

**INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION  
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL**

Bulletin — Boletín

Vol. 10, No. 1

**ESTIMATIONS, FROM TAGGING EXPERIMENTS, OF  
MORTALITY RATES AND OTHER PARAMETERS  
RESPECTING YELLOWFIN AND SKIPJACK TUNA**

**ESTIMACION DE LAS TASAS DE MORTALIDAD Y OTROS  
PARAMETROS DEL ATUN ALETA AMARILLA Y DEL BARRILETE  
MEDIANTE EXPERIMENTOS DE MARCACION**

by—por

**Bernard D. Fink**

La Jolla, California

1965

## CONTENTS — INDICE

### ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	3
ACKNOWLEDGEMENTS.....	4
METHODS AND PROCEDURES.....	4
Some theoretical considerations and general concepts used for estimating mortality rates.....	5
The Gulland technique for estimating the fishing mortality rate ( $F$ ).....	7
Estimating the total mortality rate of untagged fish ( $Z$ ) and tagged fish ( $Z'$ ).....	8
Estimating $Q$ , a mortality coefficient due to tag shedding and other causes.....	8
Estimating $K$ , the initial tagging survival.....	9
FACTORS RELATIVE TO THE ASSESSMENTS OF MORTALITY.....	11
Estimation of the number of tagged tunas recaptured.....	11
Accuracy of tag recapture data as reported.....	12
Size of the sea areas used in the determinations of effective fishing effort.....	13
Fishing effort in selected areas.....	14
The effect of fish size regulation on mortality estimates.....	16
ASSUMPTIONS MADE FOR THESE ANALYSES.....	17
RESULTS AND DISCUSSION.....	18
Mortality rates for yellowfin and skipjack tuna.....	18
Discussion of analyses by species, areas and years.....	19
SUMMARY AND CONCLUSIONS.....	24
FIGURES — FIGURAS.....	26
TABLES — TABLAS.....	34

### VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
INTRODUCCION.....	50
RECONOCIMIENTO.....	51
METODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	51
Algunas consideraciones teóricas y conceptos generales usados para la estimación de las tasas de mortalidad.....	52
Técnica de Gulland para estimar la tasa de mortalidad por la pesca ( $F$ ).....	54
Estimación de la tasa de mortalidad total de los peces no marcados ( $Z$ ) y de los peces marcados ( $Z'$ ).....	55
Estimación de $Q$ , un coeficiente de mortalidad debido al desprendimiento de las marcas y a otras causas.....	56
Estimación de $K$ , la supervivencia inicial de la marcación.....	57
FACTORES RELATIVOS A LA DETERMINACION DE LA MORTALIDAD.....	59
Estimación del número de atunes marcados, recapturados.....	60
Exactitud de los datos sobre recobros de marcas según han sido informados.....	61
Tamaño usado en la determinación del esfuerzo eficaz de pesca, de las áreas del mar.....	62
Esfuerzo de pesca en áreas seleccionadas.....	63
Efecto de la reglamentación del tamaño de los peces en las estimaciones de la mortalidad.....	65
SUPOSICIONES HECHAS PARA ESTOS ANALISIS.....	66
RESULTADOS Y DISCUSION.....	68
Tasas de mortalidad de los atunes aleta amarilla y barrilete.....	68
Discusión de los análisis por especies, áreas y años.....	69
SUMARIO Y CONCLUSIONES.....	74
LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA.....	77
APPENDIX A Glossary of symbols used.....	81
APENDICE A Glosario de los simbolos usados.....	82

**ESTIMATIONS, FROM TAGGING EXPERIMENTS, OF MORTALITY  
RATES AND OTHER PARAMETERS RESPECTING  
YELLOWFIN AND SKIPJACK TUNA**

by

**Bernard D. Fink**

**INTRODUCTION**

One of the principal duties of the Inter-American Tropical Tuna Commission, since it was created in 1950 by a Convention between the Republic of Costa Rica and the United States of America, is to establish through scientific research the average maximum sustainable yield of yellowfin tuna *Thunnus albacares* (Bonaterre), skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) and other fish species covered by the Convention. Schaefer (1957), through an examination of the relationships between fishing intensity, apparent abundance and resultant yield, was able to estimate the maximum sustainable yield of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. No similar relationship has yet been found for skipjack. On the basis of the model developed by Schaefer, the Commission has noted that overfishing has taken place and recommended, in 1962, that regulation of the yellowfin tuna catch be made by means of a catch quota. Effective implementation of regulations would enable the stock to restore itself to that level where the sustainable yield is again at its maximum level.

Hennemuth (1961b) pointed out that more explicit models than that formulated by Schaefer (1957) were not only desirable but necessary (see Schaefer and Beverton, 1963). Broadhead and Barrett (1964), for example, have shown how certain changes in apparent abundance are due to factors independent of the fishery. The mortality coefficients, requisite to any model describing the dynamics of the fishery, have been shown to vary from time to time and from area to area (Hennemuth, 1961b; Davidoff, *unpublished*); but specific estimates for particular years and areas have been, for the most part, unreliable (E. B. Davidoff, personal communication).

Theoretically, one of the most effective methods for measuring the mortality rate of a particular animal population is through tagging and subsequent recovery of a randomly distributed portion of that population. For marine fishes, this technique for determining mortality rates has been in practical use for at least 35 years (Thompson and Herrington, 1930) although tagging experiments *per se* are much older (Rounsefell and Kask, 1945; Ricker, 1958). Any measurements of the rates of change of natural populations made from tagging data depend on certain assumptions (often unfulfilled) and there are frequently so many practical difficulties that

serious questions must be asked of the reliability of the results (DeLury, 1954; Ricker, 1958; Beverton, 1963). However, some of these problems, common to many fisheries, have been studied in detail and adequate solutions developed (Beverton and Holt, 1957). For certain other problems it may be assumed that the errors made are random.

In this paper, a method of analysis described by Gulland (1963) has been used to estimate the fishing mortality rates of tagged yellowfin and skipjack tuna for specific areas and years. Fishing mortality rates obtained for tagged tunas will also represent those for the entire population from which the tagged fishes were drawn, provided the assumptions used and corrections made for these analyses are valid. Total mortality rates of tagged fishes have also been computed. These are not assumed to be directly equivalent to the total mortality rates of the untagged populations, since tagged fishes are subject to additional types of attrition. These additional sources of mortality are also examined in this study.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

The data utilized in this paper emanate from many tagging cruises. Experienced and cooperative skippers and fishermen helped to make these cruises successful. Several man-years of sea-duty by Commission scientists and scientific assistants were also involved. For the recovery of tagged tunas the Commission has necessarily depended on many fishermen, vessel unloaders and cannery workers. The cooperation of all of these is gratefully acknowledged.

Many people helped in the preparation of this paper. Javier Barandiarán tabulated many of the data and Patrick Boylan checked many of the computations. Gordon C. Broadhead and Dr. Milner B. Schaefer did much to clarify the author's thinking, especially in the early stages of the research. Izadore Barrett, Edward B. Bennett and Bruce M. Chatwin read the manuscript critically and offered many valuable suggestions.

#### **METHODS AND PROCEDURES**

The data used in this paper resulted from tagging cruises to the local banks off Baja California during 1957 to 1960 and from others to the area off northern Peru during 1955 to 1960 (Figure 1). Some details of these cruises are to be found in Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961). For the types of analysis presented in this paper the data are, for the most part, sufficient only for yellowfin tuna. This is due primarily to the very limited numbers of recoveries made from tagged skipjack. It has, however, been possible to compute mortality estimates for skipjack tagged on the local banks during 1957 and for those tagged off northern Peru during the period 1955 to 1960 combined.



A glossary of symbols used in this paper is given in Appendix A.

**Some theoretical considerations and general concepts used for estimating mortality rates**

The instantaneous fractional rate of change of a given number of fish  $N_t$ , inhabiting a particular portion of the sea at time  $t$ , is the sum of the instantaneous fishing mortality rate  $F$  (death due to capture), and the instantaneous rate of natural mortality  $M$  (death from predation, disease, etc.); this equivalence is expressed by the differential equation

$$\frac{1}{N_t} \frac{dN_t}{dt} = -F - M \dots\dots\dots(1)$$

It follows that the number of fish surviving at any time  $t$  is

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}, \dots\dots\dots(2)$$

where  $N_0$  is the number of fish present at  $t = 0$ . The rates of capture by number (of fish) is

$$\begin{aligned} \frac{dY_t}{dt} &= FN_t \\ &= FN_0 e^{-(F+M)t}, \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

The total number  $Y_t$  of fish caught from time zero to time  $t$  is, from integration of equation (3),

$$Y_t = \frac{FN_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}), \dots\dots\dots(4)$$

and the total number  $Y$  of fish caught during the entire span of time (the limit of  $Y_t$  as  $t \rightarrow \infty$ ) is

$$Y = \frac{FN_0}{F+M}, \dots\dots\dots(5)$$

For tropical tunas, the total mortality rate is so large that nearly all the catch is made within two years after recruitment (Hennemuth, 1961b; Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961). The value of  $Y$  is then, for practical purposes, the same as that for  $Y_2$ .

Since it is not possible to ascertain the exact number of tuna inhabiting a given portion of the sea at a particular time, it is also not possible, from the above principles, directly to estimate the rates at which that particular population is dying from fishing and natural causes. However, if a known number  $T_0$  of fish is tagged and released in this population and, assuming for the moment that these tagged individuals are subject to the same sources of attrition as the untagged, then, by applying the principles of population change expressed above to the tagged individuals, the mortality rates of the population can be estimated.

Tagged tunas are, however, subject not only to continuous losses from fishing and natural agents, but also to other losses, some of which are

effective only for a very short time period immediately after capture and tagging (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961; Schaefer, 1962; Barrett and Connor, 1962, 1964). Mortality resulting from capture and tagging is referred to as initial tagging mortality and is discussed in detail below. Due to these losses, only a fraction  $K$  of the initial number tagged  $T_o$  survive to be affected by fishing and natural mortality. The number of fish  $T_E$  which survive the initial tagging mortality is

$$T_E = KT_o. \dots\dots\dots (6)$$

In addition to fishing and natural mortality, this population of tagged fish is also continuously subjected to an additional apparent loss from the shedding of tags, and to mortalities resulting from the carrying of a tag, as discussed in detail below. The rate of attrition due to these latter two factors, which are *not* common to the untagged population, is represented by  $Q$ . Therefore, similar to equation (2) above, the number  $T_t$  of tagged fish which remain in the population at time  $t$  after tagging is

$$T_t = T_E e^{-(F+M+Q)t} = T_E \phi(t), \dots\dots\dots (7)$$

and, similar to equation (5), the total number  $R$  of tagged fish recaptured will be

$$R = \frac{FT_E}{F+M+Q}. \dots\dots\dots (8)$$

In the analyses contained herein it is necessary to work with the numbers of fish recovered during *intervals of time*  $\tau$  after tagging and relate these to the average number  $\bar{T}_\tau$  of tagged fish present during that interval. Integration of equation (7) over the time interval  $\tau$  gives

$$\bar{T}_\tau = \frac{T_E}{\tau(F+M+Q)} \{e^{-(F+M+Q)(t-\tau/2)} - e^{-(F+M+Q)(t+\tau/2)}\} \dots (9)$$

$$= \frac{2T_E}{\tau(F+M+Q)} e^{-(F+M+Q)t} \sinh [\frac{1}{2}(F+M+Q)\tau] \dots\dots (10)$$

where  $t$  is the time to the mid-point of  $\tau$ . For small values of the argument  $\frac{1}{2}(F+M+Q)\tau$ , the hyperbolic sine approximately equals the argument. It is assumed, *ab initio*, that this is the case in the analyses discussed below, and from the results it is possible to show that this is in fact an excellent assumption. Equation (10) then becomes

$$\bar{T}_\tau = T_E e^{-(F+M+Q)t}. \dots\dots\dots (11)$$

Analogous to equation (4) but using the same approximation leading to equation (11), the number of recaptures during  $\tau$  is

$$R_\tau = F\tau T_E e^{-(F+M+Q)t}. \dots\dots\dots (12)$$

However, not all the recaptured tagged fish are returned; some are overlooked and others are found but not returned, so that only a fraction  $c$  of the recaptures made during the time period  $\tau$  are reported, as described in

detail below. The total number of recaptures, expressed in terms of reported recoveries is

$$R_{\tau} = \frac{r_{\tau}}{c} \dots\dots\dots (13)$$

**The Gulland technique for estimating the fishing mortality rate ( $F$ )**

Gulland (1963) has used these principles of population dynamics to estimate from tagging data the instantaneous rate of fishing mortality of plaice in the North Sea. Following his example, the number  $R_{\tau}$  of tagged tuna recaptured during any time interval after tagging will be, on the average, jointly proportional to the number of tagged tuna present in the area and to the amount of fishing effort exerted,  $f_{\tau}$ . Thus, the number of recaptures made is

$$R_{\tau} = qf_{\tau}T_E \varnothing(t) \dots\dots\dots (14)$$

and the number of recoveries made is

$$r_{\tau} = c qf_{\tau}T_E \varnothing(t) \dots\dots\dots (15)$$

with  $q$  being the instantaneous rate of fishing mortality per standard day of fishing effort<sup>1</sup>. From this it follows that the fishing mortality rate during period  $\tau$ ,  $F_{\tau}$  is

$$F_{\tau} = \frac{qf_{\tau}}{\tau} = \frac{r_{\tau}}{\tau c T_E \varnothing(t)} = \frac{R_{\tau}}{\tau T_{\tau}} \dots\dots\dots (16)$$

The adjusted rate of recovery (i.e., rate of recapture) per unit of fishing effort at time  $t$  is, then,

$$\frac{r_{\tau}}{cf_{\tau}T_E} = q\varnothing(t) \dots\dots\dots (17)$$

If  $q\varnothing(t)$  is computed for successive time intervals, it will decrease steadily with time, due to the decrease in  $\varnothing(t)$ . Since at  $t = 0$ ,  $\varnothing(t) = 1$ , an extrapolation of the line of best fit back to zero time provides an estimate of  $q$ .

If, as noted above, the rates of  $F$ ,  $M$ , and  $Q$  are constant during the experiment, the fractional rate of recapture per unit of effort  $Y'$  is

$$Y' = \frac{r_{\tau}}{cf_{\tau}T_E} = q\varnothing(t) = qe^{-(F + M + Q)t} \dots\dots\dots (18)$$

and

$$\log_e Y' = \log_e q - (F + M + Q)t \dots\dots\dots (19)$$

then, the  $\log_e$  of successive values of  $Y'$  from equations (17) and (18) above will form a linear regression on time. The slope of this line is an

<sup>1</sup>The rate  $q$  is also referred to as the catchability coefficient or as the constant of proportionality relating fishing mortality to fishing intensity. It is equivalent to  $k_e$  of Schaefer (1957).

estimate of the total mortality ( $F + M + Q$ ), and the antilog of the intercept is an estimate of  $q$ .

Having estimated  $q$ , the instantaneous rate of fishing mortality is at once available from the relationship.

$$F = \frac{q\tilde{f}}{t_n - t_o} \dots\dots\dots (20)$$

where  $\tilde{f}$  is the overall fishing effort exerted in the area of concern during the entire experiment of duration  $t_o$  to  $t_n$ . The estimated fishing and total mortality rates are, for comparisons between experiments, usually expressed on a yearly basis.

**Estimating the total mortality rate of untagged fish ( $Z$ ) and tagged fish ( $Z'$ )**

The diminution in the adjusted rate of recovery per unit of effort with increase in time [decrease in  $\varnothing(t)$ ] has been shown [equations (18) and (19)] to be a method for estimation of the rate of total mortality ( $F + M + Q$ ) of the tagged population. This method is an improvement over that used by Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961), (i.e., the diminution of returns with time) to describe the total mortality of tagged tunas, since the scatter of the points about the line of best fit is considerably reduced by taking account of the changes in fishing effort. In an area such as the local banks off Baja California, where there is a cycle of high and low effort during a year (Alverson, 1960; Martin, 1962), the estimates of total mortality will be most reasonable when these changes in effort are taken into consideration.

It is emphasized that the total mortality rates directly derived through these analyses are for tagged fishes and, since they include additional sources of loss, are not comparable to the total mortality rates of the untagged fishes in the same area. That is,  $Z$ , the instantaneous total mortality rate of untagged fishes, is equal to the sum of the fishing and natural mortality rates ( $Z = F + M$ ), while  $Z'$ , the instantaneous total mortality rate of tagged fishes, includes an additional attrition  $Q$  due to tag shedding and deaths caused by the carrying of the tag ( $Z' = F + M + Q$ ).

**Estimating  $Q$ , a mortality coefficient due to tag shedding and other causes**

Because the data from tagging experiments through 1960 do not include any from double tagging, direct estimates of  $Q$  have not been possible. However, it is possible, for yellowfin tuna, to calculate indirectly an estimate of an *average* value of  $Q$  by the utilization of certain ancillary data.

The calculated instantaneous total mortality rate of untagged yellowfin,  $Z = (F + M)$ , in the eastern tropical Pacific Ocean for 1954 to 1959 is 1.72 per year (Hennemuth, 1961b). The portion of the total mortality

rate which is due to fishing  $F$  was estimated by Schaefer (1957) to be  $0.38 \times 10^{-4}$  per standard day's fishing effort, on the basis of catch and effort data. This value may be related to two periods of considerably different effort values. In the period 1956 to 1958, with an average effort per year of 28,500 days fishing,  $F = 1.08$  per year, and for 1960 to 1961, with an average effort of 39,000 days fishing per year,  $F = 1.48$  per year. If it is assumed that the rate of total attrition calculated by Hennemuth for 1954 to 1959 is also valid for 1956 to 1958, then the natural mortality rate  $M$  is 0.64 (1.72 - 1.08) per year. Assuming  $M$  to be unchanging (Schaefer, 1957), then for 1960 to 1961,  $Z$  is 2.12 (1.48 + 0.64) per year.

For tagged yellowfin, estimates have also been made of the minimum total mortality rate  $Z'$  during the periods 1956 to 1958 and January 1960 to June 1961, from the regressions of tag returns on time (Table 1), as described by Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961). Thus, for 1956 to 1958,  $Z' \geq 2.77$  per year and, for January 1960 to June 1961,  $Z' \geq 3.18$  per year. From the relation  $Q = Z' - Z$ ,  $Q$  for 1956 to 1958 is 1.05 and, for January 1960 to June 1961, is 1.06 per year.

For skipjack  $Q$  cannot now be determined in any manner comparable to the above, since no estimates of either  $F$  or  $Z$  have been possible for untagged fish. However, until a better estimate is possible, the estimated value of  $Q = 1.06$  per year for yellowfin is also used for skipjack in these analyses.

#### **Estimating $K$ , the initial tagging survival**

Not all of those released survive the initial effects of capture and tagging. None of the factors necessary for the calculation of the fishing mortality coefficient is more likely to be significantly in error than is the number of fish "effectively tagged." The relationships between the absolute number tagged  $T_o$  and the number which live  $T_E$  has been expressed by equation (6),  $T_E = KT_o$ , with  $K$  being the fraction surviving. For tunas,  $K$  is believed to vary according to the conditions prevailing at the time of tagging (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961). Information pertinent to the examination of  $K$  is difficult to obtain directly but it may be possible to estimate  $K$  through an analysis of the variations in recovery rates of fishes tagged with various types of tags or under different sets of conditions (Ricker, 1958).

#### *Effects of handling*

One factor that has been associated with variations in recovery rates of tagged tuna is the amount of handling the fish are subjected to and their physical condition at the time of tagging and release (Broadhead, 1959; Marr, 1963). Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961) have demonstrated that the extra time necessary to measure fish at the time of tagging leads to lowered recovery rates. Barrett and Connor (1962, 1964) have presented data which indicate that even the act of capture alone is

physiologically damaging to tunas. Although it is apparent that handling is of some significance in the determination of the initial survival, it is not possible to measure the magnitude of its separate effect. In this paper, therefore, the effects of handling are not individually considered in the estimation of  $K$ .

*Effects of fish size and water temperature at the time of tagging*

Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961) show that the temperature of the water at the time of tagging significantly affects the recovery rates of yellowfin tuna tagged on the local banks off Baja California and off northern Peru. Their data for skipjack indicated a significant effect of temperature for those tagged on the local banks but not for those marked off northern Peru. The simultaneous analysis of the size of the fish tagged and the sea temperature at the time of release with the subsequent recovery rates indicated a significant positive relationship between the fish size and their recovery rates, for both yellowfin and skipjack, from the local banks. Fishes tagged off northern Peru showed no such positive relationship. There are now considerably more data than were available to Schaefer, Chatwin and Broadhead, which can be used to demonstrate the relationships of sea temperature and fish size with subsequent recovery rates. These data have been analyzed by arc-sine transformation of the recovery percentages and analysis of variance of the transformed data (essentially the same method employed by Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961). The new analyses show that the size of the yellowfin tagged is directly related ( $p = 0.01$ ) to the percentage recovered for both the local banks and northern Peru tagging experiments (Tables 2 and 3), but that a similar relationship is not found in either area for the tagged skipjack (Tables 4 and 5).

There are no size data available for a large portion of the yellowfin tagged in those years and areas for which estimates of the mortality rates are desired. In some cases the amount of tagging data, had the unmeasured fish not been included, would have been so reduced that estimations of the mortality rates would not have been possible. Therefore, even though it is acknowledged that size is a factor in the percentage surviving tagging, as shown by variations in return rates for both the northern and southern extremes of the fishery, it was not corrected for in any of the mortality analyses of this paper.

*Effects of water temperature at the time of tagging*

From Tables 2 to 5 it is apparent also that water temperature at the time of tagging is an important factor in the determination of subsequent recovery rates, with the latter reflecting the initial survival. These data show that temperature is inversely related to recovery rate ( $p = 0.01$ ) in both the northern and southern areas investigated, for both yellowfin and skipjack.<sup>2</sup> To the data of Tables 2 to 5 there have been added temperature

<sup>2</sup>This has been found to hold valid for individual experiments and is not related to the amount of effort applied (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961).

data for unmeasured yellowfin and skipjack, both for the local banks and northern Peru areas. The combined data are presented in Table 6 and are plotted in Figures 2 and 3. The regressions of the per cent recovery on water temperature at the time of tagging are

#### Yellowfin

Local Banks: % recovery =  $131.1 - 1.567 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  $r = -0.92^{*3}$

Northern Peru: % recovery =  $72.9 - 0.882 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  $r = -0.92$

#### Skipjack

Local Banks: % recovery =  $35.1 - 0.418 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  $r = -0.73$

Northern Peru: % recovery =  $16.9 - 0.192 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  $r = -0.91^*$

On the basis of the highest rates of tag recovery achieved, as well as from the analysis of age structure of the yellowfin tuna population and catch statistics (Schaefer, 1957; Hennemuth, 1961a),  $K$  for tagged yellowfin was felt not to exceed 0.85 (Schaefer, 1963) under ideal tagging conditions and, under tagging conditions which ordinarily prevail, to be much lower (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961). This value is perhaps as applicable to skipjack as to yellowfin. Since the highest survival occurs at the lowest water temperature, from the least squares regressions of recovery rates on temperature (Figures 2 and 3) there may be computed a series of  $K$  values for yellowfin and skipjack, for both the northern and southern areas (Table 7, using 0.85 at  $65^\circ\text{F}$ ). These values were used routinely for the tagging experiments described herein.<sup>4</sup>

### FACTORS RELATIVE TO THE ASSESSMENT OF MORTALITY

The calculation of the catchability coefficients from the tuna tagging experiments discussed herein depends not only on certain assumptions (discussed below) but also on the use of reasonably correct estimates for (1)  $R_\tau$ , the number of recaptures made during period  $\tau$ ; (2)  $f_\tau$ , the number of standard days fishing effort exerted in the area during period  $\tau$  and; (3)  $T_E$ , the number of tagged fish surviving the initial mortality. Not all of these can be known with precision. However, it is possible, through the use of certain correction factors, to make what are believed to be reasonable estimates of these values.

#### Estimation of the number of tagged tunas recaptured

The number  $R_\tau$  of tagged tunas recaptured<sup>5</sup> during period  $\tau$  by the

<sup>3</sup> Significance at the 0.01 level is indicated by a double asterisk and at the 0.05 level by a single asterisk.

<sup>4</sup> On the basis of data from tagging during 1960-1963, it is now felt that, with tags and techniques used at present, survival at unity is possible ( $T_o = T_E$ ).

<sup>5</sup> In this particular discussion, the recapture of fish which have lost their tags is not being considered. These fish are, for all intents and purposes, not separable from those which were never tagged. They are, however, considered under the section of this paper dealing with tag shedding.

fishing fleet is larger than the number  $r_T$  discovered and reported. The relationship between  $R_T$  and  $r_T$  has been described in equation (13) above.

Broadhead (1959) estimated that some 50 per cent of the recaptured tagged fishes (yellowfin and skipjack) were not reported. With increased knowledge of the tagging program by potential recoverers, changes in tag colors used, interest spurred by substantial reward payments and annual drawings of "lucky" numbers for additional rewards, the estimated ratio of reported recoveries to recaptures has improved since his estimate was made. In experiments carried out during 1960, the estimated overall loss of recaptured tagged fishes was slightly less than 10 per cent (Schaefer, 1962). Results of additional experiments in 1961 indicated that the loss rate had diminished to less than 2 per cent. (These loss rates refer only to the fishes caught by California-based boats; different rates may be applicable to fish unloaded in other areas.) On the basis of these experiments and, for the purposes of this paper, it is assumed that for those fish tagged through July 1957 the fraction of the recaptured tagged fishes from which the tags were reported was 0.50 (Broadhead, 1959). From July 1957 through July 1961 the portion of the recaptures reported is assumed to have increased at a rate of 1 per cent per month (there being a 48 per cent improvement in 48 months) and to have remained at the 98 per cent level since mid-1961. (There is not, of course, any way of determining if the rate of reporting of recaptured tagged fish actually did increase by the amount hypothesized for the 1957 to 1960 period.) These rates are directly applicable for the local banks experiments described herein since nearly all of these fish are processed in California. These same rates have been applied to the data for northern Peru. There is, however, some reason to believe that, for economic reasons, a larger portion of the northern Peru tagged fishes which were recaptured by their local vessels may have been returned to the Commission. Checks, such as described by Paulik (1961), on the efficiency of reporting were not undertaken, due to the low percentage returns expected. Similarly, analyses such as those described by Clark and Janssen (1945) for the consideration of differences between areas were restricted by the data available.

