

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. V, No. 5

**TAGGING AND RECOVERY OF TROPICAL
TUNAS, 1955-1959**

**MARCACION Y RECOBRO DE ATUNES
TROPICALES, 1955-1959**

by—por

MILNER B. SCHAEFER, BRUCE M. CHATWIN

and/y

GORDON C. BROADHEAD

La Jolla, California

1961

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	343
ACKNOWLEDGEMENTS.....	344
METHODS OF TAGGING AND RECOVERY.....	344
RECOVERY RATES.....	346
Effects of temperature, size of fish, and handling on recovery rate.....	353
Rates of tag recovery as a basis of estimating effects of fishing on the stocks.....	357
MOVEMENTS INDICATED BY RECOVERY OF TAGGED TUNAS.....	357
Migrations within the Eastern Pacific.....	359
Yellowfin tuna.....	359
Skipjack.....	360
TIME AND DISTANCE RELATIONSHIPS.....	361
Yellowfin tuna.....	362
Skipjack.....	365
ATTRITION OF TAG RECOVERIES AND ESTIMATION OF SURVIVAL RATES.....	367
Yellowfin tuna.....	367
Skipjack.....	369
ESTIMATION OF GROWTH RATES.....	371
Yellowfin tuna.....	372
Skipjack.....	372
FIGURES—FIGURAS.....	374
TABLES—TABLAS.....	390

SPANISH VERSION — VERSION EN ESPAÑOL

	Página
INTRODUCCION.....	417
RECONOCIMIENTO.....	418
METODOS DE MARCACION Y RECOBRO.....	418
TASAS DE RECOBROS.....	421
Efectos de la temperatura, tamaño de los peces y manipuleo en la tasa de recobros.....	429
Tasas de recobros de marcas como base para estimar los efectos de la pesca en los stocks.....	432
MOVIMIENTOS INDICADOS POR EL RECOBRO DE ATUNES MARCADOS.....	433
Migraciones dentro del Pacífico Oriental.....	435
Atún aleta amarilla.....	435
Barrilete.....	437
RELACIONES DE TIEMPO Y DISTANCIA.....	438
Atún aleta amarilla.....	439
Barrilete.....	442
DISMINUCION DE LOS RECOBROS DE MARCAS Y ESTIMACION DE LAS TASAS DE SUPERVIVENCIA.....	444
Atún aleta amarilla.....	445
Barrilete.....	447
ESTIMACION DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO.....	449
Atún aleta amarilla.....	449
Barrilete.....	450
LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA.....	452

TAGGING AND RECOVERY OF TROPICAL TUNAS, 1955-1959

by

**Milner B. Schaefer, Bruce M. Chatwin and
Gordon C. Broadhead**

INTRODUCTION

Yellowfin and skipjack tuna occur in commercial quantities in the Eastern Pacific Ocean from California to Chile. They are captured in the high seas at distances from the mainland up to several hundred miles (see Alverson, 1960). The Inter-American Tropical Tuna Commission has been engaged for several years in research on the biology, ecology, and population dynamics of the stocks of these species supporting the commercial fishery, in order to elucidate the effects of the fishery and of fishery-independent factors on their abundance and behavior, to provide the scientific basis for rational management of the fishery. An important aspect of this research is the investigation of the migrations of these species in the Eastern Pacific, and the determination of whether each consists of but a single population or is composed of various sub-populations. One direct means of approaching these problems is the tagging, and subsequent recovery, of specimens in the region of the commercial fishery. This also provides direct information on growth rates, by comparison of sizes of specimens at tagging and upon later recovery, and can furnish the basis of estimating rates of mortality. These are two of the important elements of the vital statistics of the tuna populations.

Until 1952, there had been no successful tagging of tropical tunas in the Pacific. Godsil (1938) had, between 1934 and 1938, marked 4,000 yellowfin and skipjack by an opercular tag, which resulted in only a single recovery, one day after tagging. Japanese experiments, discussed by Wilson (1953), with celluloid and silver wire tags affixed around the caudal peduncles of skipjack had been similarly unsuccessful. In 1952, scientists of the California State Fisheries Laboratory (Wilson, 1953) released 350 tagged tunas marked with several types of tags, and made four recoveries (from 81 tagged specimens) of fish marked with polyvinyl plastic tubes inserted through the dorsal muscles posterior to the second dorsal fin. Additional experiments with modifications of this type of tag were made in 1953, with encouraging results, and a considerable number of specimens have been tagged and recovered in subsequent years (Blunt and Messersmith, 1960).

Scientists of the Inter-American Tropical Tuna Commission commenced tuna tagging in November 1955. Through the end of 1959 there

had been liberated a total of 20,479 tagged yellowfin and 49,911 tagged skipjack. From these there have been recovered (through December 31, 1959) 747 yellowfin and 937 skipjack. Although the experiments are still in progress, the data so far accumulated are sufficient to support some conclusions respecting migrations, growth, and mortality of these species and we are, therefore, presenting herewith some preliminary analyses of the data.

ACKNOWLEDGEMENTS

In order to liberate the large number of tunas, recoveries from which are studied here, it has been necessary for scientists and scientific assistants of the Commission to spend many long days at sea on commercial fishing vessels. The devoted work of these men, who are too numerous to mention individually, is gratefully acknowledged. Likewise, we wish to express our sincere appreciation to the masters and crews of the many vessels of the fishing fleet who so generously cooperated in the tagging experiments.

The indispensable cooperation of fishing vessel masters and fishermen, and of cannery workers, in recovering and returning to us the tagged tunas when subsequently recaptured, together with information on their locations and date of recapture, is also acknowledged with gratitude.

METHODS OF TAGGING AND RECOVERY

The California "Type G" tag, the most successful of those tried by Wilson (1953) consists, essentially, of a tube of vinyl plastic, bearing the number for identification, which is inserted through the dorsal muscles of the fish and the ends tied in a knot to form a loop.

Most of the tags employed by the Tuna Commission have been of a similar type (the "loop tags" in our Table 1), illustrated in Figures 1 and 3, but certain modifications of the tag and tagging techniques have been effected to reduce mortality from tagging and possible shedding of tags from the fish. A very few "toggle tags", similar to those employed by the Scots on herring (Wood, Parrish and McPherson, 1955) were tried during two early cruises, but were abandoned, because experiments with such tags on captive mackerel at the Scripps Institution of Oceanography, and on dead tunas (conducted at the Behavior Laboratory, College of Fisheries, of the University of Washington) indicated much shedding. In addition 1284 "dart tags" illustrated in Figures 2 and 3, similar to those described by Yamashita and Waldron (1958) were tried. The dart tags in this preliminary experiment did not seem to offer any advantage over the loop tag (Broadhead 1959a, p.93, and data for Cruise 23 in our Table 2). However, more recent experience indicates that this type may be more advan-

tageous than originally believed and additional experiments with it are now in progress.

