondiente al último mes para el que hubo por lo menos un retorno. La información de salida incluye estimaciones de F_m para cada mes y de la población de peces marcados al principio de cada mes.

El empleo de los valores de ensayo de F_m que son muy bajos o muy altos pueden producir probablemente estimaciones de q ($= F_m/\bar{f}_m$) para los otros

meses que disminuyeron o aumentaron precipitadamente, mientras el empleo de los valores de ensayo de X_m que son demasiado bajos o demasiado altos producen probablemente estimaciones de la población inicial (el número de peces marcados que permanece vivo después de que han tenido lugar las pérdidas del Tipo-1) que son muy bajas o muy altas. Es probable que q aumente al principio con el tiempo cuando los peces son pequeños (Hennemuth, 1961b), y tal vez más tarde disminuye con el tiempo cuando los peces son muy grandes, pero se opina que no debe cambiar precipitadamente durante la porción del promedio de vida de los peces incluidos en este estudio. La estimación de la población inicial debe ser algo inferior al número de peces liberados debido a la pérdida del Tipo-1. Si es más alto que el número de peces liberados se opina que el valor de ensayo de X_m es demasiado alto, pero como el grado de pérdida del Tipo-1 no se conoce y probablemente varíe considerablemente entre los experimentos, no es posible determinar según las estimaciones de la población inicial cuando son demasiado bajos los valores de ensayo de X_m .

En los experimentos del área de Baja California de 1957-1960 y en los experimentos del área del Golfo de Guayaquil se emplearon los valores de ensayo 0.05, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20 y 0.25 de X_m y los valores de ensayo 0.05 hasta 0.40 a intervalos de 0.05 de F_m . Se substituyeron los valores de ensayo 0.20 hasta 1.20 a intervalos de 0.10 de F_m para los experimentos del área de Baja California en 1962 y 1963.

El caso de las estimaciones de q que cambian precipitadamente tuvo poco uso o ninguno en decidir cuál de los valores de ensayo de F_m eran estimaciones pobres, ya que algunas veces fue difícil decidir cuáles cambiaban precipitadamente y porqué las estimaciones que cambiaban precipitadamente tendían a aparecer con todos los valores de ensayo en algunos pocos experimentos y con ninguno para la mayoría de ellos. Además, en estos experimentos todas las estimaciones de q que cambiaban precipitadamente aumentaban con todos los valores de ensayo de la estimación final F_m , cuando se esperaba que disminuyeran con valores bajos de ensayo y aumentarían con altos valores de ensayo.

Sin embargo, fue conveniente el incidente de estimaciones irrealizablemente altas de la población inicial. En las Figuras 7 y 8 se presentan para cada experimento los casos de estos valores irrealizablemente altos. Se observa que estas estimaciones irrealizablemente altas ocurren más frecuentemente cuando $X_m = 0.20$ y 0.25 , así que X_m es probablemente inferior a 0.20 ($X_a < 2.4$). Bayliff y Moberand (datos inéditos) han indicado que para las marcas de dardo (Fink, 1965b) L_a es aproximadamente 0.3, así que $M_a + G_a$ es probablemente inferior a 2.1 y M_a inferior a 2.0. Hennemuth (1961b) estimó que M_a es 0.77, con límites de confianza del 95 por ciento de 0.64 y 0.90. Esta estimación no está en desacuerdo con la de Hennemuth, pero desafortunadamente es tan cruda que su utilidad es limitada.

Coefficientes de capturabilidad

Si M_a es 0.8 y L_a es 0.3, y se le ha asignado arbitrariamente a G_a un valor de 0.1, entonces X_a es 1.2 y X_m 0.1. De cada una de las estimaciones de Z_m' en la Tabla 10 se substrajo esta estimación para obtener estimaciones de F_m . Estas fueron divididas por los valores medios mensuales de f_m en la misma tabla para obtener estimaciones de q . Sin embargo, los datos de esfuerzo para el área de Baja California están completos únicamente en un 90 por ciento, como se explicó anteriormente, así que las estimaciones de q para esta área fueron ajustadas al multiplicarlas por 0.9. Los datos se presentan en la Tabla 11.

Las estimaciones de 1962-1963 para el área de Baja California son superiores a las de 1958-1960 en la misma área. (La estimación de 3.030×10^{-3} en 1959 es probablemente demasiado alta por mucho, ya que la estimación de Z_m' de todos los datos de retorno (Tabla 9) es muy inferior a la estimación de Z_m' de aquellos datos de solo agosto-diciembre (Tabla 10)). Según esto parece que durante 1962 y 1963 el poder de pesca de los cerqueros en relación al de los clippers fue superior a lo que indicaron los datos de Broadhead (1962). Es probable que este fuera el caso, ya que los datos de Broadhead fueron obtenidos durante 1959 y 1960 cuando la mayor parte de los pescadores habían tenido relativamente poca experiencia en la pesca de atunes con redes de cerco, por lo tanto se esperaba que el poder de pesca de los cerqueros fuera superior en 1962 y 1963 que durante 1959-1960. Naturalmente, aún si se eliminaran tales errores no se esperaba que q fuera constante a menos que la vulnerabilidad de los peces a la captura fuera constante.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

Los datos de la liberación y retorno de marcas para las áreas de Baja California y el Golfo de Guayaquil fueron seleccionadas para este estudio ya que hubo un número substancial de retornos de estas liberaciones y porque los efectos de migración son pequeños en estas áreas. El esfuerzo de pesca no es constante con el tiempo ya sea en una u otra área, así que para estimar Z' es necesario usar los datos mensuales de los retornos por unidad de esfuerzo, en lugar de los retornos por mes. Fue necesario manipular considerablemente los datos para obtener las estimaciones del esfuerzo total en cada área en unidades de la Clase-3 de cerqueros.