The portion of the recoveries reported has been found to be, in some fisheries, far less than unity. For example, salmon tags have been kept for souvenirs by persons receiving them (MacKay, Howard and Killick, 1944). In the tuna fishery, however, losses of this type are believed to be rare. Usually these losses, when they occur, are at the start of a tagging program rather than after it is well known. The Tuna Commission has therefore probably benefited, in this regard, from the tagging experiments conducted by the California Department of Fish and Game (Blunt and Messersmith, 1960) for nearly 4 years prior to the first Commission tagging.

#### **Accuracy of tag recapture data as reported**

The accuracy of the recapture data of any tag return is controlled, to a large extent, by the integrity and memory of the finder. Tagged fishes



and loose tags are found, for the most part, during one of three distinct operations:

1. on the vessel at time of recapture
2. on the vessel during unloading operations
3. in the cannery during butchering operations.

The information is best when the tag is found at the time of recapture and the data are entered into the vessel's logbook. If the tag is found during unloading it is still usually attributable to a fairly small fishing region and particular month of recapture. This is, to some degree, controlled by the size of the wells, the success of the vessel and the number of areas fished during the loading of the well. About as many tags are found in the canneries as are discovered during unloading. These are ordinarily attributable to a pair of wells and somewhat broader regions and times of recapture. The location in which a tag is found (not necessarily recaptured) also depends to some extent on the type of fishing vessel by which the fish is caught. Purse-seine fishermen are less likely to find tagged fish at sea than are the baitboat fishermen, because of different handling methods. Although the increase in numbers of purse-seining vessels began in 1958 (Orange and Broadhead, 1959), the effect was not apparent in the tagging data until 1960, by which time a large portion of the baitboat fleet had converted to seining. To illustrate this recent change there are tabulated below, by time of tagging and place of recovery, the number of tagged yellowfin reported during the 1955 to 1963 period from tagging through 1960 as well as their percentage of the total recovered in each time period.

#### TIMES AND PLACES OF RECOVERIES OF TAGGED YELLOWFIN

Year of tagging	Vessel at sea		Unloading		Cannery area		Other		Total No. of tags
	No. of tags	% rec.	No. of tags	% rec.	No. of tags	% rec.	No. of tags	% rec.	
1955-1957	251	67.8	34	9.2	56	15.2	29	7.8	370
1958	183	72.5	29	11.6	38	15.1	2	0.8	252
1959	169	71.3	28	11.8	35	14.8	5	2.1	237
1960	288	53.4	120	22.3	118	21.9	13	2.4	539

For the analyses discussed in this paper, when recoveries could not be placed into a particular period, it was often possible to prorate them into somewhat broader periods, according to the numbers of returns known to have been made in each. The reported tag recapture information is generally accurate; any errors are limited to short displacements in time and space, and are random in nature.

#### **Size of the sea areas used in the determinations of effective fishing effort**

Yellowfin and skipjack tuna tagged on the local banks or off northern Peru are almost always returned from the same general areas of tagging. Off Baja California the average movement away from the region of tagging is very small for yellowfin; the mean distance reaches a maximum of about 100 miles after eight or nine months and then decreases. Skipjack move out more rapidly than yellowfin but the average distance which

the recovered fish have moved from the point of their tagging remains at about 75 miles for about the first ten months of freedom. The rate of dispersion of skipjack after this period is more rapid but recoveries are, as mentioned above, generally limited to the same area. Tagging of yellowfin in the Gulf of Guayaquil has yielded few recoveries from outside that area. Those recaptured outside the tagging area are generally from the 14 Fathom Bank, some 400 miles south of the Gulf of Guayaquil or from the sea area off the South American coast from Punta Santa Elena to Cabo San Francisco, Ecuador. Skipjack tagged in this southern region seem to be somewhat more migratory than are yellowfin although the extent of this difference is little more than that found for these same species when tagged off the coast of Baja California. More detailed discussion of the migratory routes and rates of dispersion may be found in Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961).

Because the migrations of the tunas at the extremes of the fishery are generally restricted, it is possible to limit the areas for which the fishing effort needs to be taken into account; this limitation is a prerequisite for making Gulland-type estimates of mortality rates. The areas for which the effort is calculated, for any year's analysis, might include areas other than those which actually yielded recoveries of tagged fish, if it was necessary for the fish to pass through them in order to reach the region where actual recaptures took place. It is preferable, in any case, to use the smallest reasonable area about the marking location. For example, two estimates may be made of the mortality coefficients of yellowfin tuna from the 1957 tagging experiment on the local banks. From this group of fish there were 59 recoveries; two of which were recaptured in the Gulf of California, and the rest off the west coast of Baja California. The estimate of  $q$ ,  $F$ , and  $Z'$  in Table 8a utilized the tag returns and effort data from the local banks only. A second estimate of these rates was made (but not herein included) utilizing these same data and, in addition, the tag returns and effort data from the Gulf of California (Figure 4). The changes in  $F$  and  $Z'$  were found to be small despite the large changes in the effort values used. However, in contrast, from the 1959 tagging experiment off Baja California, of 51 yellowfin recoveries, 13 were recaptured in the Gulf of California and two still further south (one off southern Mexico and the other off Guatemala). In this case, it is necessary to use the effort and recoveries from the Gulf of California but not those from further south. If the tag recoveries from off Central America are used, then the effort from this area must also be used and extremely low coefficients of mortality are obtained. In cases such as this, the "aberrant" returns were not considered.

#### **Fishing effort in selected areas**

The number of days fishing effort expended on tunas *during a particular period of time in some small portion* of the eastern tropical Pacific

Ocean is sometimes extremely difficult to obtain precisely. The *recorded effort* as abstracted from vessel logbooks represents but a portion of the total effort. This portion of the total varies from area to area and has, in the records of the Commission, consistently been greatest for the northern fishing grounds (Alverson, 1960) which include the local banks off Baja California. Fishing operations in this area are carried out by baitboats and purse-seiners of all sizes. Their effort was, for every month of concern to this study, standardized to baitboats of size class IV (201-300 tons carrying capacity) and was tabulated as standard days effort (Shimada and Schaefer, 1956; Broadhead, 1962).

The effort exerted in and about the Gulf of Guayaquil was less easily arrived at since, in this region, during the period 1955 to 1960, the catch of yellowfin and skipjack tuna was made by at least three different fleets of vessels: (1) the fleet of boats from which logbooks were obtained and from which catch and effort data were entered into the Commission's tabulating system, (2) the fleet of small purse-seiners (*bolicheros*) fishing out of Mancora, Peru and (3) the fleet of small baitboats fishing essentially from Manta, Ecuador. The catch and effort of the latter two are not entered into the tabulating system.

To estimate the total effective fishing effort exerted on the tagged fishes in this area, it was necessary first to estimate the amount of effort generated by the Peruvian *bolicheros* and the Manta baitboats and then to add this effort to the recorded effort exerted by the "logged" fleet. The problem was simplified by elimination of the data for the Manta fleet, because it was found that these vessels had recovered only one yellowfin and eleven skipjack from those released off northern Peru, a negligible amount. Examination of tag recovery data (unpublished records of the Commission) shows that, on the average, the number of tag returns per ton of catch was about the same for the *bolicheros* and the "logged" fleet; there was, however, considerable variation in the number of returns per ton of catch from period to period. (The comparisons, not herein included, were made by quarters of the year for the years 1956 to 1960, separately for yellowfin and skipjack.) The approximately one-to-one relationship indicates that the Mancora *bolicheros* and the "logged" fleet were fishing on the same stock; it was possible, therefore, to convert directly the total *bolichero* catch in each monthly period to standard days fishing by modifying the method normally employed by the Commission to calculate the total annual effort (Shimada and Schaefer, 1956) and to do this separately for both yellowfin and skipjack ( $\text{bolichero catch} / \text{logged catch} \times \text{logged effort} = \text{bolichero effort}$ ). When this was done, there were nine months (out of 71) where the computed Mancora effort on yellowfin tuna exceeded what was considered to be their potential maximum, 375 days per month. This maximum was set by considering that the average number of *bolicheros* at sea during any month was 15 and that they fished 25 days each, with the efficiency of class IV baitboats. The effect of using

this limitation on potential effort is generally found to be quite small, especially for the estimation of the total mortality rate. Because of this, no limitations of effort were used in the skipjack computations. It should be pointed out, however, that 11 of the 73 months for which the skipjack effort was computed had effort values somewhat in excess of 375 days fishing for the *bolichero* fleet.

In the region off northern South America there is no apparent relationship between the effort values computed for yellowfin and those for skipjack. However, for both species, the scatter of the points about the line of best fit in recovery-time graphs (*cf.* Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961, figures 19 to 26) can be considerably reduced by using the recoveries per unit of computed effort, as described above, instead of the recoveries *per se*<sup>6</sup>. This is considered to be evidence that the computed effort values are valid, at least relative to one another. If the effort values are in error in their general levels, these errors are probably towards the low side<sup>7</sup>. Underestimated levels of effort might result in excessively high values of *q*.

#### The effect of fish size regulation on mortality estimates

Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961), in discussing tagging mortality, suggest that some of the differences found in recovery rates among fish tagged at different sizes might be attributable to size selectivity by the fishermen. There is a minimum weight limit of 7½ pounds in California landings of yellowfin tuna (corresponding to a length of about 55 cm) and of four pounds on skipjack (corresponding to a length of about 40 cm). The fish tagged are, on the average, considerably smaller than those caught in the same areas by the commercial baitboat fleet, as may be seen in the table below:

<b>YELLOWFIN</b>				
(Baitboat catches only)				
	Local Banks		Local Banks	
	Commercial catch		Tagged fish	
	Size (mm)	Per cent	Size (mm)	Per cent
1958 to 1959	< 500	0.1	< 500	36.4
	500-599	22.6	500-599	44.8
	600-699	33.7	600-699	15.1
	700 +	43.6	700 +	3.7
	Northern Peru		Northern Peru	
	Commercial catch		Tagged fish	
1956 to 1961	Size (mm)	Per cent	Size (mm)	Per cent
	< 500	3.2	< 500	17.0
	500-599	32.7	500-599	56.0
	600-699	31.0	600-699	24.0
	700 +	33.1	700 +	3.0

<sup>6</sup> The use of effort from the "logged" and *bolichero* fleets combined results in a much greater reduction in scatter about the line than if only the logged effort is used. However, for the period investigated, the *bolichero* effort represents but 34 per cent of the total.

<sup>7</sup> For 1959 and 1960 combined, the catch of yellowfin by vessels from which abstracts of logbooks were obtained and, by *bolicheros* from Mancora, Peru is estimated to account for 75 per cent of the estimated total landings of these fish from the northern South America region. These same vessels appear to have caught only 67 per cent of the total skipjack landed (C. J. Orange, personal communication).

These differences are attributable to four factors: (1) On charter tagging cruises, fish of any size are tagged, although sometimes there is a preference for schools containing the smaller sizes because of ease of handling them. (2) On commercial cruises with taggers aboard, the taggers tend to throw the larger sizes into the catch rather than attempting to tag them. (3) Commercial fishing vessels frequently try a school only to find that too many of the fish are undersized. If our taggers are aboard, they will, in the meantime, continuously be tagging prior to the boat's departure from the school. (4) In schools of fish of mixed sizes, the commercial fishermen frequently stay and catch what they can but throw the smaller fish overboard. Over 50 per cent of the yellowfin (but relatively few of the skipjack) for which we have recorded the lengths at the time of tagging were below the minimum legal size (Tables 2 to 5).

Attrition (natural mortality, tag shedding and emigration) before recruitment into the fishery of fishes tagged below the minimum legal size is another factor which must be considered in the analyses of mortality rates. Computations (not included in this paper) have been made of the average total attrition that tagged yellowfin (Tables 2 and 3) were subject to, prior to attaining legal size. It was found that  $0.13 T_F$  were lost for the above reasons. However, since so many of the fish included in the mortality rate experiments of this paper were not measured, it was impossible to determine the specific corrections needed to account for the tagging of sub-legal sized fish.

#### ASSUMPTIONS MADE FOR THESE ANALYSES

Estimates, based on data gathered from tagging experiments, of the vital statistics of animal populations depend on the validity of certain assumptions. Many of these have been discussed by Ricker (1958) and Beverton and Holt (1957). In this paper the following assumptions have been made so that Gulland analyses might be properly used.

1. *Fishing and natural mortality rates are the same for tagged and untagged fish of all sizes.* Tagged fish are those which have survived the initial tagging mortality. It is possible, however, that the "natural" mortality of the marked members of the population may be increased; predatory species may be especially attracted by the tags (Lawler and Smith, 1963) or the mark may slow the tagged fishes in their escape attempts (Parker, Black and Larkin, 1963). Any such losses are, in this paper, considered as a portion of  $Q$  (primarily the shedding of tags), because the effect on the mortality estimates is similar.

2. *Tagged fishes are considered to be no more catchable nor recatchable than the untagged fishes or, conversely, tagged fishes do not "profit" from their experience and are therefore no less catchable than are the untagged.* It should be pointed out, however, that in experiments with some animals other than

tunas, different likelihoods for recapture of different individuals are found (Young, Neess and Emlen, 1952; Randall, 1962).

3. *Fishes tagged are representative of the population present in the area at the time of tagging.* Note is taken, however, of an apparent size discrepancy between the tagged and untagged fishes, as shown above.

4. *Soon after tagging the marked fishes remix with the untagged population in a random fashion. This is assumed to be true only for the restricted area under consideration, and not for the fishery as a whole.* Yellowfin and skipjack tunas have been shown to be highly mobile species capable of moving long distances in fairly short periods of time (Blunt and Messersmith, 1960; Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961). Although the general areas of tagging discussed in this paper are but small portions of the eastern tropical Pacific Ocean tuna fishery, they are nevertheless still quite extensive. However, the tunas are, at any particular time, generally quite localized within these areas (Broadhead and Barrett, 1964). The Commission's recent tagging data clearly show an extremely rapid dispersion of the tagged fishes within these sub-areas, particularly in the northern region.

5. *The units of effort applicable to untagged tuna (standard day fishing) are equally applicable to the tagged tunas and each unit of effort takes a fixed proportion of the total population in the area.* The validity of this assumption is, to some extent, questionable. DeLury (1954) has pointed out that one unit of effort may be much more effective than another, perhaps because of details of location. Although this is not too important when dealing with large areas over long time periods, it may be of greater significance when the areas and periods dealt with are more restricted, as they are in this paper.

## RESULTS AND DISCUSSION

### **Mortality rates for yellowfin and skipjack tuna**

Using the techniques described above, and with some modifications as necessary,  $F$  and  $Z'$  were estimated, on an annual basis, for several groups of fish tagged from 1955 to 1960 on the local banks and off northern Peru. In Tables 8a-1 are given the times and areas of tagging and recapture, the numbers of fish tagged and the numbers of fish estimated to have initially survived. For each recapture period there are also given in these tables the number of recoveries, the estimated portion of the recaptures recovered, the number of standard days fishing effort, and the adjusted rate of recovery per unit of effort.

Regressions computed from these data are shown in Figures 4 to 15. The calculated rates of fishing ( $F$ ) and total attrition ( $Z'$ ) of the tagged groups are also presented in Table 8 as are the correlation coefficients of

the regressions. The mortality estimates abstracted from this table are listed below:

### YELLOWFIN TUNA

Baja Calif.	Z*	Z'*	F*	$q \times 10^3$	$f_{t_n-t_0}$	b
1957	1.20‡	2.26	1.39	0.282	6640	-0.188/month
1958	1.75	2.81	0.64	0.182	6756	-0.231/month
1959	1.28	2.34	0.61	0.066	9203	-0.195/month
1960	5.17	6.23	9.24‡	2.450	3772	-0.519/month

### Northern Peru

1956	1.93	2.99	0.76	0.283	2133	-0.249/month
1957	1.32	2.38	0.56	0.102	4335	-0.199/month
1958	0.88	1.94	0.70	0.126	5323	-0.162/month
1959	0.77	1.83	0.66	0.136	3853	-0.152/month
1960	6.59	7.65	2.02	0.182	324	-0.637/month
1955 to 1960	2.65	3.71	0.80	0.190	4423	-0.309/month

### SKIPJACK

Baja Calif.	Z*	Z'*	F*	$q \times 10^3$	$f_{t_n-t_0}$	b
1957	5.92	6.98	2.10	0.600	1606	-0.581/month

### Northern Peru

1955 to 1960	3.96‡	5.02	0.31	0.067	4642	-0.418/month
--------------	-------	------	------	-------	------	--------------

( $Q = 1.06$ , estimated rate applicable to both species, all years.)

\* Instantaneous rate on an annual basis.

‡ Unreasonable estimate, see text.

### Discussion of analyses by species, areas and years

Analyses of the tagging data for yellowfin tuna released on the local banks during 1957 are described in detail below, as an example of the technique employed for determining  $F$  and  $Z'$ . For subsequent years the descriptions below pertain, for the most part, only to the *particular* treatments performed.

#### *Yellowfin, local banks, 1957*

This group of data results from the tagged fish released on the local banks off Baja California during baitboat cruise 14 (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961) during which 579 yellowfin tuna were tagged ( $T_0$ ). These fish are listed (Table 9) by individual days of release and sea temperature prevailing. The types of tags used in this and subsequent groups are described in Tables 10 and 11. From the relationship of temperature with initial survival (Table 7), the number of fish which are estimated to have survived from this tagged group is 154 ( $T_E$ ) (Table 9); this number is used in subsequent calculations. The day of tagging of the median tagged fish effectively released ( $154/2 = 77$ ) was 29 August 1957 ( $t_0$ ). From Table 8a, 56 tagged fish were recovered from the local banks portion of areas 20-110 and 25-110 (Figure 1) between  $t_0$  and the termination of

the experiment at the end of 1958 ( $t_n$ ). No known recaptures were made in the area during six of the 16.1 months included. Two recaptures, known only to have been made sometime in 1957, were prorated into that year's return data, in ratios proportional to the numbers reported to have been recaptured in each month.

From the analysis of recapture-recovery ratios discussed above, the "estimated" portion of the recaptures reported for this tagged group increased 0.01 per month from 0.51 in August 1957 to 0.67 in December 1958.

The number of days fishing effort exerted in areas 20-110 and 25-110 (Figure 1) during each month after tagging was ascertained from the Commission's IBM records of catch and effort data. The baitboat data were standardized to baitboat IV units; the purse-seine data were first standardized to purse-seine III units and then to baitboat IV units using the appropriate correction factors (Broadhead, 1962, p. 301, 304, 307). Because the area of concern was the local banks, it was necessary to remove that portion of the effort in area 25-110 which was exerted in the Gulf of California portion (Figure 1). The latter was calculated from Martin (1962). Since there were only three days in August 1957 after and including  $t_o$ , only 3/31 of that month's effort is included in the analysis. For all other months the entire calculated effort, applicable to the local banks areas considered, was used.

The adjusted rates of recovery per unit of effort were computed for each month in 1957. For 1958, however, as there were six months without recoveries, but with effort, the data were combined by quarters of the year. The changes in size of the individual recovery periods from 0.1 to 1 to 3 months could add some bias to the computations since not all portions of the total recovery period get equal weight.

Because, as explained above, the rate of decline of  $r/cfT_E$  with time is theoretically exponential, these rates were transformed to natural logarithms and the regressions of  $\log_e r/cfT_E$  on time computed [equations (15), (16) and (17)]. For this group of data the intercept at  $t_o$  was  $-1.267$ ; so  $q = 0.282 \times 10^{-3}$  per day (Figure 4). As  $\bar{f}$  for the entire 16.1 month period was 6640 days (Table 8a),  $q\bar{f}$  is 1.87 per 16.1 months and  $F$ , the instantaneous rate of fishing mortality, is 1.39 per year. The slope of the line describing the diminution in the adjusted recovery rates per unit of effort (Figure 4) is  $-0.188$  per month and  $Z'$ , the instantaneous rate of total mortality is 2.26 per year ( $r = -0.92^{**}$ , d.f. = 7).

#### *Yellowfin, local banks, 1958*

The data for yellowfin tagged on the local banks during 1958 from cruises 21, 22 and 23 were combined. Because the tagging extended over 91 days, a median day of tagging could not reasonably be used in the analysis. In fact, if the day of release of the median fish estimated to have survived tagging (the 389th, 4 August) were used, there would have



been 65 recoveries prior to  $t_o$ . Rather, the individual dates of release were used and the recoveries and effort values grouped by appropriate intervals after these dates. This method permits the use of all recoveries. To incorporate periods in which there was effort but no recapture, the periods were arranged successively into a 30-day interval, two 60-day intervals, a 100-day interval, and three 150-day intervals (Table 8b, Figure 5). Because most recaptures were made soon after tagging, the use of expanding time intervals had the effect of weighting most heavily those periods closest to the time of tagging.

To calculate the effort applicable to each period, it was necessary first to determine, on a daily basis, the standardized effort exerted in areas 20-110 and in that portion of 25-110 west of Baja California (Figure 1) during the period 26 May to 31 August 1958 and, on a monthly basis, the standardized effort exerted in these same areas during the period September 1958 to July 1960. The daily effort values were computed from data taken both from the Commission's one-degree area tabulations and from vessel logbooks. Monthly effort was calculated from the Commission's IBM catch and effort tabulations and from tables in Martin (1962). Appropriate correction factors, needed to standardize the effort into bait-boat IV units, were taken from Broadhead (1962). The number of days fishing effort exerted after each day's tagging was computed for each of the successive time periods using both daily and monthly effort values, as appropriate. The effort values thus computed, for each of the successive periods after each day's tagging, were multiplied by the ratio of the numbers of effective tags released on that day to the total number of effective tags released during the entire tagging period. These individual corrected effort values were summed to obtain the effort applicable to the tagged group as a whole during each of the successive time intervals.

#### *Yellowfin, local banks, 1959*

Tagged yellowfin were released during cruises 29 and 30 to the local banks in the late summer and early fall of 1959. In contrast to the results of most cruises to this area, many of the recaptures were made during the following year (Figure 6) and, of these, nearly half were made in the Gulf of California (Area 20-105, Figure 1). Because of this it was necessary to consider a much larger recapture area than was necessary for those tagged groups previously discussed (Tables 8a, b). No recaptures were reported for five of the months between  $t_o$  and  $t_n$ . These months, containing 1500 days effort (Table 8c) were not used in the computation of the line relating adjusted rates of recovery with time because there is in the data an indication of emigrations and cyclic abundance. This raises the level of the line and, because of the distribution of the months in which no recaptures were made, also steepens its slope. However, total effort from all areas and months was used to estimate  $F$ .

*Yellowfin, local banks, 1960*

There were 436 yellowfin tagged in September 1960 on the local banks during cruise 35. Forty-three of the tagged fish were not used in the calculations since they were recaptured during or immediately after tagging by two purse-seiners operating in the immediate vicinity of the tagging vessel.

To incorporate those months, in which there was effort but no recaptures, the data for February and March were combined, as were those for 1 July to 6 September 1961. Neither the slope of the line nor its  $y$ -intercept were materially affected by this procedure (Figure 7, Table 8d).

*Yellowfin, northern Peru, 1955 to 1960*

All estimates of mortality rates made for the northern Peru region of tagging are based on the adjusted rates of recovery per unit of effort, by monthly periods after tagging. Because fish were tagged almost continuously in the area during 1955 to 1960 (Tables 8 e to i), it was necessary to weight the effort, in the months subsequent to a particular tagging month, by the ratio of the number of effective tags released in the tagging month to the total number tagged in the particular year. The month of tagging,  $X$ , and subsequent months,  $X + 1$ ,  $X + 2$ , . . .  $X + n$ , do not then refer to any particular calendar months, but merely to monthly periods of time after tagging. Effort determined for these periods was the summation of the individually corrected effort values described below. The computations are similar to those used for yellowfin tagged on the local banks during 1958 (see above). Effort used in the calculations for month  $X$  was one half the effort applicable to the month as a whole, since the middle of the month was considered the most appropriate time for initiation of the analysis ( $t_o$ ).

The portions of the recaptures recovered were estimated to be the same for the northern Peru tagging area as was described for the local banks. However, because so many months in which fish were tagged were included in each of the northern Peru analyses, it would have been difficult and time consuming to ascertain the appropriate  $c$  values for each monthly period subsequent to the one of tagging. Because of this and because the variation of  $c$  for any year's data was usually no more than 4 per cent, the mean  $c$  values for the entire recovery periods were deemed adequate for the analyses.

Examination of the data subsequent to period  $X$  (Figures 8, 10 and 11) indicated that the value  $r/cfT_E$  during each period  $X$  for fish tagged off northern Peru in 1956, 1958 and 1959, was considerably below that which might have been expected. (This may have been due to incomplete mixing of the tagged fish over the entire recovery region within a short time after tagging.) The first points in these years' data, therefore, were not used in the computations of the lines from which were ascertained the

rates of fishing mortality per unit of effort,  $q$ , and total attrition,  $Z'$  (Tables 8e, g and h). The effort data for month  $X$  in these years was, however, used for the estimation of  $F$  as were the data from any other months not included in the computations, as described below.