Several modifications of the tags and techniques of tagging were developed (Broadhead 1959a) during experiments in 1955-1956. In order to speed up the handling of the fish during tagging, we have employed a metal clamp to fasten the ends of the plastic tube to form the loop. Initially (during all cruises from California through Cruise 13, and also on Cruises from Peru in 1956 and 1957) this was a small monel or stainless steel clamp applied by hand and fastened with ordinary pliers. Subsequently, an automatic stapling device, described by Broadhead (1959a), has been employed. Also, to speed up handling of the fish, we did not initially take any measurement of length, since we deemed the additional numbers of recoveries, providing information on migrations, to be of greater importance than the possible information on growth which might be obtained. It was discovered, however, that with the aid of reference marks on the tagging cradle, the length of the fish could be estimated to the nearest 5 cm. with about 3 or 4 seconds additional time; consequently this has been routine practice since November 1957. The importance of rapid yet gentle handling of these delicate fish, to decrease tagging mortality, cannot be overemphasized. It is believed, for reasons which will be described later, that the tagging mortality is still very high even with present techniques.

The use of the metal fasteners for the loop tags, rather than knots, not only increases the speed of tagging, but tends also to decrease shedding of tags, since it was observed from some of the early returns of knotted loop tags that the knots had become untied. Another possible source of tag shedding, discovered in early experiments, is the breakage of certain types of plastic tubing which became brittle after some time in the sea. This was effectively combated by the insertion of a monofilament nylon core in the plastic tubing, and also by the adoption of a type of plastic which does not become brittle in seawater. Nylon reinforcements were not employed on Cruises 1-4 nor in Peru until January 1957. Half of the tags had nylon reinforcements on Cruises 5-10 and in Peru during January 1957, providing a basis of comparison, the results of which were published by Broadhead (1959a). Nylon reinforced tags have subsequently been used routinely.

It was also indicated that certain tag colors are less easily seen than others, resulting in lower recovery. On Cruises 1 to 5 and at Peru during 1956, white was employed. On Cruises 6 to 10 and at Peru during 1957 experiments were conducted comparing rates of recovery of yellow, white and clear plastic. The results, analyzed by Broadhead (1959a), indicated that the recovery rates of yellow were superior, consequently yellow has been employed routinely thereafter.

Recoveries are made when the tagged tuna are seen at time of capture, during unloading of vessels at canneries, or during butchering and process-

ing of the fish in the cannery. Interest in recovering and returning tags to us, with information on place and date of capture and size of fish at recovery, is maintained by continual personal contact with fishermen and cannery workers and by a system of monetary rewards for the recoveries.

In Table 1 are listed the numbers of tags liberated on each cruise of vessels operating from California, the name of the vessel being shown in the Table. Except for Cruises 2, 18 (where only bluefin tuna were encountered*), and 25, all of these were aboard vessels fishing by the live-bait method. Cruises 2, 18 and 25 were made on purse-seiners. On all of the cruises, except the two "charter" cruises, numbers 23 and 27, the tagging was done by our staff members in the course of regular, commercial fishing trips. This is advantageous in getting wide time and space distribution of tagged fish, but, since the vessel is operating commercially, does not allow us to choose the area of tagging. On Cruises 23 and 27, vessels were chartered by the Commission to enable us to liberate large numbers of tagged fish. The first such cruise was to a degree experimental, to determine feasibility of this method, considering the costs involved. It having proved successful, we chartered Cruise 27, in order to liberate a large number of fish off Central America, where information appeared to be particularly badly needed.

In Peru since the autumn of 1956, and in Ecuador since the autumn of 1958, we have stationed staff scientists to tag fish from locally-based craft during the entire year. The fish have been tagged on a large number of short trips, it not being feasible, therefore, to list each trip individually. In Peru some fish have been tagged from seiners, but most from baitboats. In Ecuador all tagging has been from baitboats.

RECOVERY RATES

In Table 2 are listed the numbers of tagged fish liberated, numbers of recoveries, and percentage rates of recovery (through December 1959), by species, for each cruise from California, and for the aggregate of all tagging, by years, for Peru and Ecuador, together with annual sub-totals for the cruises from California (the year to which a cruise is assigned being according to date of departure in those cases where the vessel was at sea during the year-end, except for Cruise 1). As will be shown subsequently, the great majority of tags recovered is returned within a year after release. Therefore, all the data for tagging through 1958 are comparable between years, but the data for 1959 are incomplete because at the end of that year (where this tabulation ends) numerous recoveries from liberations during that year, especially the later part, were still to be expected.

It will be noted that for the tagging years for which data are essen-

*Recoveries from these tagged bluefin tuna have been reported by Chatwin and Orange (1960).

tially complete (through 1958), the annual average recovery rates for cruises from California, and also for tagging out of Peru, are rather consistent from year to year, ranging (for loop tags only) from 4.9 to 6.3 per cent for the cruises, and 5.2 to 5.8 per cent for Peru. There are, however, large variations in rates of recovery from one cruise to another. Similarly, for skipjack the annual average recovery rate for cruises range from 1.3 to 2.7 per cent, and at Peru from 0.8 to 2.8 per cent, but there are wide variations from cruise to cruise.

It was noted that cruises to certain areas, such as the "local" grounds off Baja California, seemed consistently to yield high recovery rates, while cruises to other areas, such as off Central America, yielded consistently low recovery rates. To furnish a basis of examining variations in recovery rates connected with tagging season and tagging area, and to provide a convenient tabulation of the basic data for some other analyses, as well as to make them available in convenient form for use by other researchers, we have prepared Tables 3 and 4, wherein the numbers of tagged fish of each species are tabulated by month and year for each locality of release, the locality of release being designated by one-degree rectangles. These one-degree rectangles are the same as those employed in our system of tabulation of catch statistics, described by Shimada and Schaefer (1956) and by Griffiths (1960). The primary divisions of this system are five-degree rectangles, coded by the latitude and longitude of the southeast corner. The twenty-five one-degree rectangles within each five-degree rectangle are numbered from one to twenty-five, successively, from east to west and south to north. In Figure 4 is shown a chart of this grid. In Tables 3 and 4 are also shown, in parentheses following the number tagged, the number of recoveries made (regardless of where) from each group of tagged fish.

In order to examine the recovery rates by geographical areas, we have in Tables 5 and 6 aggregated the data of Tables 3 and 4, respectively, by years of tagging and regions of tagging. The Eastern Pacific, for this purpose, has been divided into eleven regions, corresponding as well as possible, on the basis of our experience with the catch statistics, to natural regions of occurrence of tuna concentrations. The boundaries of these regions are indicated on Figures 5 to 12. In addition to the rates of recovery for each tagging year, we have also computed and tabulated the average for all tagged fish liberated through 1958. The data for 1959 are tabulated separately, and are not included in these averages, because, as noted above, returns from that year were not, by the terminal date of our tabulations (31 December 1959), sufficiently nearly complete to be comparable with those from previous years.