Los diagramas en papel semilogarítmico de los retornos de marcas por unidad de esfuerzo graficados contra el tiempo son muy irregulares; aparentemente esto es causado principalmente por la variación temporal en la vulnerabilidad de los peces a la captura y a que los peces marcados y sin marcar no se mezclaron completamente durante los períodos de recaptura de los primeros. Como éste es el caso, no es posible hacer buenas estimaciones de las tasas de mortalidad total, por la pesca y natural. Sin embargo,

se opina que X_a es inferior a 2.4, y se tiene una estimación bastante buena de 0.3 para L_a . Si se usa una estimación arbitraria de 0.1 para G_a , M_a es inferior a 2.0, lo que no está en desacuerdo con la estimación de Hennemuth (1961b) de 0.8.

Usando la estimación de Hennemuth para M_a , X_a es 1.2 y X_m es 0.1. La substracción de X_m de Z_m' para los varios experimentos produce estimaciones de F_m , y según éstas y las estimaciones correspondientes de \bar{f}_m pueden estimarse los valores de q . Los promedios no ponderados de estos valores son 2.02×10^{-3} para el área de Baja California y 0.67×10^{-3} para el área del Golfo de Guayaquil.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Bayliff, W. H., and C. J. Orange. 1967. Observations on the purse-seine fishery for tropical tunas in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Report, 4: i + 79 p.
- Beverton, R. J. H., and S. J. Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality in fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. Cons. Perm. Inter. Explor. Mer, Rapp. Proc. Verb., **140** (1): 67-83.
- Blunt, C. E., Jr., and J. D. Messersmith. 1960. Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959. Calif. Fish Game, **46** (3): 301-369.
- Broadhead, G. C. 1959. Techniques used in the tagging of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean during 1955-1957. Gulf Carib. Fish. Inst., Proc., 11: 91-97.
- . 1962. Recent changes in the efficiency of vessels fishing for yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **6** (7): 281-332.
- Chapman, D. G., B. D. Fink, and E. B. Bennett. 1965. A method for estimating the rate of shedding of tags from yellowfin tuna (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **10** (5): 333-352.
- Chapman, D. G., and D. S. Robson. 1960. The analysis of a catch curve. Biometrics, **16** (3): 354-368.
- Davidoff, E. B. 1963. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1961 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **8** (4): 199-251.
- . 1965. Estimation of year class abundance and mortality of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **10** (6): 353-393.
- Fink, B. D. 1965a. Estimations, from tagging experiments, of mortality rates and other parameters respecting yellowfin and skipjack tuna (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **10** (1): 1-82.
- . 1965b. A technique, and the equipment used, for tagging tunas caught by the pole and line method (summary in Spanish). Cons. Perm. Inter. Explor. Mer., Jour., **29** (3): 335-339.
- Fink, B. D., and W. H. Bayliff. 1970. Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **15** (1): 1-227.

- Fox, W. W., Jr. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, **99** (1): 80-88.
- Hennemuth, R. C. 1961a. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the years 1954-1958 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **5** (1): 1-112.
- _____. 1961b. Year class abundance, mortality and yield-per-recruit of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean, 1954-1959 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **6** (1): 1-51.
- Joseph, J., and Calkins, T. P. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **13** (1): 1-273.
- Murphy, G. I. 1965. A solution of the catch equation. *Fish. Res. Bd. Canada, Jour.*, **22** (1): 191-202.
- Paulik, G. J. 1962. Use of the Chapman-Robson survival estimate for single- and multi-release tagging experiments. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, **91** (1): 95-98.
- _____. 1964. Analysis of a catch curve program. Fisheries Research Institute, University of Washington, unpublished: 5 p.
- Paulik, G. J., and L. E. Gales. 1965. Weighted linear regression for two variables, IBM 709, Fortran II. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, **94** (2): 196.
- Pella, J. J., and P. K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **13** (3): 419-496.
- Robson, D. S., and D. G. Chapman. 1961. Catch curves and mortality rates. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, **90** (2): 181-189.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **2** (6): 245-285.
- Schaefer, M. B., B. M. Chatwin, and G. C. Broadhead. 1961. Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **5** (5): 341-455.
- Shimada, B. M., and M. B. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **1** (7): 347-469.
- Tomlinson, P. K. 1970. A generalization of the Murphy catch equation. *Fish. Res. Bd. Canada, Jour.*, **27** (4): 821-825.