Because of certain practical difficulties encountered when effort data from two or more consecutive months without recaptures are combined with data of adjacent months, months  $X + 7$  and  $X + 8$  for the 1956 tagged group and months  $X + 5$  and  $X + 6$  for the 1957 tagged group were deleted from the regression computations. The single recovery in month  $X + 12$  in 1957 was also deleted because it was preceded by two monthly periods without recoveries, and  $t_n$  was moved forward to the end of period  $X + 9$ . Single months without recovery were combined with adjacent months in which recaptures were made, for purposes of analysis (i.e.,  $X + 9$  and  $X + 10$  in 1958 and  $X + 10$  and  $X + 11$  in 1955 to 1960 combined).

*Skipjack, local banks, 1957*

Tagging cruises 14 and 16 to the local banks in 1957 were the only ones in the 1956-1960 period from which enough recoveries resulted, over a long enough period, for estimates to be made of the mortality rates (Table 8k, Figure 14). The rate of total attrition (Figure 14) is uniform through month  $X + 5$  and erratic thereafter. Because the best estimates of  $F$  are, in cases such as this, made from data close to the time of tagging (Gulland, 1963), only data through month  $X + 5$  were included in the computations (Table 8k).

*Skipjack, northern Peru, 1955 to 1960*

Recoveries of the skipjack tagged off northern Peru were so sparse, especially after month  $X + 5$ , that weighting and summation of all data from 1955-1960 was necessary to give a reliable estimate of the mortality rates (Table 8l). Effort was weighted for all years combined as for the individual years of yellowfin tagged off northern Peru. The portion of the recaptures recovered was assumed to be at the mean level calculated for the entire period covered by the data.

---

Examination of the results obtained indicates that they may be, to some extent, not representative. For the yellowfin tagged on the local banks during 1957, the computed rate of fishing mortality is higher than the total mortality rate (after subtraction of  $Q$ ). If  $Z$  is approximately correct, it is likely that  $F$  is overestimated, probably because of underestimation of the initial survival. Alternatively, if  $Q = 1.06$  per year is an overestimate, then the fishing mortality rate may be of the proper magnitude.

The data for returns from yellowfin tagged on the local banks in 1959 appear to be comprised of two separate portions (Figure 6). This may be due to emigration of the tagged fish from the fishery during the winter

months. If this is the case, then the technique used above may not be applicable here. For this reason the regression used (Figure 6) to estimate the mortality rates (Table 7) is questionable. However, the  $y$ -intercept of a line based on the first three points only may, for this group, be valid for estimating  $q$  if these data fulfill the prerequisites of the model. Using these three points  $q = 0.094 \times 10^{-3}$  per day,  $q\bar{f}$  for the 2.3 months is 0.178, and  $F = 0.93$  per year.

The estimated number of effective tagged yellowfin released on the local banks during 1960 is smaller than the actual number of recoveries. The discrepancy is caused, in part, by calculation of  $K$  values (Table 7) from the average relationship of water temperature on recovery rates only, by the use of data from periods prior to 1960 with their lower fishing intensity and, from this, an assignation of  $K = 0.85$  at  $65^\circ\text{F}$ . An estimate of mortality based on  $T_o$  rather than  $T_E$  (and therefore a minimum estimate) lowers  $F$  to 3.13 per year, still a very high rate of mortality. The true rate is probably somewhat higher.

For both groups of tagged skipjack analyzed, a considerable difference between the estimated rates of fishing mortality and total mortality was evident. This may be due to a high natural mortality rate and also to a high rate of emigration. Insertion into the model of a factor for random diffusion (Schaefer, Chatwin and Broadhead, 1961) to account for emigration decreases the difference between  $F$  and  $Z'$  but does not improve the correlation coefficients of the regressions.

### SUMMARY AND CONCLUSIONS

From the data available for tagged yellowfin, *for the specific areas at the extremes of the fishery*, the instantaneous rates of fishing mortality per unit of effort, referred to here as the catchability coefficients  $q$  were found to range from 0.066 to  $2.450 \times 10^{-3}$  per day. These are, as expected<sup>8</sup>, considerably higher than the catchability coefficient estimated by Schaefer (1957) for the *eastern tropical Pacific Ocean as a whole* ( $q = k_2 = 0.038 \times 10^{-3}$  per day). The instantaneous fishing mortality rates  $q\bar{f} = F$ , were found to be quite variable among years and areas during the 1955-1959 period (0.56 to 1.39 per year). For those yellowfin tagged in 1960, however, the calculated rates of fishing mortality were extremely high ( $> 3.13$  per year for those released on the local banks and 2.02 per year for those released off northern Peru).

Total mortality rates of tagged yellowfin,  $Z'$ , include attrition from sources other than fishing and natural mortality. These ranged from 1.83

<sup>8</sup> Combining the data from one or more sub-areas of the fishery does not necessarily change the fractional rate of recapture but, since the applicable effort in the combined area is the sum of that exerted in the sub-areas, the fractional rate of recapture *per unit of effort*,  $q$ , is lower than the average  $q$  for the sub-areas. Combinations such as these have no effect on either  $F$  or  $Z$ .

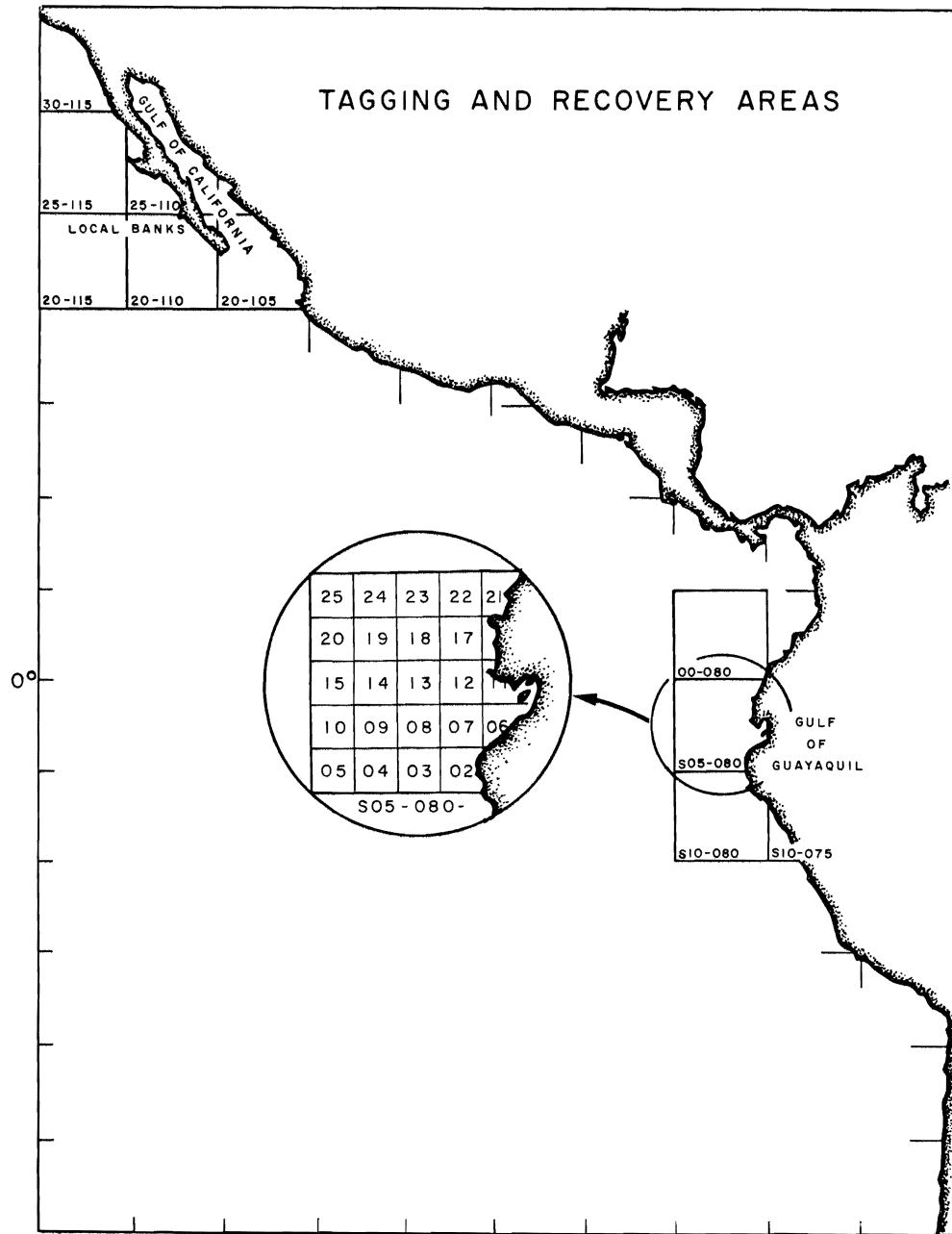
to 7.65 per year. Subtraction of the average additional loss rate,  $Q$ , from  $Z'$  gives estimates of total mortality rates,  $Z$ , which may be compared to those made from analyses of the regressions of year classes on age (Davidoff, *unpublished*). Although Davidoff's estimates are not yet firm, it appears that, for those areas and years where comparisons are possible, the total mortality rates computed by the two methods are quite similar.

The catchability coefficient computed for skipjack tagged on the local banks during 1957 ( $q = 0.600 \times 10^{-3}$  per day) is higher than any estimate for yellowfin computed from the 1955 to 1959 tagging. Estimates of  $q$  for skipjack from other individual years could not be made from the data available. An estimate was made, however, of a weighted average catchability coefficient of those skipjack tagged off northern Peru during 1955 to 1960 ( $q = 0.067 \times 10^{-3}$  per day). If this rate is compared with a similarly computed average estimate for yellowfin tagged in the same year and area ( $q = 0.190 \times 10^{-3}$  per day), it appears that yellowfin in this area may be more vulnerable (as defined by Ahlstrom, 1960) than skipjack while in the region of the fishery.

Total mortality rates,  $Z'$ , for both groups of skipjack (Tables 8k-l) were extremely high (6.98 per year for those tagged in 1957 off Baja California and 5.02 per year for those tagged during 1955 to 1960 off northern Peru). However, these rates include some loss resulting from emigration of the skipjack from the eastern tropical Pacific Ocean fishery. For example, skipjack tagged on the local banks have been recaptured as distant as Hawaii and Christmas Island (Inter-American Tropical Tuna Commission, 1964).

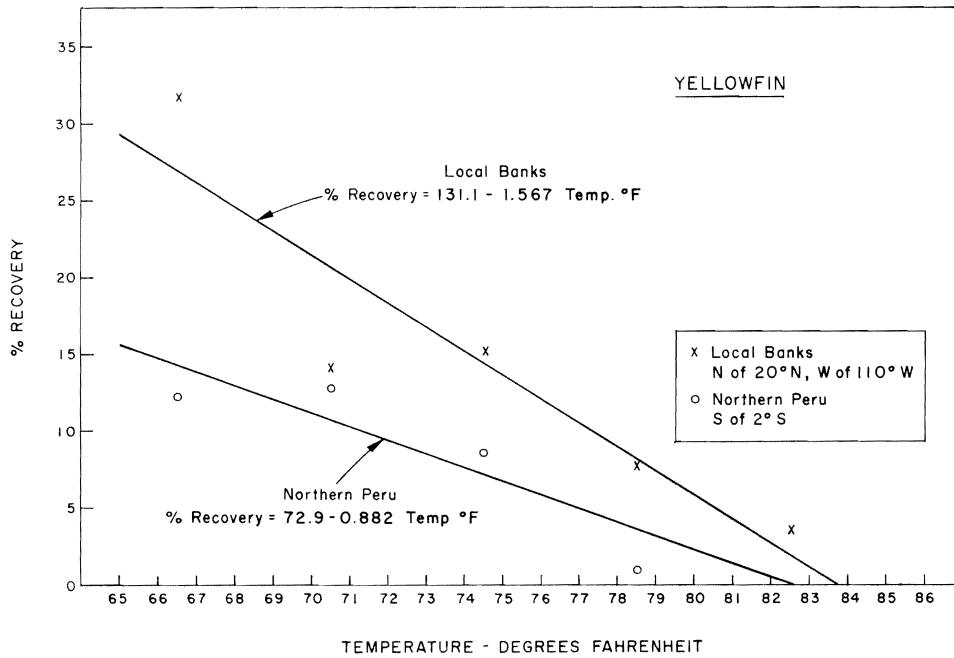
Confidence limits on the mortality rate estimates computed in this paper cannot be easily established. Gulland (1963) placed confidence limits of  $\pm 20$  per cent on his catchability coefficients but his data did not require the use of as many assumptions and corrections as do those for the tunas. The estimates of  $Z'$  are, because of the highly significant correlation coefficients, believed to be much more valid than those of fishing mortality, especially since the former are not subject to error from the inaccurate estimation of the number of effective releases.

Future tagging operations can be designed readily to provide estimates of all the various factors which affect the calculation of the mortality rates except  $K$ , the portion of the tagged fish which survive the initial effects of capture and tagging. Until this factor can be definitely determined or, until that time when tagging can be done with no initial mortality, it will be impossible to make accurate estimations of  $q$  and  $F$ . However, the Gulland-type analysis of tagging data, as applied here to tunas, does provide direct estimates of total mortality rates, estimates which are in general agreement with those resulting from other, less direct methods of analysis.



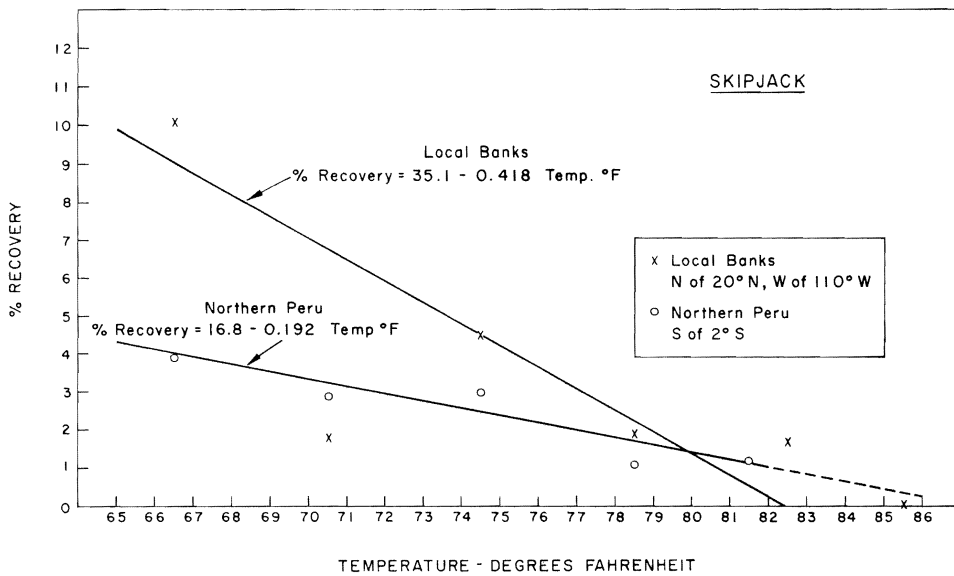
**FIGURE 1.** Tuna Commission tagging and recovery areas.

**FIGURA 1.** Areas de marcación y recobro de la Comisión del Atún.



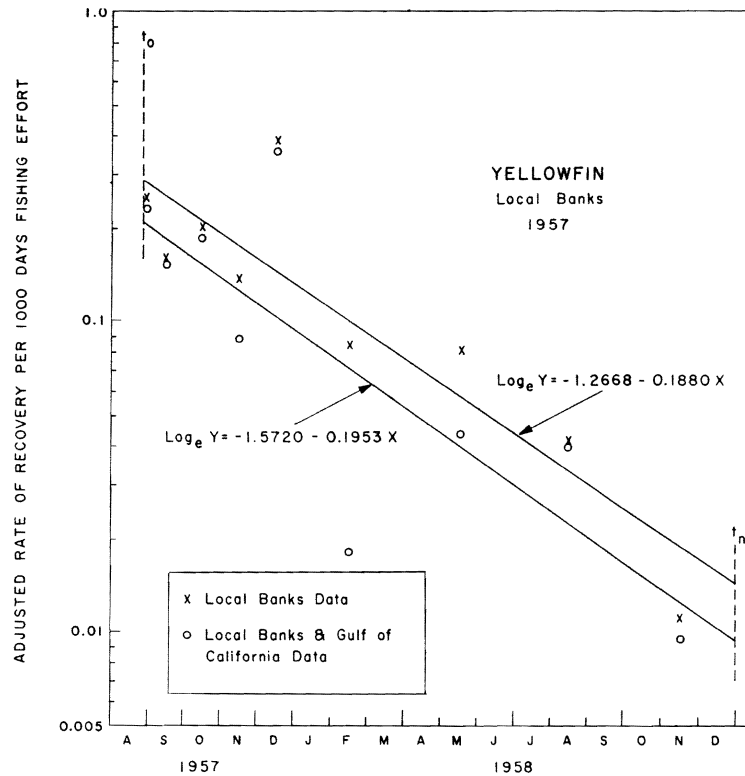
**FIGURE 2.** Relationships, by major areas of tagging, of yellowfin tuna recovery rates to water temperature at time of tagging.

**FIGURA 2.** Relación, por áreas mayores de marcación, de las tasas de recobro del atún aleta amarilla con la temperatura del agua en el momento de la marcación.



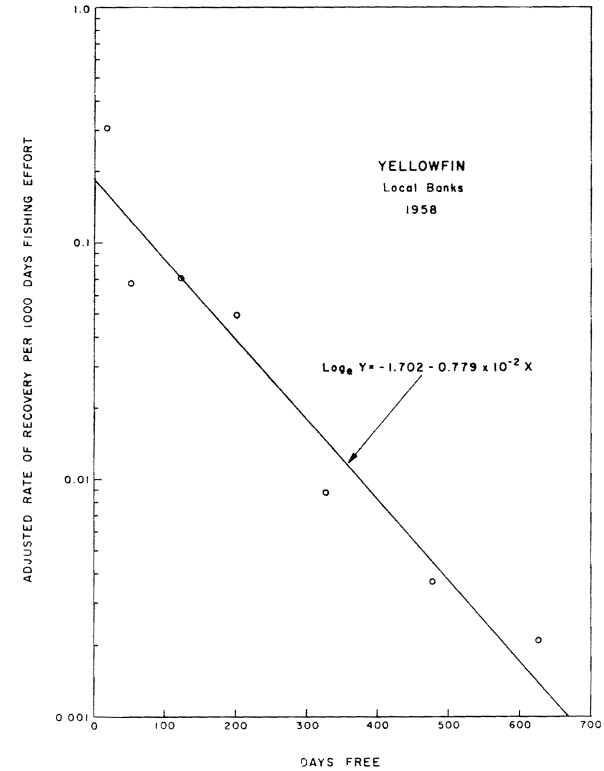
**FIGURE 3.** Relationships, by major areas of tagging, of skipjack tuna recovery rates to water temperature at time of tagging.

**FIGURA 3.** Relación, por áreas mayores de marcación, de las tasas de recobro del atún barrilete con la temperatura del agua en el momento de la marcación.



**FIGURE 4.** Relationships between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, local banks 1957. The lower line includes recovery and effort data from the Gulf of California; the upper line does not.

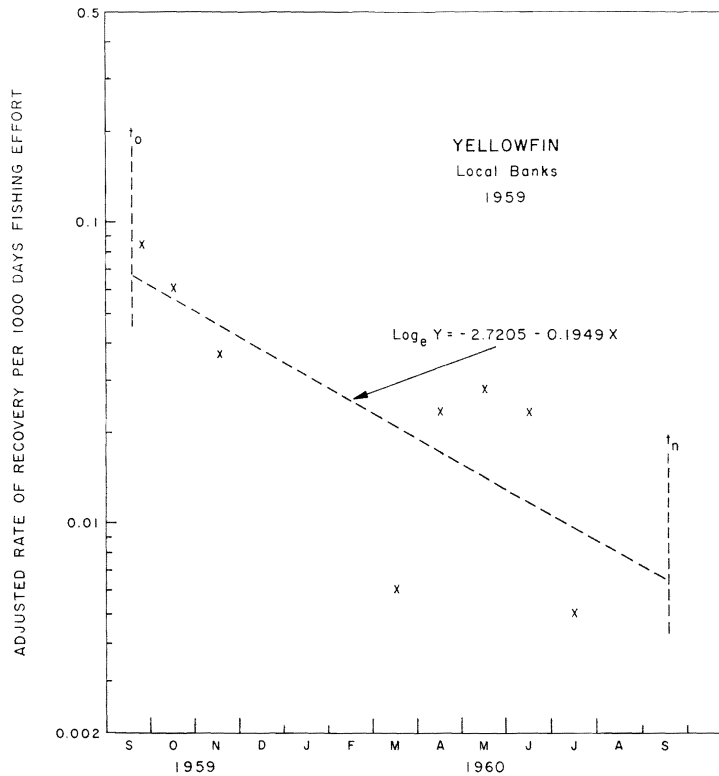
**FIGURA 4.** Relaciones entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, bancos locales, 1957. La línea inferior incluye los datos del recobro y del esfuerzo en el Golfo de California; la línea superior no los incluye.



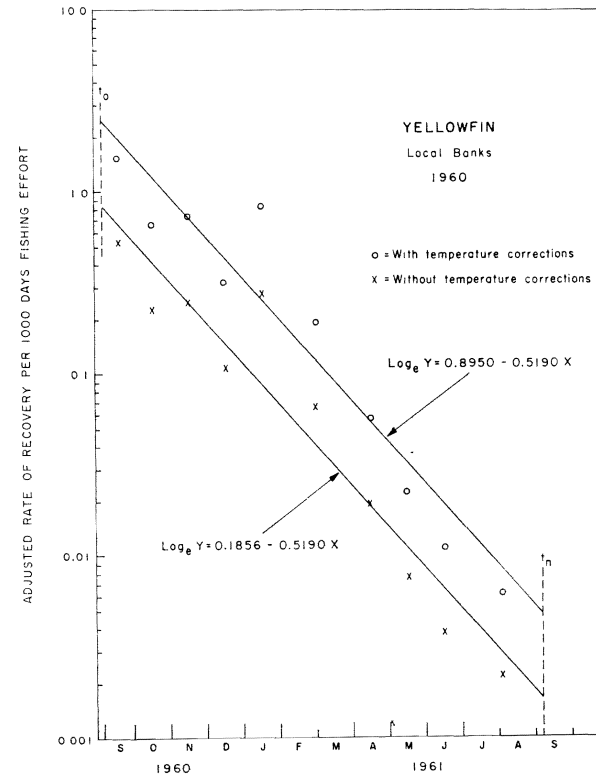
**FIGURE 5.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, local banks, 1958.

**FIGURA 5.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, bancos locales, 1958.

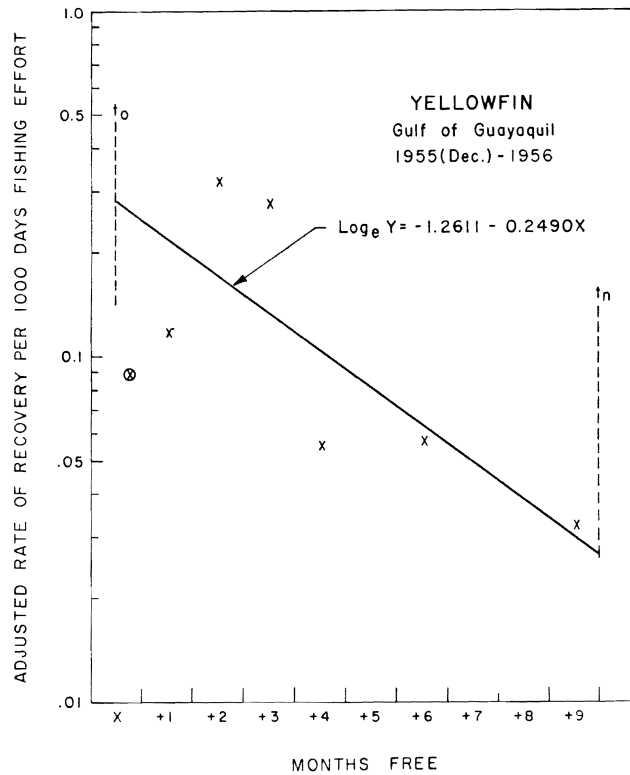




**FIGURE 6.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, local banks, 1959.  
**FIGURA 6.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, bancos locales, 1959.

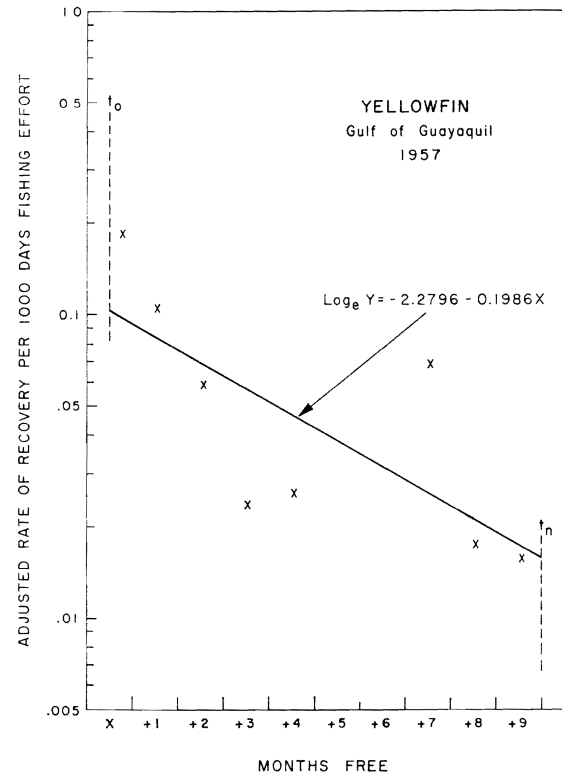


**FIGURE 7.** Relationships between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, local banks, 1960. The lower line does not take account of  $K$ ; the upper line does include this adjustment.  
**FIGURA 7.** Relaciones entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, bancos locales, 1960. La línea inferior no toma en cuenta a  $K$ ; la línea superior sí incluye este ajuste.