It may be seen immediately from Table 5 that there are striking differences in recovery rates of yellowfin tuna tagged in different regions. Although there is considerable year-to-year variation, the recovery rates

from fish tagged off Baja California are consistently high, and are nearly as high for fish tagged off northern Peru. Somewhat lower rates of recovery were obtained from fish tagged at the Revilla Gigedo Islands, in and near the Gulf of California, and off the southern Mexican coast. Similar intermediate recovery rates are indicated for Galapagos Islands and Colombia-Ecuador regions, but the data are too few to inspire much confidence. A strikingly low recovery rate, only about one-fiftieth of that obtained from the aggregate of all data, resulted from tagging off Central America between 5° and 15°N latitude.

The rates of recovery of yellowfin in different regions are correlated with the mean sea-surface temperatures. It may be seen from the Atlas of Sea Surface Temperatures (U. S. Navy H. O. 225, 1948) or Charts II and III of Sverdrup, Johnson and Fleming (1942) that the warmest region of the Eastern Pacific is the region of the meteorological equator, centered at about 10°N latitude, where sea-surface temperatures are above 80°F throughout the year, except for, in March, a small near-shore region just north of 10°N latitude, where mean temperatures are slightly below that value. Northerly and southerly of this zone, increasingly cooler sea temperatures are encountered, and there are seasonal variations in sea temperature. These variations are of greatest amplitude off Baja California and off Peru.

In Table 7, the recovery rates of yellowfin tuna have been tabulated for months and quarters for four zones of latitude. In the zone 15°N to 5°N, corresponding to the warmest part of the Eastern Pacific, only three recoveries have been made from 2454 yellowfin tagged in 1956-1958. The data for this zone are inadequate to examine seasonal differences in recovery rates, although the recovery of two tags out of 618 during the first quarter compared with one tag out of 1718 during the second quarter, would be expected to occur by chance only about once in ten trials. In the region 5°N to 2°S, the data are, again, too few to make seasonal comparisons of recovery rates. In the region north of 15°N the recovery rate during the first quarter is understandably low, because during this season very little fishing is done here, except off southern Mexico. The data of the table suggest that the recovery rates in August and September, which are the warmest months of the year in this region, but also correspond to period of high fishing intensity, are lower than in adjacent months. However, the data for August contain the results of the charter cruise on the *North American* (Cruise 23) in August 1958 (see Table 2) during which a large number of tagged fish were liberated in a region off Baja California where few vessels of the commercial fleet were operating. This could have badly biased downward the recovery rate, due to lack of short-term recoveries. Eliminating these data, the recovery rate for remaining tags liberated during August is 9.7 per cent, nearly identical with that for September. It may be noted that, even with this correction, the recovery rate for August and September appears to be lower than for the adjacent months (June-

July and October-November), for which the aggregate rate of recovery is 14.8 per cent. A contingency (Chi-square) test indicates that this difference could be expected to occur by chance less than five times in 1000 trials.

Similarly, the recovery rate in the region south of 2°S during the first quarter, and especially during February and March which are the months of warmest sea temperatures, is evidently a good deal lower than during other seasons. Comparing the recovery rate during the first quarter (3.5 per cent) with that for the aggregate of the other three quarters (7.4 per cent), a contingency test indicates that this could be expected to occur by chance in far less than five trials in 1000.

These results suggest very strongly that the rate of recovery is inversely related to the sea temperatures at tagging, and it is hypothesized that this is because the mortality suffered by the fish during catching, tagging, and liberation, probably due to hyperactivity, is enhanced at higher temperatures (see page 352).

In any case, it becomes evident that the yellowfin tuna suffer a rather high tagging mortality, if one compares the recovery rates of tagged fish with those which would be expected if no tagging mortality occurred, based on consideration of the vital statistics of the yellowfin tuna populations in the Eastern Pacific. This matter may be approached as follows:

Given an initial population of N_0 fish in the sea, subject to an instantaneous natural mortality rate of M and an instantaneous fishing mortality rate of F , the rate of change of this population may be expressed by

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = -F - M \quad \text{..... (1)}$$

Integrating this equation, we see that the number of fish surviving at time t , denoted by N_t , is

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t} \quad \text{..... (2)}$$

The rate at which fish are being caught, at any time, t , is

$$\frac{dY}{dt} = FN_0 e^{-(F+M)t} \quad \text{..... (3)}$$

The total number caught, designated here by Y_t , from $t = 0$ to any later time, t , is obtained by integrating (3)

$$\begin{aligned} Y_t &= \int_0^t FN_0 e^{-(F+M)t} dt \\ &= \frac{FN_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}) \quad \text{..... (4)} \end{aligned}$$

The total number caught over the whole span of time, Y , is, then, the limit of Y_t as $t \rightarrow \infty$.

$$Y = \frac{F}{F+M} N_0 \dots\dots\dots (5)$$

(For the tropical tunas the total mortality rate is so large that the value of Y is essentially the same as Y_2 , i.e., nearly all the catch is made in two years).

The fraction of N_0 which is caught is, of course,

$$\frac{Y}{N_0} = \frac{F}{F+M} \dots\dots\dots (6)$$

An estimate of F has been provided by analysis of catch statistical data by Schaefer (1957), the most likely value being 0.95 (for the year as the unit of time). Estimates of $F+M$ have been obtained from analysis of the age structure of the population together with catch statistics (Schaefer 1960, and Hennemuth (1961b)). These indicate that $F+M$ is in the vicinity of 1.90. It thus appears that M and F (at recent levels of fishing effort) are approximately equal, each being about 0.95. From (6) we estimate, therefore, that from a group of untagged fish entering the fishery about half would be caught.

Now let us consider what happens to tagged fish. A group of tagged fish, initially T_0 in number, may suffer an initial quick mortality from capture and handling during tagging so that only KT_0 of them survive. In addition to the fishing and natural mortality rates to which they are subsequently subjected, in common with their untagged fellows, there may be additional attrition from shedding of tags, or from mortality resulting from carrying a tag. We may designate the rate of attrition due to these additional factors by Q . The number of tagged fish surviving in the fished population at time t , denoted by T_t , is, then (corresponding to equation (2) above)

$$T_t = KT_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots\dots\dots (7)$$

and the total number of tagged fish caught will be (corresponding to equation (5) above)

$$\frac{F}{F+M+Q} KT_0 \dots\dots\dots (8)$$

Of the number caught, some are overlooked or, if seen, are not returned to us, so that only a portion, c , of those caught are "recovered." The number of recoveries is, then,

$$\frac{F}{F+M+Q} cKT_0 \dots\dots\dots (9)$$

and the fraction of the number of tagged fish liberated which are recovered, which we designate by r , is

$$r = \frac{F}{F+M+Q} cK \dots\dots\dots (10)$$

As noted above, the average attrition rate for untagged yellowfin, estimated from data on age composition and catch statistics is about 85 per cent per year, corresponding to a value of $F+M$ of 1.90. In a later section of this paper it will be seen that the attrition of tagged yellowfin is probably between about 85 per cent and 95 per cent per year, corresponding to

$F+M+Q = 1.90$ to 2.99. Thus, $\frac{F}{F+M+Q}$ is estimated to be about $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{3}$ and we can take cK to be about

$$cK = 2r \text{ to } 3r$$

Thus, for a recovery rate of 5.3 per cent (the average for all yellowfin recovered from tagging through 1958) cK would equal 10.6 to 15.9 per cent, corresponding to an average loss and non-recovery of captured tagged fish of 89.4 to 84.1 per cent. For the tags liberated north of 15°N , assuming the same value of $F/F+M+Q$ applies to this part of the fishery, for which an average recovery rate of 7.3 per cent has been obtained, cK would be equal to 14.6 to 21.9 per cent, corresponding to loss from tagging mortality and non-recovery of captured tagged fish of 85.4 to 78.1 per cent.

It is difficult to estimate c . Broadhead (1959a) estimated that half of the tagged fish captured were not recovered. Recent experiments (unpublished data of the IATTC) indicate that, with improvements in tags and recovery techniques, we may be losing as few as ten per cent of the tagged fish captured. With c equal to 0.5, the estimated tagging mortality corresponding to a recovery rate of 5.3 per cent would be 78.8 to 68.2 per cent. Corresponding to a recovery rate of 7.3 per cent would be an estimated tagging mortality of 70.8 to 56.2 per cent. With c equal to 0.9, these estimated tagging mortality rates would be 88.2 to 82.4 per cent, and 83.8 to 75.7 per cent, respectively.

The rather high values of mortality at tagging, inferred above, are not improbable. It has been shown experimentally by Parker and Black (1959) that a mortality rate estimated at 71 per cent (confidence limits 40 to 86 per cent), occurring within several hours, is suffered by chinook salmon (*O. tshawytscha*) taken from the sea by trolling (hook and line) gear. Parker, Black, and Larkin (1959), on the basis of similar experiments with troll-caught coho salmon (*O. kisutch*) estimated the mortality at 44 per cent (confidence limits 34 to 52 per cent). Death was associated with high levels of lactic acid in the blood, and was attributed to the effects of anaerobic respiration consequent upon hyperactivity of the fish during capture and handling. These authors cite numerous other examples of mortality due to hyperactivity of fishes. It is noteworthy that the very high levels of lactic acid, and the death of the fish, did not always occur immediately after capture, but often after a lapse of some hours.

Black (1957) had earlier subjected two-year old sockeye salmon (*O.*

nerka) reared in a hatchery, but held in seawater for a year and a half, to forced exercise. Fifteen minutes of severe exertion greatly increased the lactic acid of their blood, and resulted in the death of five out of 19 individuals between the first and second hour *after* the exercise ceased.

This mortality due to hyperactivity is attributed to the inability of the fish to recover from the effects of production of energy anaerobically during severe exertion. As Parker, Black and Larkin note, most fish are chronically in oxygen distress because of low solubility of oxygen in water, especially in seawater. They note that the active rate of oxygen uptake is limited to a few multiples of the standard rate, and that energy in excess of the active rate must be derived anaerobically, mainly by glycolysis, with production of lactic acid and other physiological effects.

It is to be expected that the effects of hyperactivity for tunas may well be more severe than for salmon. We note that the tunas have an extremely well-developed and complex vascular system (Kishinouye, 1923) to deliver large supplies of blood to the muscles, which is perhaps evidence that they are normally generating energy at a rate very close to that which can be supported by aerobic respiration. The water in which the tropical tunas live in the Eastern Pacific, because of high temperatures, are low in oxygen, surface values being almost always less than 6 ml/L (Wooster and Cromwell, 1958; Holmes, *et al*, 1958). The water of the region off Central America, which is the warmest area, has, of course, the lowest oxygen content. It is reasonable to hypothesize that the relationship between low tag recovery rate and high water temperature, noted earlier, is due to the lower oxygen content of the warmer water, and consequent increased difficulty for the tunas to recover from the effects of hyperactivity.

It is also pertinent to note that the salmon studied by Parker and Black (1959) and by Parker, Black and Larkin (1959) did not behave normally during the recovery period following exertion. When placed in a live-box to recuperate, they usually were active and lively, but after a short time exhibited symptoms of disequilibrium. Fish in the sea behaving in this fashion would be easy prey for any predators in the vicinity. Thus for tagged fish liberated immediately into the sea, mortality due to inability to recover from the physiological effects of hyperactivity would be enhanced by predation in their debilitated state. In about a dozen instances, taggers have recorded observing tagged tunas in a state of disequilibrium being captured by sharks immediately after release.

In Table 6, tagging and recovery data for skipjack have been tabulated for the same eleven tagging areas employed for yellowfin in Table 5. Although the differences among areas are not as great as for yellowfin, the patterns are not dissimilar. It may be seen that the average recovery rates are higher in the areas to the north of 20°N and to the south of 5°N than in the intermediate, more tropical, areas. (The low rate for tags liberated

near the Peru-Chile boundary in 1957, is probably attributable to low fishing effort in this locality which is at the extreme southern edge of the fishery and is visited only sporadically by the fleet). These data suggest that for this species also, the recovery rate is lower for fish tagged in the warmer part of the sea, although the evidence is not so striking as for yellowfin.

These data for skipjack have also been retabulated in Table 8 by months by the four broad zones of latitude of tagging location. The lowest aggregate recovery rate is for fish tagged in the warmest zone, between 15°N and 5°N, no seasonable differences are apparent. We have no explanation for the apparently lowered recovery rate in the zone 5°N to 2°S during July-August. South of 2°S the highest recovery rates were obtained during the third, and the coldest, quarter. This is in accordance with expectation if tagging mortality is enhanced at higher temperatures. North of 15°N, the recovery rates are lowest during the warmest quarter of the year. There is a possibility, however, as noted earlier, that the data for August may be biased by the results of the large number of tags liberated in an area of possibly low fishing effort during the charter cruise of the *North American* in August 1958. Eliminating these data, the recovery rate of the remainder of the tags liberated in this area during the third quarter amounts to 3.8 per cent, which is not dissimilar to the recovery rates for adjacent months. It must be concluded that these data do not provide much, if any, support for the thesis that skipjack recoveries decrease when the fish are tagged in warmer water.