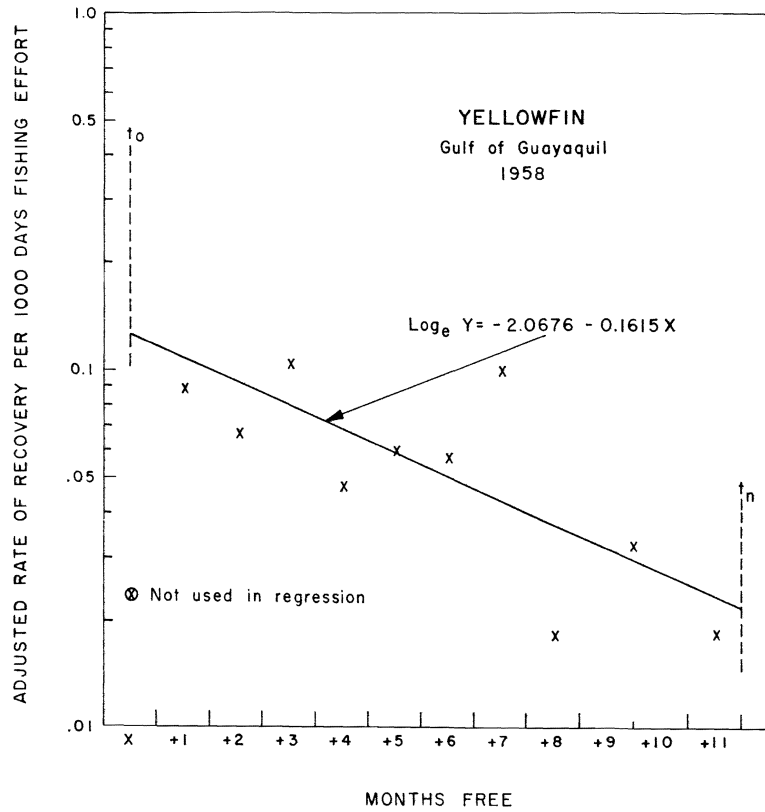
**FIGURE 8.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, December 1955-1956.

**FIGURA 8.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, diciembre 1955-1956.



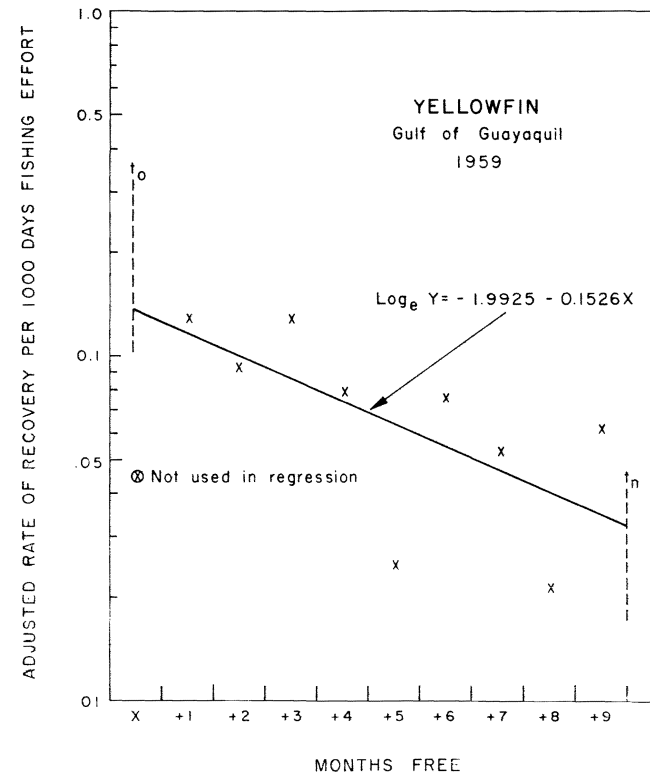
**FIGURE 9.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, 1957.

**FIGURA 9.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, 1957.



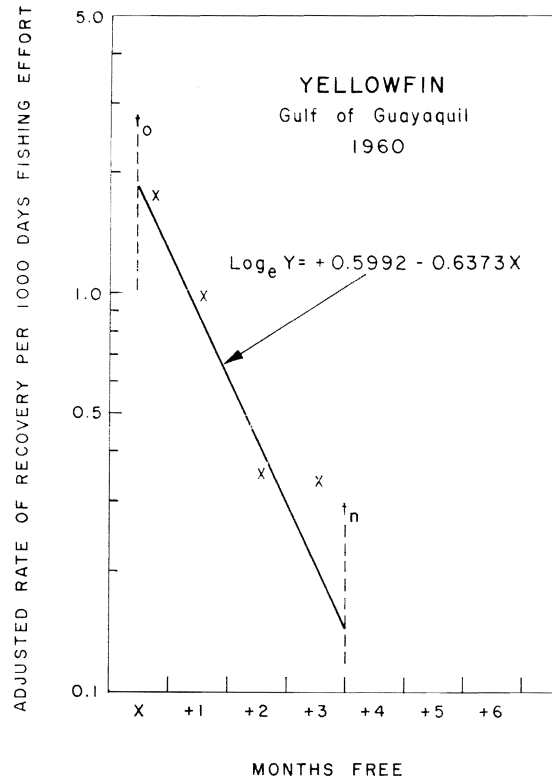
**FIGURE 10.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, 1958.

**FIGURA 10.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, 1958.



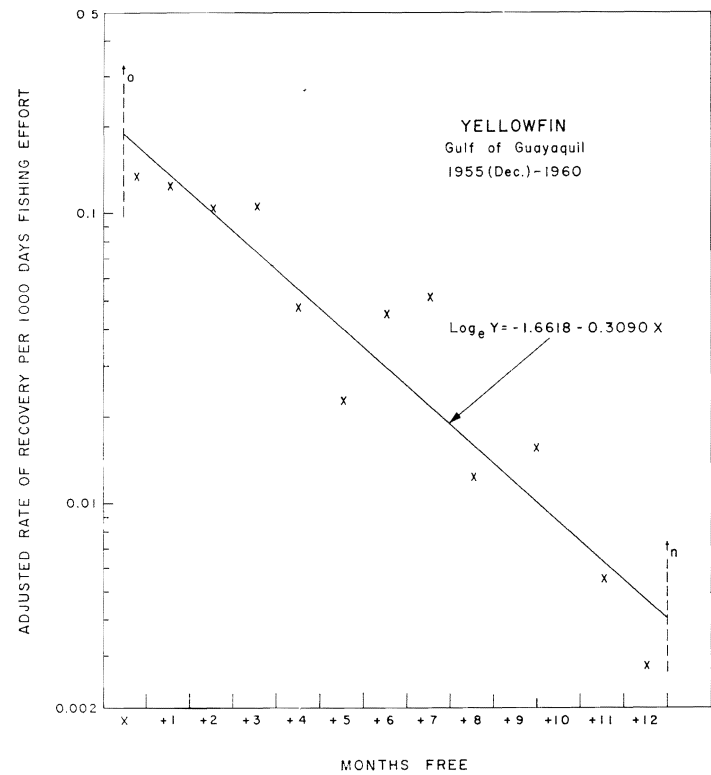
**FIGURE 11.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, 1959.

**FIGURA 11.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, 1959.



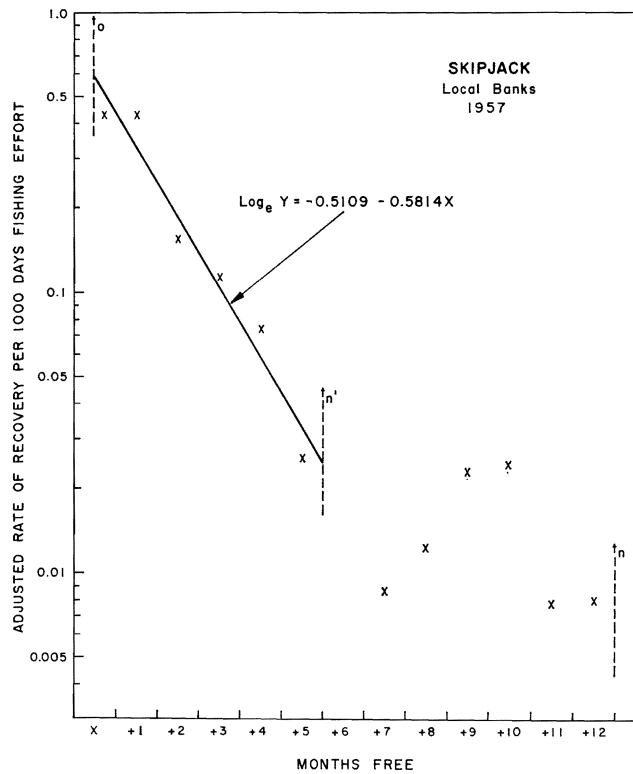
**FIGURE 12.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, 1960.

**FIGURA 12.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, 1960.



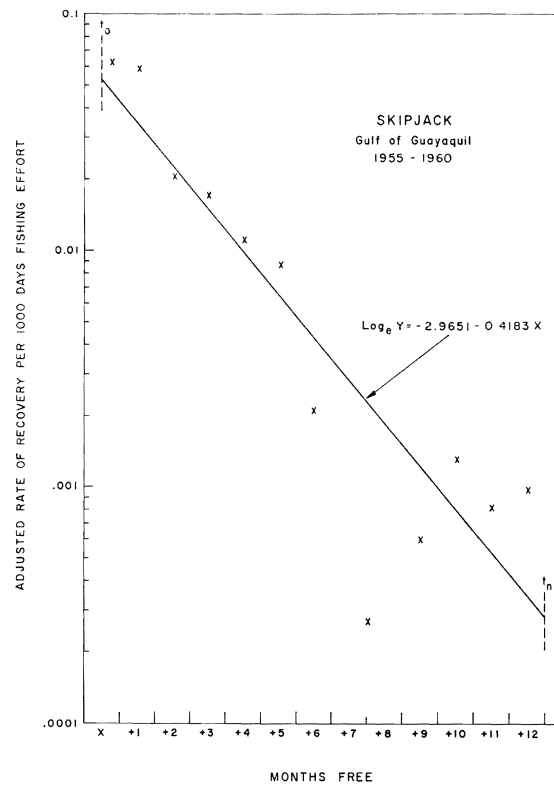
**FIGURE 13.** Average relationship between  $A_T$  and  $t$ , yellowfin tuna releases, Gulf of Guayaquil, December 1955-1960.

**FIGURA 13.** Relación promedio entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún aleta amarilla, Golfo de Guayaquil, diciembre 1955-1960.



**FIGURE 14.** Relationship between  $A_T$  and  $t$ , skipjack tuna releases, local banks, 1957.

**FIGURA 14.** Relación entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún barrilete, bancos locales, 1957.



**FIGURE 15.** Average relationship between  $A_T$  and  $t$ , skipjack tuna releases, Gulf of Guayaquil, December 1955-1960.

**FIGURA 15.** Relación promedio entre  $A_T$  y  $t$ , liberaciones de atún barrilete, Golfo de Guayaquil, diciembre 1955-1960.

**TABLE 1.** Recoveries of tagged yellowfin tuna from releases in the eastern tropical Pacific Ocean 1956-1958 and 1960 through June 1961, by 30 day intervals of liberty

**TABLA 1.** Recobros de atún aleta amarilla marcados, de aquellos liberados en el Océano Pacífico oriental tropical durante 1956-1958 y 1960 hasta junio de 1961, en intervalos de 30 días de libertad

Time Free Período en libertad	Tagging 1956 to 1958 Marcación de 1956 a 1958	Tagging 1960 to June 1961 Marcación de 1960 a junio de 1961
	Number Recovered Cantidad Recobrada	Number Recovered Cantidad Recobrada
1-30	171	287
31-60	78	134
61-90	74	121
91-120	59	90
121-150	29	87
151-180	34	155
181-210	47	82
211-240	30	54
241-270	15	29
271-300	34	76
301-330	6	68
331-360	11	64
361-390	6	11
391-420	3	4
421-450	3	0
451-480	4	0
481-510	0	0
511-540	2	0
541-570	0	0
571-600	1	0
601-630	2	1
631-660	1	1
661-690	0	0
691-720	1	0

**TABLE 2.** Analysis of recovery rates of yellowfin tuna released off Baja California 1958-1959, using recoveries through December 1962**TABLA 2.** Análisis de las tasas de recobro del atún aleta amarilla liberado frente a Baja California de 1958 a 1959, en el que se han usado los recobros hasta diciembre de 1962

Sea Temperature Temperatura del mar	Less than 500 mm. Menos de 500 mm.			500-599 mm. 500-599 mm.			600-699 mm. 600-699 mm.			700 and over 700 y más			Total Total		
	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %
65-68°F	24	1	4.2	18	4	22.2	72	30	41.7	27	10	37.0	141	45	31.9
69-72°F	73	2	2.7	211	22	10.4	36	3	8.3	5	4	80.0	325	31	9.5
73-76°F	233	10	4.3	426	35	8.2	159	26	16.4	56	6	10.7	874	77	8.8
77-80°F	647	12	1.8	548	22	4.0	138	9	6.5	12	2	16.7	1345	45	3.3
Total	977	25	2.6	1203	83	6.9	405	68	16.8	100	22	22.0	2685	198	7.4

**Analysis of variance of percentages of recovered tags, arc-sine transformation**  
**Análisis de la variancia de los porcentajes de las marcas recobradas, transformación arco seno**

Source of Variation Fuente de Variación	Degrees of Freedom Grados de Libertad	Sum of Squares Suma de los Cuadrados	Mean Square Cuadrado Medio	Variance Ratio Razón de la Variancia
Temp. at tagging Temp. a tiempo de la marcación	3	43030	14343	$F = \frac{14343}{821} = 17.47^{**}$
Length at tagging Longitud al marcar.	3	35218	11739	$F = \frac{11739}{821} = 14.30^{**}$
Interaction Interacción	9	19397	2155	$F = \frac{2155}{821} = 2.62^{**}$
Error	∞		821	

**TABLE 3.** Analysis of recovery rates of yellowfin tuna released off northern Peru 1955-June 1961, using recoveries through December 1962

**TABLA 3.** Análisis de las tasas de recobro del atún aleta amarilla liberado frente al norte del Perú de 1955 a junio de 1961, en el que se han usado los recobros hasta diciembre 1962

Sea Temperature Temperatura del mar	Less than 500 mm. Menos de 500 mm.			500-599 mm. 500-599 mm.			600-699 mm. 600-699 mm.			700 and over 700 y más			Total Total		
	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.
	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.
65-68°F	5	0	0.0	29	3	10.3	38	2	5.3	15	1	6.7	87	6	6.9
69-72°F	118	10	8.5	462	77	16.7	441	91	20.6	22	1	4.5	1043	179	17.2
73-76°F	282	20	7.1	890	87	7.8	188	17	9.0	49	1	2.0	1409	125	8.9
77-80°F	74	1	1.4	198	1	0.5	9	2	22.2	1	0	0.0	282	4	1.4
Total	479	31	6.5	1579	168	10.6	676	112	16.6	87	3	3.4	2821	314	11.1

**Analysis of variance of percentages of recovered tags, arc-sine transformation**  
**Análisis de la variancia de los porcentajes de las marcas recobradas, transformación arco seno**

Source of Variation Fuente de Variación	Degrees of Freedom Grados de Libertad	Sum of Squares Suma de los Cuadrados	Mean Square Cuadrado Medio	Variance Ratio Razón de la Variancia
Temperature at tagging Temp. a tiempo de la marcación	3	69339	23113	$F = \frac{23113}{821} = 28.15^{**}$
Length at tagging Longitud al marcar.	3	11661	3887	$F = \frac{3887}{821} = 4.73^{**}$
Interaction Interacción	9	11558	1284	$F = \frac{1284}{821} = 1.56$
Error	∞		821	



**TABLE 4.** Analysis of recovery rates of skipjack tuna released off Baja California 1955-1959 and January through June 1961, using recoveries through December 1962

**TABLA 4.** Análisis de las tasas de recobro del barrilete liberado frente a Baja California de 1955 a 1959 y de enero a junio de 1961, en el que se han usado los recobros hasta diciembre de 1962

Sea Temperature Temperatura del mar	Less than 500 mm. Menos de 500 mm.			500-599 mm. 500-599 mm.			600 and Over 600 y Más			Total Total		
	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %	Tagged Marcación	Recovered Recobro	% Rec. %
65-68°F	14	0	0.0	81	8	9.9	80	10	12.5	175	18	10.3
69-72°F	174	3	1.7	1199	7	0.6	40	2	5.0	1413	12	0.8
73-76°F	343	4	1.2	886	17	1.9	95	4	4.2	1324	25	1.9
77-80°F	139	0	0.0	72	2	2.8	1	0	0.0	212	2	0.9
Total	670	7	1.0	2238	34	1.5	216	16	7.4	3124	57	1.8

**Analysis of variance of percentages of recovered tags, arc-sine transformation**  
**Análisis de la variancia de los porcentajes de las marcas recobradas, transformación arco seno**

Source of Variation Fuente de Variación	Degrees of Freedom Grados de Libertad	Sum of Squares Suma de los Cuadrados	Mean Square Cuadrado Medio	Variance Ratio Razón de la Variancia
Temperature at tagging Temp. a tiempo de la marcación	3	17334	5778	$F = \frac{5778}{821} = 7.04^{**}$
Length at tagging Longitud al marcar.	2	4681	2341	$F = \frac{2341}{821} = 2.85$
Interaction Interacción	6	5997	1000	$F = \frac{1000}{821} = 1.22$
Error	∞		821	

**TABLE 5.** Analysis of recovery rates of skipjack tuna released off northern Peru 1955-1959 and January through June 1961, using recoveries through December 1962

**TABLA 5.** Análisis de las tasas de recobro del barrilete liberado frente al norte del Perú de 1955 a 1959 y de enero a junio de 1961, en el que se han usado los recobros hasta diciembre de 1962

Sea Temperature Temperatura del mar	Less than 500 mm. Menos de 500 mm.			500-599 mm. 500-599 mm.			600 and Over 600 y Más			Total Total		
	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.	Tagged	Recovered	% Rec.
	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.	Marcación	Recobro	% Rec.
65-68°F	21	0	0.0	54	1	1.8	7	1	14.3	82	2	2.4
69-72°F	389	10	2.6	891	19	2.1	58	0	0.0	1338	29	2.2
73-76°F	479	5	1.0	1409	23	1.6	128	0	0.0	2016	28	1.4
77-80°F	99	0	0.0	1204	6	0.5	218	6	2.8	1521	12	0.8
Total	988	15	1.5	3558	49	1.4	411	7	1.7	4957	71	1.4

**Analysis of variance of percentages of recovered tags, arc-sine transformation**  
**Análisis de la variancia de los porcentajes de las marcas recobradas, transformación arco seno**

Source of Variation Fuente de Variación	Degrees of Freedom Grados de Libertad	Sum of Squares Suma de los Cuadrados	Mean Square Cuadrado Medio	Variance Ratio Razón de la Variancia
Temperature at tagging Temp. a tiempo de la marcación	3	10127	3376	$F = \frac{3376}{821} = 4.11^{**}$
Length at tagging Longitud al marcar.	2	493	247	$F = \frac{247}{821} = 0.30$
Interaction Interacción	6	20804	3467	$F = \frac{3467}{821} = 4.22^{**}$
Error	∞		821	

**TABLE 6.** Yellowfin and skipjack tuna tagged through June 1961, and subsequent recoveries through 1962, by major area and sea temperature at time of tagging

**TABLA 6.** Atunes aleta amarilla y barriletes marcados hasta junio de 1961 y recobros subsiguientes hasta 1962, con indicación de las áreas principales y la temperatura del mar en el momento de la marcación

<b>YELLOWFIN — Local Banks</b> <b>ATUN ALETA AMARILLA — Bancos Locales</b>				<b>YELLOWFIN — Northern Peru</b> <b>ATUN ALETA AMARILLA — Al Norte del Perú</b>			
<b>Temperature</b> <b>Temperatura</b>	<b>Tagged</b> <b>Marcación</b>	<b>Recovered</b> <b>Recobros</b>	<b>% Recovered</b> <b>% Recobros</b>	<b>Temperature</b> <b>Temperatura</b>	<b>Tagged</b> <b>Marcación</b>	<b>Recovered</b> <b>Recobros</b>	<b>% Recovered</b> <b>% Recobros</b>
65-68°F	141	45	31.9	65-68°F	121	15	12.4
69-72°F	528	74	14.0	69-72°F	1897	241	12.7
73-76°F	1322	201	15.2	73-76°F	2361	202	8.6
77-80°F	2496	193	7.7	77-80°F	506	10	2.0
81-84°F	169	6	3.6				
Total	4656	519	11.1	Total	4885	468	9.6

<b>SKIPJACK — Local Banks</b> <b>BARRILETE — Bancos Locales</b>				<b>SKIPJACK — Northern Peru</b> <b>BARRILETE — Al Norte del Perú</b>			
<b>Temperature</b> <b>Temperatura</b>	<b>Tagged</b> <b>Marcación</b>	<b>Recovered</b> <b>Recobros</b>	<b>% Recovered</b> <b>% Recobros</b>	<b>Temperature</b> <b>Temperatura</b>	<b>Tagged</b> <b>Marcación</b>	<b>Recovered</b> <b>Recobros</b>	<b>% Recovered</b> <b>% Recobros</b>
65-68°F	178	18	10.1	65-68°F	1621	63	3.9
69-72°F	1664	30	1.8	69-72°F	9484	275	2.9
73-76°F	2488	113	4.5	73-76°F	14201	419	3.0
77-80°F	8692	168	1.9	77-80°F	2592	29	1.1
81-84°F	644	11	1.7	81-82°F	85	1	1.2
85-86°F	14	0	0.0				
Total	13680	340	2.5	Total	27983	787	2.8

**TABLE 7.** Correction factors, *K*, for estimating the effective number of releases, by species, area, and sea temperature at time of tagging

**TABLA 7.** Factores de corrección, *K*, para estimar la cantidad efectiva de liberaciones, por especies y áreas, con indicación de la temperatura del mar en el momento de la marcación.

Temperature °F Temperatura °F	< 67	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	>83
<b>Yellowfin — Atún aleta amarilla</b>																			
Local Banks Bancos Locales	.85	.80	.75	.71	.66	.61	.56	.51	.46	.42	.37	.32	.27	.22	.17	.13	.08	.03	.01
Northern Peru Al Norte del Perú	.85	.80	.74	.69	.64	.60	.54	.49	.44	.39	.34	.28	.24	.18	.13	.08	.03	.01	.01
<b>Skipjack — Barrilete</b>																			
Local Banks Bancos Locales	.85	.80	.76	.71	.67	.62	.57	.52	.48	.43	.38	.33	.28	.24	.20	.14	.10	.05	.01
Northern Peru Al Norte del Perú	.85	.81	.77	.72	.68	.64	.60	.56	.54	.50	.46	.41	.37	.33	.29	.25	.21	.16	.12

**TABLE 8.** Time and area of tagging and recapture of yellowfin and skipjack tuna, number estimated to have initially survived, number recovered and estimated portion of recaptures recovered, calculated fishing effort and adjusted rate of recovery per thousand days effort. Also included are mortality rate estimates made from these data

**TABLA 8.** Tiempo y área de marcación y recaptura de los atunes aleta amarilla y barrilete, cantidad marcada y estimación de la cantidad inicial de sobrevivientes, número de recobros y estimación de la porción de recapturas recobradas, esfuerzo de pesca calculado y tasa ajustada de recobros por mil días de esfuerzo. Se incluye también la estimación de la tasa de mortalidad calculada de estos datos

**TABLE 8a.** Yellowfin tagged on local banks during 1957.

**TABLA 8a.** Atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1957

	1957					1958											
	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
<i>r</i>	1.1	4.3	5.4	5.4	13.9	3	0	0	0	1	14	2	5	0	0	1	0
<i>c</i>	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67
<i>f</i>	54	333	329	469	430	165	96	159	183	746	1040	962	747	32	112	512	270
<i>A</i>	0.252	0.161	0.200	0.138	0.383	←0.083→			←0.081→			←0.042→			←0.011→		
Areas of tagging — Areas de marcación: 20-110, 25-110											$b = -0.188$ per month						
Areas of recapture — Areas de recaptura: 20-110, 25-110											$Z' = 2.26$ $r = -0.92^{**}$ d.f. = 7						
Period of tagging — Periodo de marcación: 1 Aug. to 21 Sept.											$Z = (1.20)$						
$T_o = 579$ $T_E = 154$											$q = 0.282 \times 10^{-3}$						
$t_o = 29$ Aug. 1957 $t_n = 31$ Dec. 1958											$\bar{f} = 6640$						
											$F = 1.39$						

**TABLE 8b.** Yellowfin tagged on local banks during 1958

**TABLA 8b.** Atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1958

	Days after time of release — Días después del período de liberación																	
	1-10	11-20	21-30	31-60	61-90	91-120	121-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	501-550	551-600	601-650	651-700
<i>r</i>	60	14	19	11	2	16	7	7	1	0	4	4	1	3	0	0	1	1
<i>c</i>	0.61	0.61	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82
<i>f</i>	324	196	124	230	171	374	271	205	114	397	449	645	834	769	221	411	381	640
<i>A</i>	←0.304→		←0.067→		←0.071→		←0.042→		←0.010→			←0.004→			←0.002→			
Areas of tagging: 20-110, 25-110											$b = -0.768 \times 10^{-2}$ per day							
Areas of recapture: 20-110, 25-110											$b = -0.231$ per month							
Period of tagging: 26 May to 24 Aug.											$Z' = 2.81$ $r = -0.97^{**}$ d.f. = 5							
$T_o = 2289$ $T_E = 778$											$Z = 1.75$							
$t_o = \text{day } 1$ $t_n = \text{day } 700$											$q = 0.182 \times 10^{-3}$							
											$\bar{f} = 6756$							
											$F = 0.64$							

**TABLE 8c.** Yellowfin tagged on local banks during 1959**TABLA 8c.** Atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1959

	1959				1960								
	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.
<i>r</i>	5	13	8	0	0	0	3	8	5	5	2	0	0
<i>c</i>	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
<i>f</i>	234	826	838	258	182	301	1818	1218	629	741	1398	494	265
<i>A</i>	0.084	0.061	0.037	.....	.....	.....	0.006	0.024	0.028	0.024	0.005	.....	.....
Areas of tagging: 20-115, 25-110, 25-115					<i>b</i> = -0.195 per month								
Areas of recapture: 20-110, 25-110, 20-115, 25-115, 20-105					<i>Z'</i> = 2.34 <i>r</i> = -0.74*    d.f. = 6								
Period of tagging: 16 Aug. to 21 Oct.					<i>Z</i> = 1.28								
<i>T</i> <sub>o</sub> = 628 <i>T</i> <sub>E</sub> = 334					<i>g</i> = 0.066 × 10 <sup>-3</sup>								
<i>t</i> <sub>o</sub> = 20 Sept. 1959					<i>f</i> = 9203								
<i>t</i> <sub>n</sub> = 19 Sept. 1960					<i>F</i> = 0.61								

**TABLE 8d.** Yellowfin tagged on local banks during 1960**TABLA 8d.** Atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1960

	1960				1961								
	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.
<i>r</i>	65	15	38	3	8	0	1	3	1	1	1	0	0
<i>c</i>	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
<i>f</i>	360	186	430	77	88	36	6	404	332	674	748	335	96
<i>A</i>	1.532	0.674	0.732	0.320	0.831	←-0.195→		0.057	0.022	0.011	←-0.006→		
Areas of tagging: 25-110, 25-115					<i>b</i> = -0.519 per month								
Areas of recapture: 20-110, 20-115, 25-110, 25-115					<i>Z'</i> = 6.23 <i>r</i> = -0.95**    d.f. = 8								
Period of tagging: 10 Aug. to 16 Sept.					<i>Z</i> = 5.17								
<i>T</i> <sub>o</sub> = 393 <i>T</i> <sub>E</sub> = (134)					<i>g</i> = 0.245 × 10 <sup>-2</sup>								
<i>t</i> <sub>o</sub> = 6 Sept. 1960					<i>f</i> = 3772								
<i>t</i> <sub>n</sub> = 5 Sept. 1961					<i>F</i> = (9.24) <sup>1</sup>								

**TABLE 8e.** Yellowfin tagged off northern Peru<sup>2</sup> during 1956**TABLA 8e.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú<sup>2</sup> durante 1956

		30 day periods after time of release — Períodos de 30 días después del tiempo de liberación										
		X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	
<i>r</i>		5	11	17	10	2	1	2	0	0	1	
<i>c</i>		← 0.50 →										
<i>f</i>		299	492	285	194	194	71	188	105	140	165	
<i>A</i>		0.090	0.120	0.320	0.276	0.055	0.076	0.057	.....	.....	0.032	
		Areas of tagging: S05-080 (02-15)						<i>b</i> = -0.249 per month				
		Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080						<i>Z'</i> = 2.99		<i>r</i> = -0.78*		d.f. = 5
		Period of tagging: Dec. 1955 to Dec. 1956						<i>Z</i> = 1.93				
		<i>T<sub>o</sub></i> = 675						<i>q</i> = 0.283 × 10 <sup>-3</sup>				
		<i>T<sub>E</sub></i> = 373						<i>f</i> = 2133				
								<i>F</i> = 0.76				

**TABLE 8f.** Yellowfin tagged off northern Peru<sup>3</sup> during 1957**TABLA 8f.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú<sup>3</sup> durante 1957

		30 day periods after time of release — Períodos de 30 días después del tiempo de liberación												
		X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11	X+12
<i>r</i>		7	3	2	1	2	0	0	4	1	1	0	0	1
<i>c</i>		← 0.50 →												
<i>f</i>		300	228	270	335	624	828	330	459	459	502			
<i>A</i>		0.186	0.105	0.059	0.024	0.026	.....	.....	0.069	0.017	0.016			
		Areas of tagging: S05-080 (02-15)						<i>b</i> = -0.199 per month						
		Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080						<i>Z'</i> = 2.38		<i>r</i> = -0.73*		d.f. = 6		
		Periods of tagging: Jan. 1957 to Dec. 1957						<i>Z</i> = 1.32						
		<i>T<sub>o</sub></i> = 506						<i>q</i> = 0.102 × 10 <sup>-3</sup>						
		<i>T<sub>E</sub></i> = 251						<i>f</i> = 4335						
								<i>F</i> = 0.56						

**TABLE 8g.** Yellowfin tagged off northern Peru<sup>2</sup> during 1958**TABLA 8g.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú<sup>2</sup> durante 1958

30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación												
	X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11
<i>r</i>	1	9	6	9	5	5	4	6	1	4	0	1
<i>c</i>	← 0.61 →											
<i>f</i>	269	654	576	546	690	538	452	386	349	379	410	344
<i>A</i>	0.024	0.089	0.067	0.106	0.047	0.060	0.057	0.100	0.018	← 0.033 →		0.019
Areas of tagging: S05-080 (02-15)						<i>b</i> = -0.162 per month						
Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080						<i>Z'</i> = 1.94 <i>r</i> = -0.78**    d.f. = 8						
Period of tagging: April 1958 to Dec. 1958						<i>Z</i> = 0.88						
<i>T</i> <sub>o</sub> = 563						<i>q</i> = 0.126 × 10 <sup>-3</sup>						
<i>T</i> <sub>E</sub> = 253						<i>f</i> = 5323						
						<i>F</i> = 0.70						

**TABLE 8h.** Yellowfin tagged off northern Peru<sup>2</sup> during 1959**TABLA 8h.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú<sup>2</sup> durante 1959

30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación												
	X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11
<i>r</i>	2	17	12	16	13	4	8	3	1			4
<i>c</i>	← 0.73 →											
<i>f</i>	175	516	509	485	639	632	416	219	182			255
<i>A</i>	0.045	0.130	0.093	0.130	0.080	0.025	0.076	0.054	0.022			0.062
Areas of tagging: S05-080 (02-15)						<i>b</i> = -0.152 per month						
Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080						<i>Z'</i> = 1.83 <i>r</i> = -0.65    d.f. = 7						
Period of tagging: July 1959 to Dec. 1959						<i>Z</i> = 0.77						
<i>T</i> <sub>o</sub> = 676						<i>q</i> = 0.136 × 10 <sup>-3</sup>						
<i>T</i> <sub>E</sub> = 348						<i>f</i> = 3853						
						<i>F</i> = 0.66						



**TABLE 8i.** Yellowfin tagged off northern Peru during 1960**TABLA 8i.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú durante 1960**30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación**

	<b>X</b>	<b>X+1</b>	<b>X+2</b>	<b>X+3</b>
<i>r</i>	18	6	2	2
<i>c</i>	← 0.86 →			
<i>f</i>	87	139	48	50
<i>A</i>	1.756	0.977	0.353	0.339

Areas of tagging: S05-080 (02-15)

Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080

Period of tagging: May 1960 to Oct. 1960

 $T_0 = 263$  $T_E = 137$  $b = -0.637$  per month $Z' = 7.65$   $r = -0.86$  d.f. = 2 $Z = 6.59$  $q = 0.182 \times 10^{-2}$  $\bar{f} = 324$  $F = 2.02$ **TABLE 8j.** Yellowfin tagged off northern Peru during 1955 to 1960 inclusive**TABLA 8j.** Atún aleta amarilla marcado frente al norte del Perú de 1955 a 1960 inclusive**30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación**

	<b>X</b>	<b>X+1</b>	<b>X+2</b>	<b>X+3</b>	<b>X+4</b>	<b>X+5</b>	<b>X+6</b>	<b>X+7</b>	<b>X+8</b>	<b>X+9</b>	<b>X+10</b>	<b>X+11</b>	<b>X+12</b>
<i>r</i>	33	56	39	38	22	10	14	13	3	10	0	2	1
<i>c</i>	← 0.75 →												
<i>f</i>	241	443	370	345	461	437	306	245	241	290	344	357	343
<i>A</i>	0.134	0.124	0.103	0.108	0.047	0.022	0.045	0.052	0.012	0.015	0.006	0.003	

Areas of tagging: S05-080 (02-15)

Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080

Period of tagging: Dec. 1955 to Oct. 1960

 $T_0 = 2683$  $T_E = 1362$  $b = -0.309$  per month $Z' = 3.71$   $r = -0.94^{**}$  d.f. = 10 $Z = 2.65$  $q = 0.190 \times 10^{-3}$  $\bar{f} = 4423$  $F = 0.80$

**TABLE 8k.** Skipjack tagged on local banks<sup>3 4</sup> during 1957  
**TABLA 8k.** Barrilete marcado en los bancos<sup>3 4</sup> locales durante 1957

30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación													
	X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11	X+12
<i>r</i>	10.6	45.1	15.5	9.2	5.1	1.2	0	1.2	2.3	5.8	6.5	1.0	1.0
<i>c</i>	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64
<i>f</i>	98	406	383	306	251	162	142	473	642	862	883	464	407
<i>A</i>	0.432	0.436	0.156	0.113	0.075	0.026	.....	0.009	0.012	0.023	0.025	0.008	0.008
Areas of tagging: 20-110, 25-110								<i>b</i> = -0.581 per month					
Areas of recapture: 20-110, 25-110								<i>Z'</i> = 6.98 <i>r</i> = -0.98**      d.f. = 4					
Period of tagging: 1 Aug. to 1 Dec.								<i>Z</i> = 5.92					
<i>T</i> <sub>o</sub> = 1447								<i>q</i> = 0.600 × 10 <sup>-3</sup>					
<i>T</i> <sub>E</sub> = 480								<i>f</i> = 1606					
								<i>F</i> = 2.10					

**TABLE 8l.** Skipjack tagged off northern Peru<sup>5</sup> during 1955 to 1960 inclusive  
**TABLA 8l.** Barrilete marcado frente al norte del Perú<sup>5</sup> de 1955 a 1960 inclusive

30 day periods after time of release — Periodos de 30 días después del tiempo de liberación													
	X	X+1	X+2	X+3	X+4	X+5	X+6	X+7	X+8	X+9	X+10	X+11	X+12
<i>r</i>	93	155	53	43	34	24	5	1	0	2	3	2	2
<i>c</i>							0.75						
<i>f</i>	223	389	381	370	448	410	351	231	324	491	350	366	308
<i>A</i>	0.084	0.080	0.028	0.023	0.015	0.012	0.003	← 0.000 →		0.001	0.002	0.001	0.001
Areas of tagging: S5-080 (02-15)								<i>b</i> = -0.418 per month					
Areas of recapture: 00-080, S05-080, S10-075, S10-080								<i>Z'</i> = 5.02 <i>r</i> = -0.90**      d.f. = 10					
Period of tagging: Dec. 1955 to Dec. 1960								<i>Z</i> = 3.96					
<i>T</i> <sub>o</sub> = 12225								<i>q</i> = 0.067 × 10 <sup>-3</sup>					
<i>T</i> <sub>E</sub> = 6650								<i>f</i> = 4642					
								<i>F</i> = 0.31					

<sup>1</sup> As *T*<sub>E</sub> is smaller than the sum of the recoveries, *T*<sub>E</sub> and *F* are necessarily too large (see text).

<sup>1</sup> Como *T*<sub>E</sub> es más pequeña que la suma de los recobros, *T*<sub>E</sub> y *F* son necesariamente muy grandes (véase el texto).

<sup>2</sup> First point not used in computations (see text).

<sup>2</sup> El primer punto no se usó en los cálculos (véase el texto).      <sup>3</sup> Data shown for periods X+ 10 to X+12 inclusive were not used in computations (see text).

<sup>3</sup> Los datos que se muestran para los períodos X+10 hasta X+12 inclusive no fueron usados en los cálculos (véase el texto).

<sup>4</sup> Data shown for periods X+6 to X+12 inclusive were not used in computations (see text).

<sup>4</sup> Los datos que se muestran para los períodos X+6 hasta X+12 inclusive, no fueron usados en los cálculos (véase el texto).

<sup>5</sup> *Z'* includes emigration (see text).

<sup>5</sup> *Z'* incluye la emigración (véase el texto).

**TABLE 9.** Number of yellowfin tuna released ( $T_o$ ) and estimated initial survivors ( $T_E$ ), by day of tagging and sea temperature at time of tagging, local banks, 1957.  $T_o$  corrected to  $T_E$  from values given in Table 7.

**TABLA 9.** Cantidad de atún aleta amarilla liberado ( $T_o$ ) y estimación de la cantidad inicial de sobrevivientes ( $T_E$ ), por día de marca- ción, con indicación de la temperatura marina, al marcar, en los bancos locales durante 1957. Los valores de  $T_E$  han sido obtenidos de los de  $T_o$ , con el empleo de los factores de corrección que aparecen en la Table 7

SEA TEMPERATURE — TEMPERATURA DEL MAR													Cumulative Acumulativo								
Date of Tagging Fecha de Marcación	71°F		72°F		75°F		76°F		77°F		78°F		79°F		80°F		81°F		$\Sigma T_o$	$\Sigma T_E$	
	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$	$T_o$	$T_E$			
Aug. 1			7	3.92															7	3.92	
2							2	0.64											9	4.56	
3							17	5.44											26	10.00	
4											6	1.62							32	11.62	
10											21	5.67							53	17.29	
11							27	8.64											80	25.93	
12													12	2.64					92	28.57	
13													30	6.60					122	35.17	
19							40	12.80											162	47.97	
21							6	1.92											168	49.89	
22											1	0.27							169	50.16	
23						11	4.07												180	54.23	
25																39	5.07		219	59.30	
26													29	6.38					248	65.68	
27															55	9.35			303	75.03	
29													72	15.84					375	90.87	
30													20	4.40					395	95.27	
31															9	1.53			404	96.80	
Sept. 1																		13	1.69	417	98.49
3																		8	1.04	425	99.53
4																		28	3.64	453	103.17
5					3	1.26					19	5.13							475	109.56	
6																	4	0.52	479	110.08	
7									25	8.00									504	118.08	
8							6	2.22											510	120.30	
9			5	2.80															515	123.10	
10							21	7.77											536	130.87	
11							13	4.81											549	135.68	
12					2	0.84													551	136.52	
20	5	3.05																	556	139.57	
21	23	14.03																	579	153.60	
Totals	28	17.08	12	6.70	5	2.10	51	18.87	117	37.44	47	12.69	163	35.86	64	10.88	92	11.96	579	153.60	

ESTIMATIONS OF MORTALITY RATES

**TABLE 10.** Tagging and recovery of yellowfin tuna by year, area, vessel and tag type, 1955 to 1960

**TABLA 10.** Marcación y recobros de atunes aleta amarilla por año, área, barco y clase de marca de 1955 a 1960

	Dec. 1955 to 1956		1957		1958		1959		1960	
	Tagged Marcado	Recovered Recobrado	Tagged Marcado	Recovered Recobrado	Tagged Marcado	Recovered Recobrado	Tagged Marcado	Recovered Recobrado	Tagged Marcado	Recovered Recobrado
<b>Local Banks — Baitboats</b>										
<b>Bancos locales — Clípers</b>										
Yellow loop tags			275	28(1)						
Clamped					2052	143	628	49(2)		
Stapled			303	31(2)						
Knotted			1	0						
Yellow dart tags					237	8			293	136(11)
<b>Northern Peru — Baitboats</b>										
<b>Al Norte del Perú — Clípers</b>										
White loop tags										
Clamped	614	48	16	6(1)						
Clamped and knotted	59	4								
Knotted	2	0								
Yellow loop tags					93	4				
Clamped			479	12(6)	453	45(1)	676	80(4)	165	23(3)
Stapled									48	4
Yellow dart tags										
<b>Northern Peru — Purse-seiners</b>										
<b>Al Norte del Perú — Rederos</b>										
White loop tags										
Stapled			11	1(1)						
Yellow loop tags'										
Clamped					17	2			50	11
Stapled										

Numbers in parentheses recaptured either prior to  $t_0$ , after  $t_0$ , or outside the recovery areas described in Tables 8a-1.

Las cantidades entre paréntesis fueron recapturadas ya sea con anterioridad a  $t_0$ , después de  $t_0$ , o fuera de las áreas de recobro descritas en la Tablas 8a-1.

(Yellow loop tags = marcas amarillas de lazo, white loop tags = marcas blancas de lazo, yellow dart tags = marcas amarillas de dardo, clamped = anilladas, stapled = engrapadas, knotted = anudadas)

**TABLE 11.** Tagging and recovery of skipjack by year(s), area, vessel and tag type**TABLA 11.** Marcación y recobros de barrilete por año(s), área, barco y clase de marca

	<b>Tagged Marcado</b>	<b>Recovered Recobrado</b>
<b>Local banks, 1957 — Baitboats</b>		
<b>Bancos locales, 1957 — Clípers</b>		
Yellow loop tags		
Clamped	418	12
Stapled	1029	92(9)
<b>Northern Peru, Dec. 1955 to 1960 — Baitboats</b>		
<b>Al Norte del Perú, Dic. 1955 a 1960 — Clípers</b>		
White loop tags		
Clamped	1717	15
Stapled	284	4
Knotted	7	0
Knotted and clamped	157	8
Yellow loop tags		
Clamped	1592	37
Stapled	6711	328
Yellow dart tags	884	40
<b>Northern Peru, Dec. 1955 to 1960 — Purse-seiners</b>		
<b>Al Norte del Perú, Dic. 1955 a 1960 — Rederos</b>		
White loop tags		
Clamped	65	0
Stapled	8	0
Yellow loop tags		
Clamped	74	6
Stapled	97	1

Number in parenthesis recaptured either prior to  $t_0$ , after  $t_0$ , or outside the recovery areas described in Tables 8a-l.

La cantidad entre paréntesis fue recapturada ya sea con anterioridad a  $t_0$ , después de  $t_0$ , o fuera de las áreas de recobro descritas en las Tablas 8a-l.

(Yellow loop tags = marcas amarillas de lazo, white loop tags = marcas blancas de lazo, yellow dart tags = marcas amarillas de dardo, clamped = anilladas, stapled = engrapadas, knotted = anudadas)

**ESTIMACION DE LAS TASAS DE MORTALIDAD Y OTROS  
PARAMETROS DEL ATUN ALETA AMARILLA Y DEL BARRILETE  
MEDIANTE EXPERIMENTOS DE MARCACION**

por

**Bernard D. Fink**

**INTRODUCCION**

Uno de los deberes principales de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, desde que fue iniciada en 1950 en virtud de una Convención entre la República de Costa Rica y los Estados Unidos de América, es de establecer, por medio de una investigación científica, el promedio del rendimiento máximo sostenible del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares* (Bonaterre), del atún barrilete, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) y de otras especies de peces a que la Convención se refiere. Schaefer (1957), al través de un examen de las relaciones entre la intensidad de la pesca, la abundancia aparente y el rendimiento resultante, logró estimar el rendimiento máximo sostenible del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental tropical. No se ha encontrado todavía una relación similar para el barrilete. Basados en el modelo desarrollado por Schaefer, la Comisión ha observado que se ha pescado en exceso, y recomendó en 1962, que la reglamentación de la captura del atún aleta amarilla se haga por medio de una cuota de captura. El establecimiento eficaz de reglamentaciones permitirá que el stock se recupere por sí solo hasta el punto en que el rendimiento sostenible vuelva a su máximo nivel.

Hennemuth (1961b) hizo notar que modelos más explícitos que los formulados por Schaefer (1957) eran no solamente deseables, sino también necesarios (véase Schaefer y Beverton, 1963). Broadhead y Barrett (1964), por ejemplo, han demostrado cómo ciertos cambios en la abundancia aparente son debidos a factores independientes de la pesquería. Los coeficientes de mortalidad, requisito para cualquier modelo que describa la dinámica de la pesquería, se ha demostrado, que varían de una época a otra y de una a otra área (Hennemuth, 1961b; Davidoff, *sin publicar*); pero las estimaciones específicas para ciertos años y áreas no han sido, en su mayor parte, dignas de confianza (E. B. Davidoff, comunicación personal).

Teóricamente, uno de los métodos más eficaces para medir la tasa de mortalidad de una determinada población animal, es el de la marcación y recobro posterior de una parte de esa población distribuida al azar. En lo referente a los peces marinos, esta técnica para determinar las tasas de mortalidad ha estado en uso práctico por lo menos durante 35 años (Thompson y Herrington, 1930) a pesar de que los experimentos de

marcación *per se* son mucho más antiguos (Rounsefell y Kask, 1945; Ricker, 1958). Cualquier determinación de las tasas de cambio de las poblaciones naturales, hechas según los datos de la marcación, dependen de ciertas suposiciones (a menudo no confirmadas) y hay frecuentemente tantas dificultades prácticas, que surgen serias preguntas sobre la confiabilidad de los resultados (DeLury, 1954; Ricker, 1958; Beverton, 1963). Sin embargo algunos de estos problemas, comunes a muchas pesquerías, han sido estudiados detalladamente y se ha llegado a soluciones adecuadas (Beverton y Holt, 1957). Para algunos otros problemas puede suponerse que los errores en que se ha incurrido son aleatorios.

En el presente trabajo se ha usado un método de análisis descrito por Gulland (1963), para estimar las tasas de mortalidad de pesca de los atunes aleta amarilla y barrilete marcados en áreas y años específicos. Las tasas de mortalidad de pesca obtenidas en atunes marcados representarán también las de toda la población, de la cual fueron extraídos, previendo que las suposiciones usadas y las correcciones hechas para estos análisis sean válidas. Las tasas de mortalidad total de los peces marcados también han sido computadas. No se supone que éstas sean directamente equivalentes a las tasas de mortalidad total de las poblaciones no marcadas, ya que los peces marcados están sujetos también a otros tipos de pérdida. Estas otras causas de mortalidad son examinadas también en el presente estudio.

### RECONOCIMIENTO

Los datos utilizados en este trabajo se derivan de un sinnúmero de cruceros dedicados a la marcación. Capitanes y pescadores experimentados y con espíritu de cooperación ayudaron a que estos cruceros tuvieran éxito. Varios científicos de la Comisión y sus asistentes dedicaron también mucho tiempo en labores del mar. Para el recobro de atunes marcados, la Comisión ha dependido necesariamente de muchos pescadores, descargadores de barcos y trabajadores de las plantas enlatadoras. La cooperación de todos ellos es reconocida con gratitud.

Muchas personas ayudaron a la preparación de este trabajo. Javier Barandiarán tabuló muchos de los datos y Patrick Boylan verificó varios de los cómputos. Gordon C. Broadhead y el Dr. Milner B. Schaefer ayudaron en gran parte a dilucidar las ideas del autor, especialmente en las primeras etapas de la investigación. Izadore Barrett, Edward B. Bennett y Bruce M. Chatwin leyeron el manuscrito para su crítica y ofrecieron varias sugerencias valiosas.

### MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Los datos empleados en este estudio se originaron de los cruceros dedicados a la marcación en los bancos locales frente a Baja California

durante el período de 1957 a 1960, y de otros viajes al área frente al Perú septentrional durante los años de 1955 a 1960 (Figura 1). Algunos detalles de estos cruceros se encuentran en el estudio hecho por Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961). Para los tipos de análisis presentados en este trabajo, los datos, en su mayor parte, solo son suficientes para el atún aleta amarilla. Esto se debe principalmente a las cantidades de recobros muy limitadas, logradas en barriletes marcados. Sin embargo, ha sido posible computar estimaciones de mortalidad al combinar las de los barriletes marcados en los bancos locales durante 1957, y la de los marcados frente al Perú septentrional durante el período de 1955 a 1960.

Un glosario de símbolos usados en este trabajo aparece en el Apéndice A.