It is not possible at this time to arrive at estimates of tagging mortality for skipjack, because we do not have any estimate of F for this species for use in formulae (1), *et seq.*, above. We have reason to believe, of course, that F is a good deal lower for skipjack than for yellowfin, since there has been no detectable change in the apparent abundance of this species with increased fishing effort and catch (Shimada and Schaefer, 1956; Schaefer, 1960).

In addition, if the fish upon which the fishery operates, and among which the tagged members are released, is only one section of the population, there being other unfished sections with which they interchange, there may also be an apparent attrition due to emigration of tagged fish out of the fished component. When this emigration is in the nature of a random movement, however, the coefficient of rate of decrease of tag recoveries due to this factor will not be constant, but will be a function of time. This appears to be the case for skipjack, as will be shown subsequently (page 370).

Effects of temperature, size of fish, and handling on recovery rate

The foregoing comparisons of recovery rates among areas and seasons suggests, as we have pointed out, that the tagging mortality increases with

temperature, especially for yellowfin, resulting in lower recovery rates from groups of fish tagged at higher temperatures. Fortunately, the sea temperature at tagging was recorded in nearly all cases, so this may also be examined more directly.

At the same time, we have observed that there appears to be a tendency for lower recovery rates to be associated with the smaller tagged fish. Data on this latter point are only available since November 1957 when, as noted earlier, we commenced, in almost all instances, to estimate the length of the fish to the nearest 5 cm. with the aid of a scale marked on the tagging cradle.

Data to examine, within regions, the degree of association of rate of recovery with sea temperature, size at tagging, and whether or not measured, are sufficiently extensive for only two tagging regions, 1) the region off the western side of Baja California and 2) the region off the coast of South America between 2°S and 10°S (not including Galapagos Islands). The latter encompasses two of the regions employed in Tables 5 and 6, and is apparently homogeneous with respect to its tuna stocks. Data employed in this phase of the study are fish tagged through 1958 and recoveries from them through 1959.

In Tables 9 and 10 we have tabulated, for the region off Baja California and the designated region off South America, respectively, the number of tagged yellowfin tuna liberated, and the numbers of recoveries, according to the sea temperature at tagging and whether or not the fish was measured. In the latter case, the liberation and recoveries are also tabulated by 10 cm. intervals of length at tagging. Percentage recovery rates were computed and are also tabulated. Data of the same sort for these same two regions for tagged skipjack are tabulated in Tables 11 and 12.

In order to examine the significance of the observed variations in recovery rates, by the method of analysis of variance, it is necessary to transform the percentage recoveries by

$$Y = \arcsin \sqrt{X}$$

where X is the fraction recovered and Y is the transformed variate upon which the variance analysis is performed. The procedure is described in Snedecor (5th edition, 1956, pp. 316, 338, 382, *et al.*).

It should be noted that the tag liberations, and therefore opportunities for recapture, were not randomized with respect to any of the variables. Nearly all of the "not measured" fish were tagged prior to November 1957, while nearly all of the fish measured were tagged after that date. Sea temperatures, of course vary seasonally, and so to some extent do the fish sizes, while, at the same time, there is seasonal variation in the fishing

effort in each region. The data need, therefore, to be examined with some caution.

The analysis of variance for temperature effects and for measurement effects indicates, for yellowfin tuna in both areas, a highly significant* temperature effect, but the measurement effect is significant only in the northern area. For skipjack, both temperature effect and measurement effect are highly significant in both areas. Note, however, that the recovery rates were *higher* for the measured fish off Baja California! Interaction is significant only for skipjack off Baja California, probably arising from the experimental design rather than any real differences among measurement effects at different temperature.

Analysis of variance, employing those fish that were measured, for temperature effects and size effects, indicates, for yellowfin tuna, that in the northern area both temperature and size effects are highly significant, while in the southern area only the temperature effect is. Interaction is significant only in the southern area.

For skipjack, the analysis of recoveries of fish that were measured shows a highly significant temperature effect off Baja California, but this is not demonstrable off South America. Size effect is significant only off Baja California. The existence of highly significant interaction between temperature and size off South America, although neither effect alone is present, is somewhat surprising. It would purport to indicate that certain sizes and temperatures together would affect the recovery rate, although neither is effective alone. This arises because, in Table 12, high recovery rates are associated with both low and high temperatures for large fish, but with intermediate temperatures for smaller fish. We do not think this is real; it doubtless arises from the non-randomization of the data.

The effects of temperature on recovery rate are undoubtedly real, and appear to be probably most important for yellowfin. For both measured and non-measured yellowfin, and, in the case of the former, for fish of different size categories, there is a striking gradient of increased recovery rate with decrease in temperature, in both areas. The same is true of skipjack off Baja California. However, off South America, the gradient of change of recovery rate with temperature at tagging is less steep for the "non-measured" fish and is not demonstrable for the measured fish. The adverse effects of high temperatures on recovery rates (which we believe to be due to increased tagging mortality at higher temperatures, as discussed earlier), are probably underestimated by these data. Off Baja California and also off South America, although perhaps to a lesser degree, the intensity of fishing varies seasonally, the highest intensity occurring during the warm months. Since a large share of our recoveries are "short-term", within a few weeks of tagging, one would, therefore, *ceteris paribus*,

*In these tables we follow the convention of indicating significance at the 5% probability level by a single asterisk and significance at the 1% probability level by a double asterisk.

expect to obtain *higher* recovery rates at high temperatures, rather than the opposite which we have observed.

The reasons for decreased recovery rate with decreased length of fish at tagging are perhaps not so simple. Table 9, for yellowfin off Baja California, seems to indicate that, on the average, there is a sharp increase in recovery rate with fish size up to about 60 cm., and that thereafter it may increase only slightly. Off South America, Table 10, the recovery rate for the smallest size class, under 50 cm., appears to be lower, but for all larger sizes it remains about the same, and the analysis of variance does not indicate that even the difference for the smallest size class to be significant. One is tempted to attribute the observed differences to size-selectivity of the fishery, and it is probably an important element. Nearly all of the fish taken off Baja California are landed in California, which enforces a minimum legal size of 7.5 pounds (about 55 cm.) on yellowfin tuna. A large share of the yellowfin captured off South America is landed where such a size limit is not imposed. The data are, thus, consistent with a hypothesis that the low recovery rate from small fish is the result of the fishermen avoiding them. We are not satisfied that this is the whole explanation, however, and there may, in fact, be actually a higher tagging mortality among very small fish. If one applies the growth curves of Hennemuth (1961a), involving some extrapolation, it would appear that it requires 2 or 3 months for a yellowfin tuna to grow from 45 cm. to 55 cm. If the natural mortality rate which we have estimated for fish of commercial sizes (61% per year) applies to these sizes also, the loss by natural death during this period would be 15% to 22%. We would then expect, *ceteris paribus*, the recovery rate of these small fish to be about 80% of that of larger fish off Baja California. Instead it is much lower. This, obviously, requires further investigation.