### Algunas consideraciones teóricas y conceptos generales usados para la estimación de las tasas de mortalidad

La tasa instantánea de cambio fraccional de un número dado de peces,  $N_t$ , que habita un determinado sector del mar en el tiempo  $t$ , es la suma de la tasa instantánea de mortalidad por la pesca  $F$  (muerte debida a la captura) y de la tasa instantánea de mortalidad natural  $M$  (muerte ocasionada por depredación, enfermedad, etc.); este equivalente es expresado por la ecuación diferencial

$$\frac{1}{N_t} \frac{dN_t}{dt} = -F - M \dots\dots\dots (1)$$

De aquí se desprende que el número de peces sobrevivientes en cualquier tiempo  $t$  es

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}, \dots\dots\dots (2)$$

en que  $N_0$  es el número de peces presente en  $t = 0$ . Las tasas de captura por el número (de peces) es

$$\begin{aligned} \frac{dY_t}{dt} &= FN_t \\ &= FN_0 e^{-(F+M)t}, \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

El número total  $Y_t$  de peces capturados del momento cero al tiempo  $t$  es, según la integración de la ecuación (3),

$$Y_t = \frac{FN_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}), \dots\dots\dots (4)$$

y el número total  $Y$  de peces capturados durante el lapso entero de tiempo (el límite de  $Y_t$  como  $t \rightarrow \infty$ ) es

$$Y = \frac{FN_0}{F+M}, \dots\dots\dots (5)$$

Con respecto a los atunes tropicales, la tasa de mortalidad total es tan grande que casi toda la pesca es hecha dentro de los dos años posteriores



al reclutamiento (Hennemuth, 1961b; Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961). El valor de  $Y$  es, entonces, para propósitos prácticos, el mismo que el de  $Y_2$ .

Como no es posible determinar la cantidad exacta de los atunes que habitan un sector dado del mar en un tiempo especial, tampoco es posible, según los principios antes expuestos, estimar directamente las tasas en que aquella población en particular muere, ya sea por causa de la pesca o por causas naturales. Sin embargo, si una cantidad conocida  $T_0$  de peces es marcada y liberada en esta población, y si se supone por el momento, que estos individuos marcados están sujetos a las mismas causas de pérdida que los no marcados, entonces, al aplicar los principios del cambio de población expresados antes, a los individuos marcados, pueden ser estimadas las tasas de mortalidad de la población.

Los atunes marcados están sujetos, sin embargo, no solamente a continuas pérdidas por la pesca y los agentes naturales, sino también a otras pérdidas, algunas de las cuales son efectivas solo por un período de tiempo muy corto inmediatamente después de la captura y la marcación (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961; Schaefer, 1962; Barrett y Connor, 1962, 1964). La mortalidad resultante de la captura y la marcación es llamada mortalidad inicial por marcación y será examinada detalladamente más adelante. Debido a estas pérdidas, solamente una fracción  $K$  del número inicial marcado  $T_0$  sobrevive para ser afectada por la pesca y la mortalidad natural. El número de peces  $T_E$  que sobrevive a la mortalidad inicial por marcación es

$$T_E = KT_0 \dots\dots\dots (6)$$

Además de la mortalidad natural y de pesca, esta población de peces marcados está también sujeta continuamente a otra pérdida aparente debida al desprendimiento de marcas, y a la mortalidad resultante del acarreo de una marca, como se examinará luego detalladamente. La tasa de pérdida debida a estos dos últimos factores, que *no* son comunes a la población sin marcar, está representada por  $Q$ . Consecuentemente, en forma similar a la ecuación (2) antes referida, el número  $T_t$  de peces marcados que permanece en la población en el tiempo  $t$  después de la marcación es

$$T_t = T_E e^{-(F+M+Q)t} = T_E \varnothing(t) \dots\dots\dots (7)$$

y, similar a la ecuación (5), el número total  $R$  de peces marcados recapturados será

$$R = \frac{FT_E}{F+M+Q} \dots\dots\dots (8)$$

En el análisis contenido aquí es necesario trabajar con las cantidades de peces recuperados durante *intervalos de tiempo*,  $\tau$ , después de la marcación y relacionar éstos con el número promedio,  $\bar{T}_\tau$  de peces marcados presentes durante el correspondiente intervalo.

La integración de la ecuación (7) sobre el intervalo de tiempo  $t$  da

$$\bar{T}_\tau = \frac{T_E}{\tau(F+M+Q)} \{e^{-(F+M+Q)(t-\tau/2)} - e^{-(F+M+Q)(t+\tau/2)}\} \dots (9)$$

$$= \frac{2T_E}{\tau(F+M+Q)} e^{-(F+M+Q)t} \sinh [1/2(F+M+Q)\tau] \dots (10)$$

en donde  $t$  es el tiempo al punto medio de  $\tau$ . Para valores pequeños del argumento  $1/2(F+M+Q)\tau$ , el seno hiperbólico iguala aproximadamente el argumento. Se supone, *ab initio*, que éste es el caso en los análisis examinados luego, y de los resultados es posible demostrar que ésta es, en realidad, una excelente suposición. La ecuación (10) viene entonces a ser

$$\bar{T}_\tau = T_E e^{-(F+M+Q)t} \dots (11)$$

Análogo a la ecuación (4) pero al usar la misma aproximación que conduce a la ecuación (11), el número de recapturas durante  $\tau$  es

$$R_\tau = F\tau T_E e^{-(F+M+Q)t} \dots (12)$$

Sin embargo, no todos los peces marcados recapturados son devueltos; algunos son pasados por alto y otros son encontrados pero no devueltos, de modo que solamente una fracción  $c$  de las recapturas hechas durante el período  $\tau$  es reportada, como se describe luego detalladamente. El número total de recapturas, expresado en términos de recobros de los cuales se ha recibido información es

$$R_\tau = \frac{r_\tau}{c} \dots (13)$$

#### Técnica de Gulland para estimar la tasa de mortalidad por la pesca ( $F$ )

Gulland (1963) ha usado estos principios de la dinámica de la población para estimar, según los datos de marcación, la tasa instantánea de mortalidad por la pesca de la platija (*Pleuronectes platessa*) en el Mar del Norte. Siguiendo su ejemplo, el número  $R_\tau$  de atunes marcados, recapturados durante cualquier intervalo de tiempo después de la marcación, será, en promedio, conjuntamente proporcional al número de atunes marcados presentes en el área y al volumen del esfuerzo de pesca aplicado,  $f_\tau$ . Así, que el número de recapturas hecho es

$$R_\tau = qf_\tau T_E \varnothing(t) \dots (14)$$

y el número de recobros hecho es

$$r_\tau = c qf_\tau T_E \varnothing(t) \dots (15)$$

con  $q$  siendo la tasa instantánea de mortalidad por la pesca por día estándar de esfuerzo de pesca<sup>1</sup>. De esto se deduce que la tasa de mortalidad por la

<sup>1</sup> La tasa  $q$  se emplea también como coeficiente de capturabilidad o como la constante de la proporcionalidad que relaciona la mortalidad por la pesca con la intensidad de la pesca. Es equivalente a  $k_z$  de Schaefer (1957).

pesca durante el periodo  $\tau$ ,  $F_\tau$  es

$$F_\tau = \frac{qf_\tau}{\tau} = \frac{r_\tau}{\tau c T_E \varnothing(t)} = \frac{R_\tau}{\tau T_\tau} \dots \dots \dots (16)$$

La tasa del recobro ajustada (es decir, la tasa de recaptura) por unidad de esfuerzo de pesca en el tiempo  $t$ , es entonces,

$$\frac{r_\tau}{cf_\tau T_E} = q\varnothing(t). \dots \dots \dots (17)$$

Si  $q\varnothing(t)$  se computa por intervalos sucesivos de tiempo, disminuirá paulatinamente con el tiempo, debido a la merma en  $\varnothing(t)$ . Ya que a  $t = 0$ ,  $\varnothing(t) = 1$ , una extrapolación de la línea de mejor ajuste reintegrada a tiempo cero provee una estimación de  $q$ .

Si, como se ha anotado anteriormente, las tasas de  $F$ ,  $M$ , y  $Q$  son constantes durante el experimento, la tasa fraccional de recaptura por unidad de esfuerzo  $Y'$  es

$$Y' = \frac{r_\tau}{cf_\tau T_E} = q\varnothing(t) = qe^{-(F + M + Q)t} \dots \dots \dots (18)$$

y

$$\log_e Y' = \log_e q - (F + M + Q)t \dots \dots \dots (19)$$

entonces, el  $\log_e$  de los valores sucesivos de  $Y'$  de las ecuaciones (17) y (18) antes expresadas, formará una regresión lineal en el tiempo. La inclinación de esta línea es una estimación de la mortalidad total ( $F + M + Q$ ), y el antilogaritmo de la intercepción es una estimación de  $q$ .

Habiendo estimado  $q$ , la tasa instantánea de mortalidad por la pesca se encuentra inmediatamente disponible en la relación

$$F = \frac{q\tilde{f}}{t_n - t_0} \dots \dots \dots (20)$$

en donde  $\tilde{f}$  es el esfuerzo de pesca total aplicado en el área de interés durante la totalidad del experimento de duración  $t_0$  a  $t_n$ . La estimación de las tasas de pesca y de mortalidad total es expresada generalmente sobre una base anual para hacer la comparación entre los experimentos.

#### **Estimación de la tasa de mortalidad total de los peces no marcados ( $Z$ ) y de los peces marcados ( $Z'$ )**

La disminución en la tasa ajustada del recobro por unidad de esfuerzo con el aumento en el tiempo [disminución en  $\varnothing(t)$ ] se ha demostrado que es [ecuaciones (18) y (19)] un método para la estimación de la tasa de mortalidad total ( $F + M + Q$ ) de la población marcada. Este método constituye una mejora sobre el que fue empleado por Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961), (es decir, la disminución de los retornos con el tiempo) para describir la mortalidad total de los atunes marcados, ya que

la dispersión de los puntos cerca de la línea del mejor ajuste es considerablemente reducida al tomar en cuenta los cambios en el esfuerzo de pesca. En una área como la de los bancos locales frente a Baja California, donde hay un ciclo de esfuerzo alto y bajo durante un año (Alverson, 1960; Martin, 1962), las estimaciones de la mortalidad total serán más razonables cuando estos cambios en el esfuerzo sean tomados en consideración.

Se insiste que las tasas de mortalidad total derivadas directamente de estos análisis son para los peces marcados, y como incluyen causas adicionales de pérdidas, no son comparables a las tasas de mortalidad total de los peces sin marcar en la misma área. O sea que  $Z$ , la tasa instantánea de mortalidad total de los peces sin marcar es igual a la suma de las tasas de mortalidad natural y por la pesca ( $Z = F + M$ ), mientras que  $Z'$ , la tasa instantánea de mortalidad total de los peces marcados incluye una pérdida adicional  $Q$  debida al desprendimiento de las marcas y a la muerte causada por el acarreo de la marca ( $Z' = F + M + Q$ ).

#### **Estimación de $Q$ , un coeficiente de mortalidad debido al desprendimiento de las marcas y a otras causas**

Por el hecho de que los datos de los experimentos de marcación hasta 1960 no incluyen ninguno de marcación doble, las estimaciones directas de  $Q$  no han sido posibles. Sin embargo, es factible, calcular indirectamente una estimación de un valor promedio de  $Q$  mediante la utilización de datos auxiliares sobre el atún aleta amarilla.

La tasa instantánea de mortalidad total calculada en atunes aleta amarilla sin marcar,  $Z = (F + M)$ , en el Océano Pacífico oriental tropical, en el período de 1954 a 1959, es 1.72 por año (Hennemuth, 1961b). La porción de la tasa de mortalidad total que es debida a la pesca  $F$  fue estimada en  $0.38 \times 10^{-4}$  por día estándar de esfuerzo de pesca, por Schaefer (1957), sobre la base de los datos de las capturas y el esfuerzo. Este valor puede estar relacionado con dos períodos de esfuerzo de valores considerablemente diferentes. En el período de 1956 a 1958, con un promedio de esfuerzo por año de 28,500 días de pesca,  $F = 1.08$  por año, y en 1960 a 1961, con un promedio de esfuerzo de 39,000 días de pesca por año,  $F = 1.48$  por año. Si se supone que la tasa de la pérdida total calculada por Hennemuth para 1954 hasta 1959 es también válida para 1956 hasta 1958, entonces la tasa de mortalidad natural  $M$ , es 0.64 ( $1.72 - 1.08$ ) por año. Si se supone que  $M$  es inmutable (Schaefer, 1957) entonces, para el período 1960 a 1961,  $Z$  es 2.12 ( $1.48 + 0.64$ ) por año.

Con respecto al atún aleta amarilla marcado, las estimaciones han sido hechas también de la tasa mínima de mortalidad total  $Z'$  durante los períodos de 1956 a 1958 y de enero de 1960 a junio de 1961, según las regresiones de los retornos de marcas en el tiempo (Tabla 1), como ha sido descrito por Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961). De modo que, de 1956 a 1958,  $Z' \geq 2.77$  por año y, en el período de enero de 1960 a junio

de 1961,  $Z' \cong 3.18$  por año. De la relación  $Q = Z' - Z$ ,  $Q$  es por año 1.05 en el período de 1956 a 1958, y 1.06 por año para el período de enero de 1960 a junio de 1961.

En cuanto al barrilete,  $Q$  no puede ser ahora determinado en manera alguna comparable al anterior, ya que no se han podido hacer las estimaciones de  $F$  ni de  $Z$  en los peces sin marcar. Sin embargo, mientras no sea posible hacer una estimación mejor, el valor estimado de  $Q = 1.06$  por año, correspondiente al atún aleta amarilla, es usado también en estos análisis para el barrilete.

#### **Estimación de $K$ , la supervivencia inicial de la marcación**

No todos aquellos peces liberados sobreviven los efectos iniciales de la captura y la marcación. Ninguno de los factores necesarios para el cálculo del coeficiente de mortalidad por la pesca, tiene más probabilidad de caer significativamente en error que el número de peces "efectivamente marcado." La relación entre la cantidad absoluta de peces marcados  $T_o$  y la cantidad de peces que vive  $T_E$  ha sido expresada por la ecuación (6),  $T_E = KT_o$ , en la que  $K$  es la fracción sobreviviente. Para los atunes,  $K$  se considera que varía de acuerdo a las condiciones prevaletientes al momento de la marcación (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961). Es difícil de obtener directamente, la información pertinente al examen de  $K$ , pero tal vez es posible el estimar el valor de  $K$  por medio de un análisis de las variaciones en las tasas del recobro de peces marcados con varios tipos de marcas o bajo diferentes series de condiciones (Ricker, 1958).

#### *Efectos de la manipulación*

Un factor que ha sido asociado con las variaciones en las tasas del recobro en atunes marcados es el mayor o menor grado de manipulación a que los peces están sometidos y a su condición física en el momento de la marcación y liberación (Broadhead, 1959; Marr, 1963). Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) han demostrado que el tiempo extra necesario para medir los peces en el momento de la marcación tiene como consecuencia una reducción en las tasas del recobro. Barrett y Connor (1962, 1964) han presentado datos que indican que aun el acto de captura por sí solo es fisiológicamente perjudicial para los atunes. A pesar de que aparentemente el manipuleo es de alguna significación en la determinación de la supervivencia inicial, no es posible medir separadamente la magnitud de sus efectos. En este estudio, no son por lo tanto considerados individualmente los efectos de la manipulación en la estimación de  $K$ .

#### *Efectos del tamaño de los peces y de la temperatura del agua en el momento de la marcación*

Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) han demostrado que la temperatura del agua en el momento de la marcación influye significativamente en las tasas del recobro de los atunes aleta amarilla marcados en los bancos

locales frente a Baja California y frente al Perú septentrional. Sus datos sobre el barrilete indicaron un efecto significativo de la temperatura en aquellos peces marcados en los bancos locales, pero no en los marcados frente al Perú septentrional. El análisis simultáneo del tamaño de los peces marcados y de la temperatura del mar a tiempo de la liberación, con las subsiguientes tasas de recobro, indicaron una relación positiva significativa entre el tamaño de los peces y las tasas de su recobro, tanto en el atún aleta amarilla como en el barrilete de los bancos locales. Los peces marcados frente al Perú septentrional no mostraron tal relación positiva. Actualmente hay muchos más datos que de los que pudieron disponer Schaefer, Chatwin y Broadhead, los cuales pueden ser usados para demostrar las relaciones de la temperatura del mar y el tamaño de los peces con las tasas subsiguientes del recobro. Estos datos han sido analizados por la transformación arco del seno de los porcentajes del recobro y del análisis de la variancia de los datos transformados (esencialmente el mismo método empleado por Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961). Los nuevos análisis demuestran que el tamaño de los atunes aleta amarilla marcados está directamente relacionado ( $p = 0.01$ ) con el porcentaje recobrado en los experimentos de marcación, tanto en los bancos locales como en el Perú septentrional (Tablas 2 y 3), pero que no se encuentra una relación similar en ninguna de estas áreas para barriletes marcados (Tablas 4 y 5).

No hay datos disponibles del tamaño de una gran parte de los atunes aleta amarilla marcados en aquellos años y áreas para los que se desean estimaciones de las tasas de mortalidad. En algunos casos la cantidad de datos sobre la marcación, se hubiese reducido tanto al no incluir los peces no medidos, que hubiera sido imposible estimar las tasas de mortalidad. En consecuencia aun cuando es sabido que el tamaño es un factor en el porcentaje sobreviviente de la marcación, como lo demuestran las variaciones en las tasas del retorno correspondientes tanto al extremo norte como al extremo sur de la pesquería, no se corrigió en ninguno de los análisis de mortalidad del presente trabajo.

#### *Efectos de la temperatura del agua en el momento de la marcación*

También es aparente, según las Tablas 2 a 5, que la temperatura del agua en el momento de la marcación es un factor importante en la determinación de las subsiguientes tasas de recobro, las que reflejan la supervivencia inicial. Estos datos indican que la temperatura está en relación inversa a la tasa del recobro ( $p = 0.01$ ) en ambas áreas investigadas, la del norte y la del sur, tanto para el atún aleta amarilla como para el barrilete<sup>2</sup>. A los datos de las Tablas 2 a 5 han sido agregados los datos de la temperatura correspondientes a los atunes aleta amarilla y barrilete no medidos, tanto en el área de los bancos locales como en el área al norte

<sup>2</sup>Se ha encontrado que ésto se mantiene válido para experimentos individuales y no está relacionado con el volumen del esfuerzo aplicado (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961).

del Perú. Los datos combinados han sido presentados en la Tabla 6 y graficados en las Figuras 2 y 3. Las regresiones del porcentaje del recobro sobre la temperatura del agua en el momento de la marcación son:

**Atún aleta amarilla**

Bancos locales: % del recobro =  $131.1 - 1.567 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  
 $r = -0.92^{*3}$

Perú septentrional: % del recobro =  $72.9 - 0.882 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  
 $r = -0.92$

**Barrilete**

Bancos locales: % del recobro =  $35.1 - 0.418 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  
 $r = -0.73$

Perú septentrional: % del recobro =  $16.9 - 0.192 \text{ temp. } ^\circ\text{F}$ ;  
 $r = -0.91^*$

Basados sobre las tasas más altas alcanzadas en el recobro de marcas, lo mismo que en el análisis de la estructura de las edades de la población del atún aleta amarilla y en las estadísticas de pesca (Schaefer, 1957; Hen-nemuth, 1961a), se encontró que el valor de  $K$ , correspondiente al atún aleta amarilla marcado, no excedía de 0.85 (Schaefer, 1963) bajo condiciones ideales para la marcación; siendo mucho más bajo en las condiciones que prevalecen ordinariamente (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961). Este valor es tal vez aplicable tanto al barrilete como al atún aleta amarilla. Como la supervivencia más alta ocurre a la temperatura más baja del agua, de las regresiones de los cuadrados mínimos de las tasas del recobro sobre la temperatura (Figuras 2 y 3) puede ser computada una serie de valores de  $K$  para el atún aleta amarilla y el barrilete, tanto en el área norte como en el área sur (Tabla 7, al emplear 0.85 a  $65^\circ\text{F}$ ). Estos valores fueron usados rutinariamente para los experimentos de marcación descritos aquí<sup>4</sup>.

**FACTORES RELATIVOS A LA DETERMINACION  
DE LA MORTALIDAD**

El cálculo de los coeficientes de susceptibilidad a la captura, según los experimentos de la marcación del atún referidos aquí, depende no solamente de ciertas suposiciones discutidas más adelante, sino también del empleo de estimaciones razonablemente correctas de (1)  $R_\tau$  el número de recapturas hechas durante el período  $\tau$ ; (2)  $f_\tau$ , el número de días estándar del esfuerzo de pesca aplicado en el área durante el período  $\tau$ ; y (3)  $T_E$ , el número de peces marcados que sobreviven a la mortalidad inicial. No todos éstos pueden ser conocidos con precisión. Sin embargo, es posible,

<sup>3</sup>La significación, al nivel de 0.01, está indicada por un doble asterisco, y al nivel de 0.05, por un solo asterisco.

<sup>4</sup>Basados en los datos de marcación durante el período 1960-1963, se considera ahora, que con las marcas y técnicas usadas hoy día, la supervivencia en la unidad es posible ( $T_o = T_E$ ).

mediante el uso de ciertos factores de corrección, hacer las que se consideran estimaciones razonables de estos valores.

### **Estimación del número de atunes marcados, recapturados**

El número  $R_\tau$  de atunes marcados, recapturados<sup>5</sup> durante el periodo  $\tau$  por la flota pesquera es mayor que el número  $r_\tau$  encontrado e informado. La relación entre  $R_\tau$  y  $r_\tau$  ha sido descrita en la ecuación (13) antes consignada.

Broadhead (1959) estimó que no ha sido informado cerca del 50 por ciento de los peces marcados, recapturados (atún aleta amarilla y barrilete). Con el incremento del conocimiento acerca del programa de marcación por recuperadores eficaces, el cambio de los colores usados en las marcas, el interés estimulado con el pago de premios substanciales y de rifas anuales con números "de suerte" para el otorgamiento de recompensas adicionales, la proporción estimada de los recobros informados como recapturas ha mejorado desde que él hizo su estimación. En experimentos realizados durante 1960, la pérdida global estimada de peces marcados recapturados fue ligeramente menor del 10 por ciento (Schaefer, 1962). Los resultados de experimentos adicionales en 1961 indicaron que la tasa de pérdida había disminuído a menos del 2 por ciento. (Estas tasas de pérdida se refieren solamente a los peces capturados por barcos con base en California; pueden aplicarse tasas diferentes a los peces descargados en otras áreas.) Basados en estos experimentos, y en cuanto al objeto del presente estudio, se supone que para los peces marcados en julio de 1957, la fracción de los peces marcados recapturados, de los cuales se recibió información de las marcas, fue de 0.50 (Broadhead, 1959). De Julio de 1957 a julio de 1961, se supone que la proporción de las recapturas informadas aumentó a razón del 1 por ciento por mes (con lo que se registró un 48 por ciento de aumento en 48 meses) y que se mantuvo al nivel de un 98 por ciento desde mediados de 1961. (No hay, por lo tanto, manera alguna de determinar si la tasa de información acerca de los peces marcados, recapturados, aumentó efectivamente por la cantidad calculada hipotéticamente para el periodo de 1957 a 1960.) Estas tasas son aplicables directamente a los experimentos de los bancos locales descritos aquí, ya que casi todos estos peces son industrializados en California. Estas mismas tasas han sido aplicadas a los datos correspondientes al Perú septentrional. Hay alguna razón, sin embargo, para creer que, por motivos económicos una parte más grande de los peces marcados al norte del Perú, que fue recapturada por los barcos locales de ese país, puede haber sido devuelta a la Comisión. Las verificaciones, en la forma en que las describe Paulik (1961) sobre la eficiencia en los informes, no fueron llevadas a cabo debido al porcentaje bajo de retornos que se esperaba. Similarmente, análisis tales como los descritos

<sup>5</sup>En esta discusión particular, no se considera la recaptura de peces que han perdido sus marcas. Estos peces son para todos los casos y efectos que haya lugar, inseparables de aquéllos que nunca fueron marcados. Sin embargo son tomados en cuenta en la sección de este trabajo referente al desprendimiento de marcas.



por Clark y Jansen (1945) para la consideración de las diferencias entre áreas, fueron restringidos por los datos disponibles.

La porción de los recobros reportados, se ha encontrado que es en algunas pesquerías, bastante menor que la unidad. Por ejemplo, las marcas en el salmón han sido guardadas como recuerdos por las personas que las recibían (MacKay, Howard y Killick, 1944). En la pesquería del atún, sin embargo, se considera que son raras las pérdidas de este tipo. Generalmente estas pérdidas, cuando ocurren, son más bien al comienzo de un programa de marcación, que después de que dicho programa ha sido bien conocido. La Comisión del Atún, en consecuencia, se ha beneficiado probablemente a este respecto, con los experimentos de marcación realizados por el Departamento de Pesca y Caza de California (Blunt y Messersmith, 1960) durante casi 4 años antes de la primera marcación de la Comisión.

#### **Exactitud de los datos sobre recobros de marcas según han sido informados**

La exactitud de los datos de recaptura referentes a cualquier retorno de marca es controlada en gran parte, por la integridad y memoria de quien la encontró. Los peces marcados y las marcas perdidas son hallados en su mayor parte, durante una de estas tres distintas operaciones:

1. en el barco, en el momento de la recaptura,
2. en el barco, durante las operaciones de descargue,
3. en la planta enlatadora durante las operaciones de destace.

La mejor información es cuando la marca es encontrada en el momento de la recaptura y los datos son registrados en el cuaderno de bitácora del barco. Si la marca es encontrada durante el descargue, todavía es generalmente atribuible a una región de pesca bastante pequeña y a una recaptura en un mes determinado. Esto es, hasta cierto punto, controlado por el tamaño de las bodegas, el éxito que el barco haya tenido y el número de áreas pescadas durante el acopiamiento de la bodega. Más o menos se encuentran tantas marcas en las plantas enlatadoras como las que se descubren durante la descarga. Estas se atribuyen ordinariamente a un par de bodegas, a regiones algo más amplias y al tiempo de recaptura. La localidad en la que una marca es encontrada (no necesariamente recapturada) también depende, hasta cierto punto, de la clase de barco pesquero con el que el pez es capturado. Los pescadores de barcos rederos, tienen menos probabilidad de encontrar peces marcados en el mar que los pescadores de barcos de carnada, debido a los diferentes métodos de operación. A pesar de que el aumento en las cantidades de barcos rederos comenzó en 1958 (Orange y Broadhead, 1959), el efecto no fue aparente en los datos de marcación sino hasta 1960, año en el que una gran parte de la flota de barcos de carnada ya se había convertido al sistema de pesca con red de cerco. Para ilustrar este cambio reciente han sido tabuladas, como se verá enseguida, con indicación del tiempo de la marcación y lugar del recobro, las cantidades de atunes aleta amarilla marcados que han sido

reportados durante el período de 1955 a 1963, de la marcación hecha hasta 1960, y con indicación de los porcentajes del total recobrado en cada período de tiempo.