We have some doubt about the reality of the "measurement" effects. No such effect is evident off Peru for yellowfin tuna, although the unmeasured skipjack seem to have yielded a higher recovery rate than those which were measured. Off Baja California, measurement of yellowfin seems to be associated with decreased recovery rates, especially at higher tagging temperatures. However, the data for skipjack in this region shows a significantly higher rate of recovery for fish that had been measured.

Certainly the extra time involved in careful measurement of fish length at tagging can be expected to result in tagging mortality. Indeed, that is why we did not follow the practice of the California State Fisheries Laboratory (Blunt and Messersmith, 1960) in taking measurements of total length, and contented ourselves with simply estimating the length to the nearest 5 cm. after November 1957. It appears now doubtful whether or not this estimation involves sufficient added delay in the tagging operation to induce added mortality. This matter will require experiments designed to answer that question.

Rates of tag recovery as a basis of estimating effects of fishing on the stocks

In the foregoing analyses it has been shown that there is good reason to believe that, despite the careful methods that have been employed in tagging of tropical tunas, there is a substantial tagging mortality, and that this mortality varies with sea temperature, and perhaps also with fish size. Tagging mortality is also probably affected substantially by rather small differences in tagging technique, as evidenced, for example, by the differences between recovery rates reported by Blunt and Messersmith (1960) and those reported herein, even for the same areas. Therefore, one simply cannot employ the crude recovery rates to make any warranted assertion respecting the rate of harvesting of the stocks. As we have indicated earlier, in relation to estimation of possible rates of tagging mortality, and as will be discussed later in other contexts, the tag recovery data for yellowfin tuna are not inconsistent with rates of fishing mortality and total mortality which have been adduced by other means, if we consider all the processes involved. We do not, however, believe it to be possible at this time to adduce useful estimates of fishing mortality rates from the tag-return data.

Blunt and Messersmith (1960) wrote:

“Tagging mortality and nonobservation of tags during normal handling and processing of the tunas have, without doubt, materially affected the recovery rates. Even so recoveries of tagged yellowfin tuna from 1954 to 1959 *indicate a rate of harvest* which in most areas would not be expected to have an appreciable effect on the population”. (italics ours).

We consider the second sentence, based on much less data than presented herein, and with no attempt at serious analysis with respect to estimation of “rate of harvest”, to be unwarranted and unsupportable.

MOVEMENTS INDICATED BY RECOVERY OF TAGGED TUNAS

One of the most striking and important results of the tagging of yellowfin and skipjack tunas in the region of the fishery off the coast of the Americas is the indication that they are much less migratory than might have been expected. Evidence from the tag recoveries is that they do not migrate, in large numbers at least, to other regions of the Pacific Ocean, and that, even within the Eastern Pacific region, the fish are not rapidly mixed.

Through December 1959, we had recovered 747 tagged yellowfin tunas and 937 tagged skipjack. In addition, Blunt and Messersmith (1960) have reported the recovery of 263 yellowfin and 237 skipjack tagged in the Eastern Pacific. *All* of these have been recovered in the region of the fishery off the Americas; *none* has been returned from regions to the westward. In contrast, albacore tuna (*T. germo*) tagged off California, providing much smaller total numbers of recoveries, have yielded recoveries in the Central

Pacific near the Hawaiian Islands and in the Western Pacific off Japan. Indeed, such far distant recoveries constitute a substantial share of all albacore recoveries in the years following the year of tagging (Clemens, 1959).

It is to be noted that a large share of our recoveries of yellowfin tuna and skipjack has been made within a few months of tagging. Yet a considerable number has been made a year or more after liberation (Tables 13 and 14). If there were any very substantial portion of the fish tagged in the Eastern Pacific moving to other parts of the ocean where much fishing is done, we would expect to get at least a few recoveries from such regions.

In the case of yellowfin tuna, the evidence of lack of significant migration far to the westward is fairly convincing. There is a substantial fishery throughout the Equatorial Central Pacific, regularly extending eastward to 110° or 120°W longitude, conducted by Japanese longline vessels, which would be expected to capture some of our tagged fish if they moved westward into that region. It is, of course, possible that too few of the small yellowfin we have tagged survived to reach the larger sizes taken on longline gear, or that tagged fish were captured on such gear but the tags were not returned to us. However, the negative evidence from the tag returns confirms the conclusion of independence of yellowfin stocks in the Eastern and Central Pacific arrived at by Schaefer (1952, 1955), Royce (1953) and Broadhead (1959b) based on morphological differences.

The evidence for lack of far-westward migration of skipjack is much less impressive, and it is, in our opinion, quite possible that the skipjack population supporting the fishery adjacent to the American coast is only a portion of a population which ranges far to the westward. There is no substantial fishery for skipjack anywhere in the Central Pacific, except the rather minor fishery near the Hawaiian Islands. Such tagged skipjack as might migrate westward would thus have little or no opportunity to be captured. Nor have morphological studies revealed any indications of differences between the skipjack of the Eastern and Central Pacific (Hennemuth, 1959). The western extent of the range of the skipjack population supporting our fishery remains, thus, an open question.

Even within the range of the fishery in the Eastern Pacific, the migrations of these tropical tunas are rather less extensive than one might believe *a priori*. The relationships of distance between locality of tagging and locality of recovery to time at liberty for each of the two species may be seen from Tables 13 and 14. In these tables are shown the net distance of movement and the time at liberty, for various tagging regions, for all specimens recovered through October 1959 for which this information was available. We will discuss some features of these data more extensively later. At this time we wish to point out only the substantial share of the recoveries which have been made within fifty or a hundred miles of the

tagging locality, even after many months at liberty. These tunas, at least at the sizes we have tagged, are obviously not roaming rapidly all over the range from California to Peru.

Migrations within the Eastern Pacific

Figures 5 to 12 have been prepared, for tag recoveries through 1959, to illustrate the recoveries made in the general region of tagging, and the inter-regional movements, and to provide a basis of studying seasonal inter-regional migrations patterns. On the charts are shown, for each species, for each quarter, for each tagging region: (a) the total number of tagged fish captured within the region during the quarter (the upper number), (b) the number of recoveries of fish that were originally liberated *outside* the region (the lower number), (c) arrows to indicate the region or regions from which the latter migrated, and (d) a list of each group of inter-regional migrants, showing days at liberty and month and year of tagging.

Yellowfin tuna

Examining the charts for yellowfin tuna, and directing our attention first to the northern regions, north of the Gulf of Tehuantepec, we observe that in the spring (April-June), a considerable share of the tagged fish captured in the vicinity of the mouth of the Gulf of California had originated in other areas, some of these having moved from the south during the preceding two to seven months, and several having been liberated off Baja California during the late summer and fall. In July-September, when the fishery is concentrated off Baja California, one fish was recaptured there which had been tagged near Tres Marias Islands the preceding winter. In October-December an additional recovery was made off Baja California which had been tagged off the Mexican coast in the spring, and one fish showed a rapid movement from the Baja California banks to near Cape San Lucas. Southerly movement is also indicated by two inter-regional recoveries in January-March off the southern Mexican coast. It appears from these data, and from data on migrations within the Baja California region (see also Blunt and Messersmith, 1960), that there is a general tendency for migrations northward from the Mexican coast to the mouth of the Gulf of California and subsequently to the banks off Baja California during the spring and summer, and for southerly migrations during the late fall and winter, by a population component that extends southerly to at least the Gulf of Tehuantepec.

We have made only a single recovery of a yellowfin at Revilla Gigedo Islands from tagged fish liberated off the southern Mexican coast. Blunt and Messersmith (1960), however, indicate two such recoveries, and also show three fish tagged in Revilla Ggedos which were recovered off Baja California.* It thus appears that the yellowfin tuna of these offshore

*Subsequently, we tagged 909 yellowfin tuna and 2,364 skipjack, near the Revilla Gigedo Islands in April 1960, and there have been recovered near Baja California, through 29 November 1960, 38 yellowfin and 38 skipjack.

islands are, in part at least, coextensive with the stocks of the mainland.

These data on yellowfin migrations among the several regions north of the Gulf of Tehuantepec are consistent with the results of size-frequency analyses reported by Hennemuth (1961a), which indicate that these regions are inhabited, in large part at least, by a common stock of yellowfin tuna.

No inter-regional movements to or from the regions between 15°N and 5°N have been recorded by us during the first two quarters of the year. It will be noted, however, that *any* recoveries in these regions have been few and, as we have shown earlier, fish liberated here are subject to very high tagging mortality. In April 1959, however, 6331 yellowfin tuna were liberated off Panama and Costa Rica on the charter cruise aboard the *Mary Jo* (Cruise No. 27) and several long-distance migrations had been recorded for tagged fish liberated during this cruise during the period included in this study. It will be seen on Figure 7 that one of these fish was recovered some four months later off Ecuador. In October-December (Figure 8) three others were recovered off Colombia and Ecuador, and two were recovered just north of the Gulf of Tehuantepec. These latter recoveries, and also the yellowfin migrations from off Guatemala to well north of the Gulf of Tehuantepec reported by Blunt and Messersmith (1960), indicate that there is at least some movement of fish from the regions off Central America into at least part of the area inhabited by the populations off Southern Mexico. At the same time, the southerly migrations from off Panama to as far south as the vicinity of the Gulf of Guayaquil, noted above, indicate that the stocks off South America receive at least some recruits from off Central America.

The inter-regional migrations of yellowfin tuna among the several tagging regions off South America indicate that there is considerable mixing. There is evident a distinct seasonal pattern of movements between the region near the Gulf of Guayaquil and farther south off Peru, the tuna tending to move south during the warmer months and north during the cooler months. This is quite analogous to the northerly and southerly migrations of yellowfin off Baja California and southern Mexico, the fish moving polewards with the warming of the water, and equatorwards as the water cools.

That the yellowfin tuna stocks near the coast of South America and those of Galapagos are at least not entirely separate is shown by the recovery (Figure 6) of one fish which had moved from the Islands to the coast. Blunt and Messersmith (1960) also show a single recovery of this sort.

Skipjack

We have observed, through 1959, essentially no inter-regional movements of skipjack among the regions north of the Gulf of Tehuantepec. Within the region off Baja California, there have been recorded migrations

from the southern part of the region to as far north as 30°N, especially during the summer months (see also Blunt and Messersmith, 1960). Through 1959 we had not recorded any movements between the Revilla Gigedos and the coast, but subsequently from tagged fish released in early 1960 several have been observed.* It should be noted that skipjack are relatively scarce in the commercial tuna catches off the southern Mexican coast (Shimada, 1958).

At the southern extreme of the range of the fishery, there is evident considerable exchange of skipjack among the regions off Colombia, Ecuador, and Peru, and some influx of fish into these regions from the region off Central America. The pattern of recoveries indicates a predominantly southern movement to the "14 fathom" area (near 9°S) during the months of the southern summer, and a northerly movement from this region during the southern winter. Note, however, that two returns from off northern Chile in October-December were fish that had been liberated in the "14-fathom" area in October and August. The considerable number of exchanges between the area off the Gulf of Guayaquil and the adjacent northerly region show a less clear seasonal pattern, but there is some evidence of a predominance of southerly migrants during the southern spring and summer.

During Cruise 27, the charter cruise aboard the *Mary Jo*, there were liberated off Central America, in April 1959, 5992 tagged skipjack. During the remainder of the year, a number of these were, as may be seen from Figures 10 to 12, recaptured in regions to the southward, thus indicating that the skipjack stocks off Central America contribute substantially to those off South America. It is noteworthy that *none* of these skipjack tagged off Central America had, through December 1959, been recovered in regions to the north, which is in contrast to the yellowfin (Figure 8) which were tagged at the same time.

Only one skipjack has been found to migrate from Galapagos to the coast (Figure 9). However, tag liberations of both species in Galapagos have been relatively few. More data are required before drawing conclusions about the interrelationships of the stocks near Galapagos and along the coast.

TIME AND DISTANCE RELATIONSHIPS

In order to examine in more detail the nature of the dispersion of tagged fish from the localities of tagging, we have prepared Tables 13 and 14, for tagged yellowfin tuna and tagged skipjack, respectively, recovered through October 1959, for which both the time at liberty and the locality of recovery could be determined with precision. Some of the recoveries cannot be used for this purpose, because the information on time or place

*See footnote on page 359.

of recovery was not ascertainable with sufficient accuracy. Even for those recoveries used, the general order of precision of the net distance of movement is only of the order of 10 or 20 miles, since the vessel masters do not ordinarily record their positions with greater precision. For example, when fishing near the Revilla Gigedo Islands, the master will usually log his position only as that of the island which he is near; thus there appear zero net movements for fish which were tagged near one of these islands and caught later near the same island, although the distance between point of tagging and point of recovery may have actually been ten or twenty miles, or more.

In these tables we have tabulated the frequencies of recoveries by 30-day intervals of time and 50-mile intervals of net distance. For each species, there are tabulations aggregating all of the data for all regions north of 15°N and for all regions south of that latitude, followed by tabulations showing the data segregated by tagging areas comprising these larger areas. In those instances where the recoveries are sufficiently numerous, there have been computed and tabulated, for each 30-day interval, the mean time at liberty (\bar{t}), the mean distance (\bar{D}) and the mean square distance (\bar{D}^2), for the recoveries within that interval. The latter is of some use in examining the nature of the dispersion from the point of tagging, since, if the fish dispersed in a purely random fashion, and the availability to capture was everywhere uniform, the mean square distance would increase in direct proportion to the time at liberty (Skellam, 1951; Jones, 1959).