**AÑOS Y LUGARES DE RECOBROS DEL ATUN ALETA AMARILLA MARCADO**

Año de la marcación	Barco en el mar		Descargue		Area de la enlatadora		Otros		Total No. marc.
	No. marc.	% rec.	No. marc.	% rec.	No. marc.	% rec.	No. marc.	% rec.	
1955-1957	251	67.8	34	9.2	56	15.2	29	7.8	370
1958	183	72.5	29	11.6	38	15.1	2	0.8	252
1959	169	71.3	28	11.8	35	14.8	5	2.1	237
1960	288	53.4	120	22.3	118	21.9	13	2.4	539

Para los análisis a que se refiere el presente trabajo, cuando los recobros no podían ser colocados dentro de un determinado período, fue posible a menudo prorratarlos dentro de períodos algo más extensos, de acuerdo con las cantidades de retornos que se sabía habían sido hechos en cada uno. La información reportada acerca de las recapturas de marcas es generalmente exacta; los errores están limitados a desplazamientos cortos en el tiempo y en el espacio siendo de naturaleza aleatoria.

**Tamaño usado en la determinación del esfuerzo eficaz de pesca, de las áreas del mar**

Los atunes aleta amarilla y barriletes marcados en los bancos locales o frente al Perú septentrional son casi siempre devueltos de las mismas áreas generales de marcación. Frente a baja California, el promedio del movimiento fuera de la región de la marcación es muy pequeño en el atún aleta amarilla; la distancia media alcanza a un máximo de unas 100 millas, después de ocho o nueve meses, y luego disminuye. El barrilete se traslada más rápidamente que el atún aleta amarilla, pero el promedio de la distancia que los peces recobrados han recorrido, desde el punto de su marcación, se mantiene en unas 75 millas durante más o menos los primeros diez meses de libertad. La tasa de dispersión del barrilete, después de este período, es más rápida, pero los recobros se limitan generalmente como se dijo antes, a la misma área. La marcación del atún aleta amarilla en el Golfo de Guayaquil ha producido pocos recobros fuera de esa área. Los recapturados fuera del área de marcación son generalmente del Banco de las 14 Brazas, unas 400 millas al sur del Golfo de Guayaquil, o del área del mar frente a la costa sudamericana, desde la Punta Santa Elena al Cabo San Francisco, Ecuador. Los barriletes marcados en esta región del sur parecen ser algo más migratorios que los atunes aleta amarilla, aun cuando la extensión de esta diferencia es un poco mayor que la encontrada en estas mismas especies cuando han sido marcadas frente a la costa de Baja California. Una exposición más detallada de las rutas migratorias y de las tasas de dispersión puede encontrarse en el estudio de Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961).

Por el hecho de que las migraciones de los atunes están generalmente restringidas a los linderos de la pesquería, es posible limitar las áreas en las que el esfuerzo de pesca necesita ser tomado en consideración; esta

limitación es un prerrequisito para hacer estimaciones del tipo de Gulland sobre las tasas de mortalidad. Las áreas en las que se calcula el esfuerzo, para el análisis en cualquier año, pueden abarcar otras áreas que no sean aquéllas que realmente produjeron recobros de peces marcados, si fue necesario para los peces atravesarlas con el fin de alcanzar la región en donde las recapturas actualmente tuvieron lugar. Es preferible, en todo caso, usar el área razonablemente más pequeña cerca a la localidad de la marcación. Por ejemplo, pueden hacerse dos estimaciones de los coeficientes de mortalidad del atún aleta amarilla basados en el experimento de marcación del año 1957 en los bancos locales. De este grupo de peces hubo 59 recobros; dos de los cuales fueron hechos en el Golfo de California, y el resto frente a la costa occidental de Baja California. La estimación de  $q$ ,  $F$  y  $Z'$  en la Tabla 8a utilizó solamente los datos del esfuerzo y del retorno de marcas en los bancos locales. Una segunda estimación de estas tasas se hizo (aunque no se incluye en el presente trabajo) usando estos mismos datos y además los correspondientes al esfuerzo y a los retornos de marcas en el Golfo de California (Figura 4). Se encontró que los cambios en  $F$  y  $Z'$  eran pequeños, a pesar de los grandes cambios en los valores del esfuerzo que fueron utilizados. Sin embargo, como contraste, en el experimento de marcación de 1959 frente a Baja California, de los 51 recobros de atunes aleta amarilla, 13 fueron hechos en el Golfo de California y dos aún más al sur (uno frente a México meridional y el otro frente a Guatemala). En este caso, es necesario usar el esfuerzo y los recobros del Golfo de California, pero no los que corresponden más hacia el sur. Si se usan los recobros de marcas procedentes del área frente a Centroamérica, entonces deben usarse también los datos del esfuerzo de esa misma área, y se obtienen coeficientes extremadamente bajos de mortalidad. En casos como éste, los retornos "anómalos" no fueron considerados.

#### **Esfuerzo de pesca en áreas seleccionadas**

El número de días en el esfuerzo de pesca aplicado al atún *durante un determinado período de tiempo en algún sector pequeño* del Océano Pacífico oriental tropical, es algunas veces, extremadamente difícil de obtener en forma precisa. El *esfuerzo registrado* según se extrae de los cuadernos de bitácora de los barcos, representa solamente una parte del esfuerzo total. Esta parte del total varía de una área a otra, y en los registros de la Comisión ha sido constantemente más grande en las localidades de pesca norteañas (Alverson, 1960) que incluyen los bancos locales frente a Baja California. Las operaciones de pesca en esta área son efectuadas por barcos de carnada y por rederos de todos los tamaños. El esfuerzo de estos barcos en cada mes, referente a este estudio, fue estandarizado en los barcos de carnada a la clase IV (de 201 a 300 toneladas de capacidad de acarreo), y fue tabulado, como días estándar de esfuerzo (Shimada y Schaefer, 1956; Broadhead, 1962).

El esfuerzo aplicado en el Golfo de Guayaquil y en sus cercanías fue calculado menos fácilmente a esta región, ya que en ella, durante el período de 1955 a 1960, la captura de los atunes aleta amarilla y barriletes fue realizada por lo menos por tres diferentes flotas de barcos: (1) la flota de barcos de la que se obtuvieron los cuadernos de bitácora, cuyos datos sobre las capturas y el esfuerzo fueron introducidos en el sistema tabulador de la Comisión del Atún; (2) la flota de los pequeños rederos (*bolicheros*) que pescan fuera de Mancora, Perú; y (3) la flota de pequeños barcos de carnada que pescan esencialmente en Manta, Ecuador. La captura y el esfuerzo de las dos últimas flotas no entran en el sistema tabulador.

Para estimar el total del esfuerzo de pesca eficaz aplicado a los peces marcados en esta área, fue necesario primero, estimar la cantidad del esfuerzo generado por los *bolicheros* peruanos y por los barcos de carnada de Manta, y luego sumar ese esfuerzo al esfuerzo registrado como aplicado por la flota provista de cuadernos de bitácora. El problema fue simplificado con la eliminación de los datos correspondientes a la flota de Manta, porque se encontró que esos barcos habían recobrado solamente un atún aleta amarilla y once barriletes, de los atunes liberados con marcas frente al Perú septentrional, es decir, una cantidad insignificante. El examen de los datos sobre el recobro de marcas (registros sin publicar de la Comisión) demuestra que, en promedio, el número de devoluciones de marcas por tonelada de captura fue más o menos la misma para los *bolicheros* que para la flota provista de cuadernos de bitácora; hubo sin embargo, una variación considerable en el número de retornos por tonelada de captura, de un período a otro. (Las comparaciones, que no se incluyen en el presente trabajo, fueron hechas por trimestres calendarios de los años de 1956 a 1960, separadamente para el atún aleta amarilla y el barrilete.) La relación aproximadamente de uno a uno indica que los *bolicheros* de Mancora y la flota provista de cuadernos de bitácora estuvieron pescando en el mismo stock; en consecuencia, fue posible convertir directamente la pesca total de los *bolicheros*, en cada período mensual, a días estándar de pesca al modificar el método normalmente empleado por la Comisión para calcular el esfuerzo anual total (Shimada y Schaefer, 1956) y para hacer esto separadamente tanto con el atún aleta amarilla como con el barrilete (captura de los *bolicheros*/captura de los barcos provistos de cuadernos de bitácora  $\times$  esfuerzo registrado = esfuerzo de los *bolicheros*). Cuando se hizo esto, hubo nueve meses (de 71) en que el esfuerzo computado en Mancora sobre el atún aleta amarilla excedió de lo que se consideró era su máximo potencial, 375 días por mes. Este máximo fue determinado al considerar que el promedio del número de *bolicheros* en el mar durante cualquier mes fue de 15, y que pescaron 25 días cada uno con la eficiencia de los barcos de carnada de la clase IV. El efecto de usar esta limitación en el esfuerzo potencial se encuentra generalmente que es bastante pequeño, especialmente para la estimación

de la tasa de mortalidad total. Por esto no se usaron las limitaciones del esfuerzo en las computaciones correspondientes al barrilete. Debe hacerse notar, sin embargo, que 11 de los 72 meses en los cuales fue computado el esfuerzo para el barrilete, los valores del esfuerzo tenían algo más de 375 días de pesca en favor de la flota *bolichera*.

En la región frente a la parte septentrional de Sudamérica no hay relación aparente entre los valores del esfuerzo computados para el atún aleta amarilla y los del barrilete. Sin embargo, para ambas especies, la dispersión de los puntos alrededor de la línea de mejor ajuste, en los gráficos que ilustran el recobro con el tiempo (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961, figuras 19 a 26), puede reducirse considerablemente al usar los recobros por unidad de esfuerzo computado, como se describió antes, en vez de los recobros *per se*<sup>6</sup>. Se considera que ésta es una evidencia de que los valores del esfuerzo computado son válidos, por lo menos relativamente de uno al otro. Si los valores del esfuerzo están errados en sus niveles generales, estos errores están probablemente hacia el lado bajo<sup>7</sup>. Los niveles subestimados del esfuerzo podrían dar como resultado valores excesivamente altos de  $q$ .

#### **Efecto de la reglamentación del tamaño de los peces en las estimaciones de la mortalidad**

Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961), al discutir la mortalidad por la marcación, sugieren que algunas de las diferencias encontradas en las tasas del recobro entre los peces marcados a diferentes tamaños podría atribuirse a la selectividad de los tamaños hecha por los pescadores. Hay un límite de peso mínimo de 7½ libras para los desembarques, en California, del atún aleta amarilla (correspondiente a una longitud de unos 55 cm) y de 4 libras para el barrilete (que corresponden a una longitud de unos 40 cm). En promedio, los peces marcados son considerablemente más pequeños que los capturados en las mismas áreas por la flota comercial de barcos de carnada, como puede verse en la siguiente tabla:

---

<sup>6</sup>El uso del esfuerzo de las flotas combinadas de barcos provistos de cuadernos de bitácora y de *bolicheros*, da como resultado una reducción mucho mayor en la dispersión alrededor de la línea, que si solamente el esfuerzo de los barcos provistos de cuadernos de bitácora fuera usado. Sin embargo, para el periodo investigado, el esfuerzo de los *bolicheros* representa solamente el 34 por ciento del total.

<sup>7</sup>En los años de 1959 y 1960, combinados, la captura del atún aleta amarilla efectuada por los barcos de los que fueron obtenidos extractos de los cuadernos de bitácora, y por los *bolicheros* de Mancora, Perú, se estima que llega a un 75 por ciento del total estimado de los desembarques de estos peces procedentes de la región septentrional de Sudamérica. Estos mismos barcos parece que han capturado solamente el 67 por ciento del total del barrilete descargado (C. J. Orange, comunicación personal).

**ATUN ALETA AMARILLA**

(Capturas únicamente de los barcos de carnada)

<b>Bancos Locales Captura comercial</b>		<b>Bancos Locales Peces marcados</b>		
<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Porcentaje</b>	
1958 a 1959	< 500	0.1	< 500	36.4
	500-599	22.6	500-599	44.8
	600-699	33.7	600-699	15.1
	700 +	43.6	700 +	3.7
<b>Perú Septentrional Captura comercial</b>		<b>Perú Septentrional Peces marcados</b>		
<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Porcentaje</b>	
1956 a 1961	< 500	3.2	< 500	17.0
	500-599	32.7	500-599	56.0
	600-699	31.0	600-699	24.0
	700 +	33.1	700 +	3.0

Estas diferencias se atribuyen a cuatro factores: 1) En los cruceros fletados para la marcación, se marcan peces de cualquier tamaño, aunque algunas veces hay preferencia por cardúmenes que contienen tamaños más pequeños por la facilidad del manipuleo. (2) En los cruceros comerciales con marcadores a bordo, éstos tienden a echar los peces de tamaños más grandes junto con la captura en vez de intentar marcarlos. (3) Los barcos pesqueros comerciales frecuentemente prueban con un cardumen y solo encuentran que demasiados peces tienen un tamaño menor que el permitido para la pesca. Si nuestros marcadores están a bordo, ellos se dedicarán, mientras tanto, a marcar continuamente hasta que el barco se separe del cardumen. (4) En los cardúmenes de peces de tamaños mezclados, los pescadores comerciales frecuentemente se quedan pescando y capturan lo que pueden, pero arrojan los peces más pequeños al mar. Más de un 50 por ciento de los atunes aleta amarilla (pero relativamente pocos de los barriletes) de los que hemos registrado la longitud en el momento de la marcación, eran de un tamaño menor que el mínimo legal (Tablas 2 a 5).

La pérdida (por mortalidad natural, desprendimiento de marcas y emigración) antes de su reclutamiento en la pesquería, de los peces marcados que tienen un tamaño menor que el mínimo legal, es otro factor que debe ser considerado en el análisis de las tasas de mortalidad. Las computaciones (no incluidas en el presente estudio) han sido hechas sobre el promedio de la pérdida total a que los atunes aleta amarilla marcados estaban sometidos antes de alcanzar su tamaño legal (Tablas 2 y 3). Se encontró que 0.13  $T_E$  estaba perdido por las razones antes dichas. Sin embargo, ya que muchos de los peces incluidos en los experimentos para determinar la tasa de mortalidad en el presente estudio, no fueron medidos, resultó imposible determinar las correcciones específicas necesarias para tomar en cuenta la marcación de los peces de un tamaño inferior al legal.

**SUPOSICIONES HECHAS PARA ESTOS ANALISIS**

Las estimaciones, basadas sobre los datos de los experimentos de marcación, de las estadísticas vitales de la población animal, dependen

de la validez de ciertas suposiciones. Muchas de éstas han sido discutidas por Ricker (1958) y por Beverton y Holt (1957). En el presente trabajo se han hecho las siguientes suposiciones para que los análisis de Gulland pudieran ser usados propiamente.

1. *Las tasas de la pesca y de la mortalidad natural son las mismas para los peces marcados y sin marcar de todos los tamaños.* Los peces marcados son aquellos que han sobrevivido a la mortalidad inicial de la marcación. Es posible, sin embargo, que la mortalidad "natural" de los miembros marcados de la población pueda aumentar; las especies depredadoras pueden ser atraídas especialmente por las marcas (Lawler y Smith, 1963) o la marca puede estorbar a los peces marcados en sus intentos de escape (Parker, Black y Larkin, 1963). Cualquier pérdida de éstas ha sido considerada en el presente trabajo, como una parte de  $Q$  (principalmente el desprendimiento de marcas), porque el efecto en las estimaciones de la mortalidad es similar.

2. *Se considera que los peces marcados no son más susceptibles a la captura o a la recaptura que los peces sin marcar o, a la inversa, los peces marcados no "aprovechan" su experiencia y, en consecuencia, no son menos susceptibles a la captura que los sin marcar.* Debe notarse, sin embargo, que en los experimentos con algunos animales, con exclusión de los atunes, se encuentran diferentes probabilidades para la recaptura de los diferentes individuos (Young, Neess y Emlen, 1952; Randall, 1962).

3. *Los peces marcados son representativos de la población presente en el área en el momento de la marcación.* Se ha tomado nota, sin embargo, de una aparente discrepancia de tamaños entre los peces marcados y no marcados, como se demostró anteriormente.

4. *Inmediatamente después de la marcación, los peces marcados vuelven a mezclarse con la población no marcada en una forma aleatoria. Se supone que esto sea cierto solamente en el área restringida de nuestro estudio y no en la totalidad de la pesquería.* Los atunes aleta amarilla y barriletes han demostrado ser especies de gran movilidad, capaces de cruzar largas distancias en periodos de tiempo bastante cortos (Blunt y Messersmith, 1960; Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961). A pesar de que las áreas generales de marcación a que se refiere el presente trabajo son solo porciones pequeñas de la pesquería de atún del Océano Pacífico oriental tropical, sin embargo son bastante extensas. A pesar de esto, los atunes son generalmente bien localizados, en cualquier momento dado, dentro de esas áreas (Broadhead y Barrett, 1964). Los datos de las recientes marcaciones de la Comisión demuestran claramente una dispersión extremadamente rápida de los peces marcados dentro de estas subáreas, particularmente en la región del norte.

5. *Las unidades del esfuerzo aplicable a los atunes no marcados (día estándar de pesca) son igualmente aplicables a los atunes marcados, y cada unidad de esfuerzo toma una proporción fija de la población total en el área.* La validez de esta

suposición es, hasta cierto punto, discutible. DeLury (1954) ha observado que una unidad de esfuerzo puede ser mucho más eficaz que otra, tal vez a causa de los detalles de la localidad. Aunque esto no es tan importante cuando se trata de áreas grandes en períodos largos de tiempo, puede ser más significativo cuando las áreas y los períodos de los que tratamos son más restringidos, como lo son en este estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Tasas de mortalidad de los atunes aleta amarilla y barrilete

Empleando las técnicas antes descritas, y con algunas modificaciones, cuando fueron necesarias,  $F$  y  $Z'$  han sido estimadas sobre una base anual en diversos grupos de peces marcados desde 1955 a 1960, en los bancos locales y frente al Perú septentrional. En las Tablas 8a-1, se indican los períodos y áreas de marcación y recaptura, las cantidades de peces marcados y las cantidades de peces que se estima han sobrevivido inicialmente. Para cada período de recaptura se han indicado también, en estas tablas, las cantidades de recobros, la porción estimada de las recapturas, el número de días estándar de esfuerzo de pesca y la tasa ajustada del recobro por unidad de esfuerzo.

Las regresiones computadas de estos datos aparecen en las Figuras 4 a 15. Las tasas calculadas de pesca ( $F$ ) y de pérdida total ( $Z'$ ) de los grupos marcados se indican también en la Tabla 8, como son los coeficientes de correlación de las regresiones. Las estimaciones de la mortalidad extraída de esta tabla se dan a continuación:

ATUN ALETA AMARILLA						
Baja Calif.	$Z^*$	$Z'^*$	$F^*$	$q \times 10^3$	$f_{t_n-t_0}$	$b$
1957	1.20‡	2.26	1.39	0.282	6640	-0.188/mes
1958	1.75	2.81	0.64	0.182	6756	-0.231/mes
1959	1.28	2.34	0.61	0.066	9203	-0.195/mes
1960	5.17	6.23	9.24‡	2.450	3772	-0.519/mes
Norte del Perú						
1956	1.93	2.99	0.76	0.283	2133	-0.249/mes
1957	1.32	2.38	0.56	0.102	4335	-0.199/mes
1958	0.88	1.94	0.70	0.126	5323	-0.162/mes
1959	0.77	1.83	0.66	0.136	3853	-0.152/mes
1960	6.59	7.65	2.02	0.182	324	-0.637/mes
1955 a 1960	2.65	3.71	0.80	0.190	4423	-0.309/mes
BARRILETE						
Baja Calif.	$Z^*$	$Z'^*$	$F^*$	$q \times 10^3$	$f_{t_n-t_0}$	$b$
1957	5.92	6.98	2.10	0.600	1606	-0.581/mes
Norte del Perú						
1955 a 1960	3.96‡	5.02	0.31	0.067	4642	-0.418/mes

( $Q = 1.06$ , tasa estimada aplicable a ambas especies, todos los años.)

\* Tasa instantánea sobre una base anual.

‡ Estimación irrazonable, véase el texto.



### Discusión de los análisis por especies, áreas y años

Los análisis de los datos de marcación correspondientes al atún aleta amarilla liberado en los bancos locales durante 1957, son descritos detalladamente a continuación, como un ejemplo de la técnica empleada para determinar los valores de  $F$  y  $Z'$ . Con respecto a los años subsiguientes, las descripciones que siguen corresponden en su mayor parte, solo a los tratamientos *particulares* efectuados.

#### *Atún aleta amarilla, bancos locales, 1957*

Este grupo de datos es el resultado de los peces marcados que se liberaron en los bancos locales frente a Baja California durante el crucero 14 con un barco de carnada (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961) durante el cuál fueron marcados 579 atunes aleta amarilla ( $T_o$ ). Estos peces se enumeran (Tabla 9) por días individuales de liberación y por la temperatura prevaleciente en el mar. Los tipos de marcas usados en éste y en los grupos subsiguientes han sido anotados en las Tablas 10 y 11. De la relación de la temperatura con la supervivencia inicial (Tabla 7), el número de peces que se estima haber sobrevivido de este grupo marcado es de 154 ( $T_E$ ) (Tabla 9); este número es usado en los cálculos subsiguientes. El día de la marcación del pez del medio, marcado efectivamente y liberado ( $154/2 = 77$ ) fue el 29 de agosto de 1957 ( $t_o$ ). Según la Tabla 8a, 56 peces marcados fueron recobrados en la parte de los bancos locales correspondiente a las áreas 20-110 y 25-110 (Figura 1) entre  $t_o$  y la terminación del experimento al final de 1958 ( $t_n$ ). No se sabe de ninguna recaptura hecha en el área durante seis de los 16.1 meses incluidos. Dos recapturas, de las que solo se sabe que fueron hechas en algún tiempo durante el año de 1957, fueron prorrateadas dentro de los datos de retornos de ese año, en razón proporcional a la cantidad que se reportó que había sido recapturada en cada mes.

Según el análisis de la razón recaptura-recobro discutido anteriormente, la parte "estimada" de las recapturas reportadas con respecto a este grupo marcado, aumentó 0.01 por mes, de 0.51 en agosto de 1957 a 0.67 en diciembre de 1958.

El número de días de esfuerzo de pesca aplicado en las áreas 20-110 y 25-110 (Figura 1) durante cada mes, después de la marcación, fue determinado a través de los registros IBM que tiene la Comisión de los datos sobre pesca y esfuerzo. Los datos de los barcos de carnada fueron estandarizados a unidades de la clase IV de ese mismo tipo de embarcación; los datos de los rederos fueron primero estandarizados a unidades de la clase III de ese tipo de embarcación y luego a unidades de la clase IV de los barcos de carnada, para lo que se usaron los factores de corrección apropiados (Broadhead, 1962, pags. 301, 304, 307). Como el área de interés era la de los bancos locales, fue necesario excluir la parte del esfuerzo en el área 25-110, que fue aplicado en el sector correspondiente

al Golfo de California (Figura 1). Lo último fue calculado según los datos de Martin (1962). Como solo había tres días en agosto de 1957, después de  $t_o$  e incluyendo ese día, solamente 3/31 del esfuerzo de ese mes ha sido incluido en el análisis. En todos los otros meses fue usado el esfuerzo completo calculado, aplicable a las áreas consideradas de los bancos locales.

Las tasas ajustadas del recobro por unidad de esfuerzo fueron computadas para cada mes en 1957. En lo que respecta a 1958, sin embargo, como no hubo recobros en seis meses a pesar de haber habido esfuerzo, los datos fueron combinados por trimestres del año. Los cambios en tamaño de los períodos individuales de recobro, desde 0.1 de 1 hasta 3 meses podrían sumar algún bias a las computaciones, ya que no todas las porciones del período total de recobro tienen un peso igual.

Como se explicó antes, a causa de que la tasa de disminución de  $r/cfT_E$  con el tiempo, es teóricamente exponencial, estas tasas fueron transformadas a logaritmos naturales, y las regresiones de  $\log_e r/cfT_E$  sobre el tiempo computado [ecuaciones (15), (16) y (17)]. Para este grupo de datos, la intercepción en  $t_o$  fue  $-1.267$ ; de modo que  $q = 0.282 \times 10^{-3}$  por día (Figura 4). Como  $\tilde{f}$ , en el período completo de 16.1 meses, fue de 6640 días (Tabla 8a),  $q\tilde{f}$  es 1.87 por 16.1 meses, y  $F$ , la tasa instantánea de mortalidad por la pesca, es de 1.39 por año. La gradiente de la línea que describe la disminución en las tasas ajustadas del recobro por unidad de esfuerzo (Figura 4) es  $-0.188$  por mes, y  $Z'$ , la tasa instantánea de mortalidad total es 2.26 por año ( $r = -0.92^{**}$ , g.l. = 7).

#### *Atún aleta amarilla, bancos locales, 1958*

Fueron combinados los datos que corresponden al atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1958, de los cruceros 21, 22 y 23. Como la marcación se extendió por más de 91 días, el día medio de marcación no podía ser razonablemente usado en el análisis. En realidad, si el día de liberación del pez del medio, estimado de haber sobrevivido a la marcación (el no. 389, 4 de agosto) hubiese sido usado, habría habido 65 recobros anteriores a  $t_o$ . Más bien fueron usadas las fechas individuales y se agruparon los recobros y los valores del esfuerzo en intervalos apropiados después de esas fechas. Este método permite el empleo de todos los recobros. Para incorporar los períodos en que hubo esfuerzo pero no recaptura, los períodos fueron arreglados sucesivamente en un intervalo de 30 días, en dos intervalos de 60 días, en un intervalo de 100 días y en tres intervalos de 150 días (Tabla 8b, Figura 5). Por el hecho de que la mayoría de las recapturas fueron logradas poco después de la marcación, el uso de extender los intervalos de tiempo tuvo el efecto de ponderar más fuertemente aquellos períodos más cercanos al momento de la marcación.

Para calcular el esfuerzo aplicable a cada período, fue necesario, primero, determinar diariamente el esfuerzo estandarizado que se aplicó

en las áreas 20-110 y en el sector de la 25-110, al oeste de Baja California (Figura 1) durante el periodo del 26 de mayo al 31 de agosto de 1958; y mensualmente, el esfuerzo estandarizado que se aplicó en esas mismas áreas durante el periodo de septiembre de 1958 a julio de 1960. Los valores diarios del esfuerzo fueron computados de los datos que se tomaron tanto de las tabulaciones que posee la Comisión de las áreas de un grado, como de los cuadernos de bitácora de los barcos. El esfuerzo mensual fue calculado de las tabulaciones IBM que tiene la Comisión de la pesca y el esfuerzo, y por las tablas de Martín (1962). De Broadhead (1962) fueron tomados los factores de corrección apropiados, necesarios para estandarizar el esfuerzo a unidades de la clase IV de los barcos de carnada. El número de días de esfuerzo de pesca aplicado después de cada día de marcación fue computado en cada uno de los periodos sucesivos de tiempo, para lo que se emplearon los valores del esfuerzo tanto diarios como mensuales, según se considerara apropiado. Los valores del esfuerzo así computados, para cada uno de los periodos sucesivos después de cada día de marcación, fueron multiplicados por la proporción de las cantidades de marcas efectivas liberadas en ese día, con respecto al número total de marcas efectivas liberadas durante el periodo completo de la marcación. Estos valores individuales del esfuerzo, corregidos, fueron sumados para obtener el esfuerzo aplicable al grupo marcado en su totalidad durante cada uno de los intervalos de tiempo sucesivos.

*Atún aleta amarilla, bancos locales, 1959*

Atunes aleta amarilla marcados fueron liberados durante los cruceros 29 y 30, en los bancos locales, a fines del verano y a principios del otoño de 1959. En contraste con los resultados de la mayoría de los cruceros en esta área, muchas de las recapturas fueron hechas durante el año siguiente (Figura 6) y de éstas, cerca de la mitad se hicieron en el Golfo de California (Area 20-105, Figura 1). Por esto fue necesario considerar una área de recaptura mucho más grande de la que fue necesaria para los grupos marcados de los que se trató previamente (Tablas 8a, b). No se reportaron recapturas durante cinco de los meses entre  $t_0$  y  $t_n$ . Estos meses, abarcando 1500 días de esfuerzo (Tabla 8c) no fueron usados en la computación de la línea que relaciona las tasas ajustadas del recobro con el tiempo, porque hay en los datos una indicación de migraciones y de abundancia cíclica. Esto levanta el nivel de la línea y, a causa de la distribución de los meses en que no se hicieron recapturas, también precipita su gradiente. Sin embargo, fue usado el esfuerzo total de todas las áreas y meses para estimar  $F$ .

*Atún aleta amarilla, bancos locales, 1960*

Se marcaron 436 atunes aleta amarilla en septiembre de 1960 en los bancos locales durante el crucero 35. Cuarenta y tres de los peces marcados no fueron usados en los cálculos por haber sido recapturados durante

o inmediatamente después de la marcación, por dos barcos rederos que operaban en la vecindad del barco en que se efectuó la marcación.

Para incorporar aquellos meses en los que hubo esfuerzo, pero no recapturas, los datos correspondientes a febrero y marzo fueron combinados, así como lo fueron los del período del 1 de julio al 6 de septiembre de 1961. Ni la gradiente de la línea ni su intercepción con el eje de  $y$  fueron afectadas materialmente por este procedimiento (Figura 7, Tabla 8d).

*Atún aleta amarilla, Perú del norte, 1955 a 1960*

Todas las estimaciones de las tasas de mortalidad correspondientes a la región de marcación del Perú septentrional, están basadas en las tasas ajustadas del recobro por unidad de esfuerzo, por períodos mensuales posteriores a la marcación. Como los peces fueron marcados casi continuamente en el área durante el período 1955 a 1960 (Tablas 8e a 8i), fue necesario ponderar el esfuerzo, en los meses subsiguientes a un mes particular de marcación, por la proporción del número de marcas efectivas liberadas en el mes de marcación, con relación al número total de peces marcados en ese año particular. El mes de la marcación,  $X$ , y los meses subsiguientes,  $X + 1$ ,  $X + 2$ , . . .  $X + n$ , no se refieren, entonces, a ningún mes calendario en particular, sino simplemente a períodos mensuales de tiempo después de la marcación. El esfuerzo determinado para estos períodos fue la suma de los valores del esfuerzo individualmente corregidos descritos más adelante. Las computaciones son similares a las usadas para el atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1958 (véase antes). El esfuerzo usado en los cálculos correspondientes al mes  $X$  fue una mitad del esfuerzo aplicable al mes en su totalidad, ya que la mitad del mes fue considerado el tiempo más apropiado para iniciar el análisis ( $t_0$ ).

Se estimó que las porciones de las recapturas recobradas fueron las mismas en el área de marcación del Perú septentrional que la descrita en los bancos locales. Sin embargo, como fueron tantos los meses en que los peces fueron marcados que se incluyeron en cada uno de los análisis correspondientes al Perú del norte, habría sido difícil y lento determinar los valores apropiados de  $c$  en cada período mensual posterior al de la marcación. Por esto, y porque la variación de  $c$  en los datos de cualquier año no fue generalmente mayor de un 4 por ciento, los valores medios de  $c$  correspondientes a los períodos completos del recobro se estimaron adecuados para los análisis.

El examen de los datos posteriores al período  $X$  (Figuras 8, 10 y 11) indicaron que el valor  $r/cfT_E$  durante cada período  $X$  correspondiente a los peces marcados frente al Perú septentrional en 1956, 1958 y 1959, fue considerablemente más bajo del que habría podido esperarse. (Esto puede haberse debido a la mezcla incompleta de los peces marcados en toda la región del recobro, dentro de un corto tiempo después de la marcación.)

Los primeros puntos en los datos de estos años, no fueron por lo tanto usados en las computaciones de las líneas que sirvieron para determinar las tasas por unidad de esfuerzo, de la mortalidad a causa de la pesca,  $q$ , y la pérdida total,  $Z'$  (Tablas 8e, g y h). Los datos del esfuerzo correspondiente al mes  $X$  en estos años fueron usados, sin embargo, para la estimación de  $F$ , como también lo fueron los datos de cualesquiera otros meses no incluidos en las computaciones, según se describe más adelante.

A causa de ciertas dificultades prácticas encontradas cuando los datos del esfuerzo de dos o más meses consecutivos sin recapturas son combinados con los datos de meses adyacentes, los meses  $X + 7$  y  $X + 8$ , para el grupo marcado en 1956, y los meses  $X + 5$  y  $X + 6$ , para el grupo marcado en 1957, fueron eliminados de las computaciones de la regresión. El único recobro en el mes  $X + 12$  en 1957 fue también eliminado porque estaba precedido por dos períodos mensuales sin recobros, y  $t_n$  fue adelantado hasta el final del período  $X + 9$ . Los meses aislados sin recobros fueron combinados con los meses adyacentes en que se hicieron recapturas, con el objeto de analizarlos (esto es,  $X + 9$  y  $X + 10$  en 1958, y  $X + 10$  y  $X + 11$  en el período 1955 a 1960 combinados).

*Barrilete, bancos locales, 1957*

Los cruceros 14 y 16 para la marcación en los bancos locales, en 1957, fueron los únicos en el período 1956-1960 de los que resultaron suficientes recobros, en un período bastante largo, para hacer estimaciones de las tasas de mortalidad (Tabla 8k, Figura 14). La tasa de la pérdida total (Figura 14) es uniforme hasta el mes  $X + 5$  e irregular de allí en adelante. Como las mejores estimaciones de  $F$  son, en casos como éste, hechas de los datos inmediatos al tiempo de la marcación (Gulland, 1963), solamente los datos hasta el mes  $X + 5$  fueron incluidos en las computaciones (Tabla 8k).

*Barrilete, Perú del norte, 1955 a 1960*

Los recobros del barrilete<sup>1</sup> marcado frente al Perú del norte fueron tan diseminados, especialmente después del mes  $X + 5$ , que fue necesaria la ponderación y suma de todos los datos del período 1955-1960 para dar una estimación confiable de las tasas de mortalidad (Tabla 8l). El esfuerzo fue ponderado para todos los años combinados así como para cada uno de los años correspondientes al atún aleta amarilla marcado frente al Perú del norte. Se supuso que la parte de las recapturas recobradas estaba al nivel medio calculado para el período entero a que se refieren los datos.

El examen de los resultados obtenidos indica que pueden hasta cierto punto, no ser representativos. Para el atún aleta amarilla marcado en los bancos locales durante 1957, la tasa computada de mortalidad por la pesca es más alta que la tasa de mortalidad total (después de la substracción de  $Q$ ). Si  $Z$  es aproximadamente correcta, parece que  $F$  se ha sobre-

estimado, probablemente por la subestimación de la supervivencia inicial. Alternativamente, si  $Q = 1.06$  por año es una sobreestimación, entonces la tasa de mortalidad por la pesca puede ser de una magnitud correcta.

Los datos correspondientes a los retornos del atún aleta amarilla marcado en los bancos locales en 1959 parecen estar compuestos de dos porciones separadas (Figura 6). Esto puede ser debido a la emigración de la pesquería durante los meses de invierno, de los peces marcados. Si éste es el caso, entonces la técnica usada anteriormente puede no ser aplicable aquí. Por esta razón, la regresión usada (Figura 6) para estimar las tasas de mortalidad (Tabla 7) es discutible. Sin embargo, la intercepción con el eje de  $y$  de una línea basada en los tres primeros puntos solo puede ser válida, en cuanto a este grupo, para estimar  $q$ , si estos datos llenan los prerequisites del modelo. Al usar estos tres puntos,  $q = 0.094 \times 10^{-3}$  por día,  $qf$  para los 2.3 meses es 0.178, y  $F = 0.93$  por año.

El número estimado de atunes aleta amarilla eficazmente marcados, liberados en los bancos locales durante 1960 es menor que la cantidad actual de recobros. La discrepancia es causada, en parte, por el cálculo de los valores de  $K$  (Tabla 7) con base en el promedio de la relación de la temperatura del agua sobre las tasas de recobro solamente, por el uso de datos de períodos anteriores a 1960, con su intensidad menor de pesca y, como consecuencia de esto, una asignación de  $K = 0.85$  a  $65^{\circ}\text{F}$ . Una estimación de la mortalidad basada en  $T_o$  en vez de en  $T_E$  (y en consecuencia una estimación mínima) reduce  $F$  a 3.13 por año, que sigue siendo una tasa muy alta de mortalidad. La tasa verdadera es probablemente algo más alta.

Para ambos grupos analizados de barriletes marcados, fue evidente una diferencia considerable entre las tasas estimadas de mortalidad por la pesca y la mortalidad total. Esto puede ser debido a una alta tasa de mortalidad natural y también a una alta tasa de emigración. La inserción, en el modelo, de un factor por difusión aleatoria (Schaefer, Chatwin y Broadhead, 1961) para ser tomado en cuenta por emigración, disminuye la diferencia entre  $F$  y  $Z'$ , pero no mejora los coeficientes de correlación de las regresiones.

### SUMARIO Y CONCLUSIONES

Según los datos disponibles correspondientes al atún aleta amarilla marcado, *en las áreas específicas a los extremos de la pesquería*, las tasas instantáneas de la mortalidad de pesca, por unidad de esfuerzo, conocidas aquí como los coeficientes de susceptibilidad a la captura  $q$ , se encontró que varían de  $0.066$  a  $2.450 \times 10^{-3}$  por día. Estos son, como se esperaba<sup>8</sup>,

<sup>8</sup>La combinación de los datos de una o más subáreas de la pesquería no cambia necesariamente la tasa fraccional de recaptura, pero como el esfuerzo aplicable en el área combinada es la suma del aplicado en las subáreas, la tasa fraccional de recaptura *por unidad de esfuerzo*,  $q$ , es más baja que el promedio de  $q$  para las subáreas. Combinaciones como éstas no tienen efecto ni en  $F$  ni en  $Z$ .

considerablemente más altos que el coeficiente de susceptibilidad a la captura estimado por Schaefer (1957) para el *Océano Pacífico oriental tropical en su totalidad* ( $q = k_2 = 0.038 \times 10^{-3}$  por día). Las tasas instantáneas de mortalidad por la pesca  $q\bar{f} = F$ , se encontró que eran bastante variables entre los años y las áreas durante el período 1955-1959 (0.56 a 1.39 por año). Sin embargo, con respecto a estos atunes aleta amarilla marcados en 1960, las tasas calculadas de mortalidad por la pesca fueron extremadamente altas ( $> 3.13$  por año en aquéllos liberados en los bancos locales, y 2.02 por año en aquéllos liberados frente al Perú septentrional).

Las tasas de mortalidad total del atún aleta amarilla marcado,  $Z'$ , incluyen la pérdida por causas distintas a la mortalidad natural y por la pesca. Estas variaron de 1.83 a 7.65 por año. La substracción del promedio de la tasa de pérdida adicional  $Q$ , de  $Z'$ , da las estimaciones de las tasas de mortalidad total,  $Z$ , que pueden ser comparadas con aquéllas hechas según los análisis de las regresiones de las clases anuales sobre la edad (Davidoff, *sin publicar*). A pesar de que las estimaciones de Davidoff no son todavía firmes, parece que, con respecto a las áreas y años en que son posibles las comparaciones, las tasas de mortalidad total computadas por los dos métodos son bastante similares.

El coeficiente de susceptibilidad a la captura computado para el barrilete marcado en los bancos locales durante 1957 ( $q = 0.600 \times 10^{-3}$  por día) es más alto que cualquier estimación computada para el atún aleta amarilla según la marcación de 1955 a 1959. Las estimaciones de  $q$  correspondientes al barrilete en otros años individualmente considerados no podrían hacerse con los datos disponibles. Sin embargo, se hizo una estimación del promedio ponderado del coeficiente de susceptibilidad a la captura de aquellos barriletes marcados frente al Perú septentrional durante el período de 1955 a 1960 ( $q = 0.067 \times 10^{-3}$  por día). Si se compara esta tasa con una estimación promedio computada similarmente para el atún aleta amarilla marcado en los mismos años y áreas ( $q = 0.190 \times 10^{-3}$  por día), parece que el atún aleta amarilla en esta área puede ser más vulnerable (según ha sido definido por Ahlstrom, 1960) que el barrilete, mientras se encuentra en la región de la pesquería.

Las tasas de mortalidad total,  $Z'$  correspondientes a ambos grupos de barriletes (Tablas 8k-1) fueron extremadamente altas (6.98 por año en aquéllos marcados en 1957 frente a Baja California, y 5.02 por año en los marcados durante el período 1955 a 1960 frente al Perú del norte). Sin embargo, estas tasas incluyen alguna pérdida resultante de la emigración del barrilete, de la pesquería del Océano Pacífico oriental tropical. Por ejemplo, barriletes marcados en los bancos locales han sido recapturados en regiones tan distantes como Hawai y la Isla Christmas (Inter-American Tropical Tuna Commission, 1964).

No resulta fácil establecer los límites de confianza en las estimaciones de las tasas de mortalidad computadas en el presente estudio. Gulland

(1963) estableció los límites de confianza en  $\pm 20$  por ciento en sus coeficientes de susceptibilidad a la captura, pero sus datos no requirieron el uso de tantas suposiciones y correcciones como si, los necesitan los correspondientes al atún. Las estimaciones de  $Z'$ , a causa de los coeficientes de correlación altamente significativos, se consideran que tienen mayor validez que los de la mortalidad por la pesca, especialmente porque aquéllas no están sujetas a error por la estimación inexacta del número de liberaciones efectivas.

Las operaciones futuras de marcación pueden ser fácilmente proyectadas para proporcionar estimaciones de todos los diversos factores que afectan el cálculo de las tasas de mortalidad, excepto  $K$ , la porción de peces marcados que sobrevive los efectos iniciales de la captura y la marcación. Mientras que este factor no pueda ser determinado definitivamente, o hasta que no llegue el momento en que la marcación pueda hacerse sin ocasionar la llamada mortalidad *inicial*, será imposible llegar a estimaciones exactas de  $q$  y de  $F$ . Sin embargo, los análisis de los datos de la marcación del tipo de Gulland, según se aplican aquí a los atunes, proporcionan realmente estimaciones directas de las tasas de mortalidad total, estimaciones que concuerdan en general con las resultantes de otros métodos de análisis menos directos.



**LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA**

Ahlstrom, E. H.

- 1960 Fluctuations and fishing, p. 1353-1371.  
*In* Proceedings of the world scientific meeting on the biology of sardines and related species, Rome, Italy, 14-21 September 1959. H. Rosa, Jr. and G. Murphy [Eds.], **3**, Method. Paper No. 5

Alverson, F. G.

- 1960 Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the eastern tropical Pacific by quarters of the year, 1951-1958 [in English and Spanish].  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **4**(6):321-446.

Barrett, I. and A. R. Connor

- 1962 Blood lactate in yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, and skipjack, *Katsuwonus pelamis*, following capture and tagging [in English and Spanish].  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **6**(6):233-280.
- 1964 Muscle glycogen and blood lactate in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and skipjack, *Katsuwonus pelamis*, following capture and tagging [in English and Spanish].  
*Ibid.*, **9**(4):217-268.

Beverton, R. J. H.

- 1963 Introduction, p. 5-6.  
*In* North Atlantic fish marking symposium. Spec. Pub. No. 4, I. C. N. A. F., Dartmouth, Canada.

\_\_\_\_\_ and S. J. Holt

- 1957 On the dynamics of exploited fish populations.  
Ministry Agric., Fish. Invest., Ser. 2, 19, H. M. S. O., London, 535 p.

Blunt, C. E., Jr. and J. D. Messersmith

- 1960 Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959.  
Calif. Fish and 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.  
Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst., 11th Ann. Session, p. 91-99.
- 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):283-332.

\_\_\_\_\_ and I. Barrett

- 1964 Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean [in English and Spanish].  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **8**(8):419-473.

Clark, F. N. and J. F. Janssen, Jr.

- 1945 Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns, p. 7-42.  
*In* Results of tagging experiments in California waters on the sardine (*Sardinops caerulea*). Calif. Div. Fish and Game, Fish Bull. No. 61.

DeLury, D. B.

- 1954 On the assumptions underlying estimates of mobile populations, p. 287-293.  
*In* Statistics and mathematics in biology, Oscar Kempthorne [Ed.], Iowa State College Press, Ames, Iowa, 632 p.

Gulland, J. A.

- 1963 The estimation of fishing mortality rates from tagging experiments, p. 218-227.  
*In* North Atlantic fish marking symposium. Spec. Pub. No. 4, I. C. N. A. F., Dartmouth, Canada.

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 [in English and Spanish].  
*Ibid.*, **6**(1):1-51.

Inter-American Tropical Tuna Commission

- 1964 Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1963. La Jolla, California, 89 p.

Lawler, G. H. and G. F. M. Smith

- 1963 Use of coloured tags in fish population estimates.  
J. Fish. Res. Bd. Canada, **20**(6):1431-1434.

MacKay, D. C. G., G. V. Howard and S. R. Killick

- 1944 Sockeye salmon tagging at Sooke and Johnstone Strait, p. 21-35.  
*In* Int. Pac. Salmon Fish. Comm., Ann. Rep. 1943.

Marr, J. C.

- 1963 Note on the return rate of tagged skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and the effects of handling, p. 15-16.  
*In* North Atlantic fish marking symposium. Spec. Pub. No. 4, I. C. N. A. F., Dartmouth, Canada.

Martin, J. W.

- 1962 Distribution of catch-per-unit-of-effort and fishing effort for tuna in the eastern tropical Pacific Ocean by months of the year, 1951-1960 [in English and Spanish].  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(5):181-229.

Orange, C. J. and G. C. Broadhead

- 1959 1958-1959—A turning point for tuna purse seine fishing?  
*Pacific Fisherman*, 57(7):20, 22, 25, 27.

Parker, R. E., E. C. Black and P. A. Larkin

- 1963 Some aspects of fish-marking mortality, p. 117-122.  
*In* North Atlantic fish marking symposium. Spec. Pub. No. 4, I. C. N. A. F., Dartmouth, Canada.

Paulik, G. J.

- 1961 Detection of incomplete reporting of tags.  
*J. Fish. Res. Bd. Canada*, 18(5):817-832.

Randall, J. E.

- 1962 Tagging reef fishes in the Virgin Islands.  
*Proc. Gulf and Carib. Fish. Inst.*, 14th Ann. Session, p. 201-241.

Ricker, W. E.

- 1958 Handbook of computations for biological statistics of fish populations.  
*Fish. Res. Bd. Canada*, Bull. No. 119, 300 p.

Rounsefell, G. A. and J. L. Kask

- 1945 How to mark fish.  
*Trans. Amer. Fish Soc.*, 73:320-363.

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.
- 1962 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1961, p. 44-171 [in English and Spanish].  
*In* Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1961. La Jolla, California.
- 1963 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1962, p. 35-149 [in English and Spanish].  
*In* Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1962. La Jolla, California.

\_\_\_\_\_ and R. J. H. Beverton

- 1963 Fishery dynamics—their analysis and interpretation, p. 464-483.  
*In* *The Sea*, Vol. 2, M. N. Hill [Ed.], John Wiley and Sons, Inc., New York, 554 p.

\_\_\_\_\_, 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.

Thompson, W. F. and W. C. Herrington

- 1930 Life history of the Pacific halibut. (1) Marking experiments.  
*Rep. Int. Fish (Pacific Halibut) Comm.*, No. 2, 137 p.

Young, H., J. Neess and J. T. Emlen, Jr.

- 1952 Heterogeneity of trap response in a population of house mice.  
*J. Wildlife Manag.*, **16**:169-180.

**APPENDIX A****GLOSSARY OF SYMBOLS USED**

- $A$  = adjusted fractional rate of recovery per thousand standard days fishing.
- $c$  = fraction of the recaptured tagged fish reported.
- $f$  = number of standard days fishing.
- $\tilde{f}$  = total effort in area during experiment.
- $F$  = instantaneous rate of fishing mortality.
- $K$  = fraction of tagged fish surviving immediate mortality.
- $M$  = instantaneous rate of natural mortality.
- $N$  = population of untagged fish.
- $q$  = catchability coefficient per unit of effort.
- $Q$  = instantaneous rate of attrition due to tag shedding, etc.
- $r$  = number of recoveries reported.
- $R$  = number of recaptures.
- $t$  = time.
- $\tau$  = time interval.
- $T_E$  = number of fish which survive capture and tagging.
- $T_o$  = number of fish tagged.
- $\bar{T}_\tau$  = average number of tagged fish remaining during interval  $\tau$ .
- $Y$  = total number of fish caught.
- $Y'$  = fractional recapture rate per unit of effort.
- $Z$  = instantaneous rate of total mortality of untagged fish.
- $Z'$  = instantaneous rate of total mortality of tagged fish.
- $\varnothing(t)$  = fraction of tagged fish surviving to time  $t$ .

**APENDICE A****GLOSARIO DE LOS SIMBOLOS USADOS**

- $A$  = tasa fraccional ajustada de recobro por mil días estándar de pesca.  
 $c$  = fracción reportada de los peces marcados recapturados.  
 $\bar{f}$  = número de días estándar de pesca.  
 $f$  = esfuerzo total en el área durante el experimento.  
 $F$  = tasa instantánea de mortalidad por la pesca.  
 $K$  = fracción de peces marcados que sobrevive a la mortalidad inmediata.  
 $M$  = tasa instantánea de mortalidad natural.  
 $N$  = población de peces no marcados.  
 $q$  = coeficiente de susceptibilidad a la pesca por unidad de esfuerzo.  
 $Q$  = tasa instantánea de pérdida debida al desprendimiento de marcas, etc.  
 $r$  = número de recobros reportados.  
 $R$  = número de recapturas.  
 $t$  = tiempo.  
 $\tau$  = intervalo de tiempo.  
 $T_E$  = número de peces que sobrevive a la captura y a la marcación.  
 $T_o$  = número de peces marcados.  
 $\bar{T}_\tau$  = promedio del número de peces marcados que permanece durante el intervalo  $\tau$ .  
 $Y$  = número total de peces capturados.  
 $Y'$  = tasa de recaptura fraccional por unidad de esfuerzo.  
 $Z$  = tasa instantánea de mortalidad total de peces no marcados.  
 $Z'$  = tasa instantánea de mortalidad total de peces marcados.  
 $\emptyset(t)$  = fracción de peces marcados que sobrevive hasta el tiempo  $t$ .