Although these data provide a useful representation of the relationships between time at liberty and dispersion of tagged tunas *which were recaptured*, their interpretation in terms of the actual dispersion of members of the tuna populations which they represent is difficult. The dispersion of the returns depends both on the dispersion of the tagged fish and on the distribution of the fishing effort in space and time. Since the effort is not equally distributed over the whole Eastern Pacific, the pattern of returns will be influenced by the distribution of the effort. Especially, there is no effort offshore beyond a hundred miles or so, except where there are offshore islands, so that tagged fish which move far out from the coast are not available to recapture. This needs to be borne in mind in examining the data in Tables 13 and 14.

Yellowfin tuna

The recoveries of yellowfin tuna from all northern areas and all southern areas are similar in that, in both instances, there is a general increase in the distance of the recoveries from the point of tagging, reflected both in the mean distance and in the extreme distances recorded, during the first eight or nine months, with a decrease thereafter. Exami-

nation of the component areas, however, reveals that the data are not so simple or homogeneous. In Figure 13 have been plotted the values of mean distance against time for (a) all northern areas, (b) the "local banks," i.e., the area off Baja California, and (c) the Gulf of California and southern Mexican coast. (The remaining component of the "northern areas," the Revilla Gigedo Islands, yielded too few returns to plot). It may be seen from this figure that the dispersion of tag recoveries is quite different for tagged fish released in different northern areas.

Tagged yellowfin tuna liberated on the "local banks" apparently move away from the point of tagging very slowly, the mean distance reaching a maximum of about 100 miles after eight or nine months, then decreasing again to a low value after a year at liberty. The apparent annual cycle may be due to an annual migratory cycle, but it may also be due, in part, to the annual cycle of fishing off Baja California, since the fishery here is most intense during the late summer each year. Since there is a fairly heavy fishery off the southern Mexican coast and in the Gulf of California in the late winter and spring, which has yielded only a few returns of fish tagged off Baja California (Figure 6), it would appear from these data that there is no large-scale movement in that direction. It is also noted that there are substantial numbers of recoveries made in the region off Baja California during each month of the year following tagging. These data would seem to indicate that the yellowfin tuna off Baja California are, for the most part, a resident stock. However, this does not agree with the lack of spawning in this area (Schaefer and Orange, 1956; Schaefer, 1960; Orange, 1961). It may be that the fish migrate southerly at larger sizes than are reached by very many of the fish which we have tagged here, which are mostly small when tagged.

In contrast, yellowfin tagged off the southern Mexican coast and the Gulf of California seem to disperse from the tagging point very rapidly. As may be seen from Table 13, short-distance recoveries drop off rapidly, and the mean distance of movement increases continuously during the whole period (nine months) over which we have data. There is evidently a distinct difference in the migrational behavior of the fish tagged here and those tagged off Baja California.

In Figure 14, we have plotted the mean square distance from point of tagging against time at liberty, for the recoveries in each 30-day interval after tagging, for these two northern tagging areas. Although there is considerable scatter of the points, the mean square distance seems to increase proportionately to time during the first 270 days, or so, for the yellowfin tagged off Baja California, with a diffusion coefficient of about $57 \text{ m}^2/\text{day}$. Beyond this time, however, there is a decrease in the dispersion of the tag returns which, as noted above, may be due to either an annual migratory pattern, or to the seasonal cyclical nature of the fishery, or both. For tag liberations in the region of the Gulf and southern Mexi-

can coast, we have returns only during the first 265 days at liberty. As may be seen from Figure 14, the plot of mean square distance against time, during this period, may be regarded as reflecting a random dispersal from the point of tagging, with a diffusion coefficient of about 530 m²/day.

The tagging areas making up the region south of 15°N are the Central American coast (5°N to 15°N), Galapagos Islands, and coastal South America (south of 5°N). Although the recoveries from liberations of yellowfin tuna off the Central American coast are too few to plot, Table 13 shows that the dispersion from the point of tagging is similar to that of fish tagged in the region of the Gulf of California and southern Mexico, in that the distance increases rapidly with time. There are no short distance recoveries after the first two months. Most of the recoveries in the southern region are from tag liberations in the areas south of 5°N, and the great bulk of these are from liberations of yellowfin tuna south of 2°S (see Table 5). The fishery in this region is concentrated primarily in two areas, the vicinity of the Gulf of Guayaquil and the 14 fathom spot at 9°S. In consequence, as may be seen from Table 13, the recoveries are clustered in two distance-groups: a group less than 100 miles from the point of release, representing recoveries in the same areas as those of their release, and a group 300 to 400 miles distant, representing recoveries of fish which had moved between these two main fishing areas. It may be seen, from the tabulations of time and distance for the Coastal South America region in Table 13, that the recoveries of migrants between these fishing areas all occurred within the first 240 days.

In Figure 15 are plotted the mean distance against time at liberty (lower panel) and mean-square distance against time at liberty (upper panel) for yellowfin tuna liberated in this Coast South America region. The mean distance, and the mean-square distance, increases with time up to about 150 days, then tends to decrease with, however, considerable fluctuation. After a year, all recoveries were from relatively short distances. Again, it is difficult to say how much of this apparent annual cycle is due to a real migration pattern of the fish, and how much is due to the seasonal nature of the fishery. Also, the attrition of tag recoveries is so fast that after a year at liberty *any* recoveries are few, so that the lack of inter-area recoveries at these long times could be simply a chance event. It is, however, of interest to note the similarity of the time-distance pattern of these fish at the southern end of the range of the fishery to that of the fish at the northern end (off Baja California). However, the distance from point of tagging increases initially more rapidly although the greatest mean distance reached by these southern fish is not greater than that of their northern counterparts (Figure 13). The upper panel of Figure 15 indicates that the dispersal of these yellowfin during about the first 150 days might be regarded as a random process, with a dispersion coefficient of about 133 mi²/day.

Skipjack

Except for eight short-term recoveries from Revilla Gigedo Islands, showing no net movement, and thirteen recoveries from fish liberated in the Gulf of California and off southern Mexico, all skipjack recovered from tagging north of 15°N were from specimens tagged on the "local banks" off Baja California. All of these recoveries from the Baja California tagging were recovered in the same general region, but, as may be seen from Table 14 and Figure 16, they dispersed much more widely than yellowfin recovered from specimens tagged in this area. There is also little evidence of a seasonal cycle of distance of average net movement, although the seasonal nature of the intensity of the fishery is reflected in the relative paucity of recoveries between 121 and 210 days at liberty (this is also to be seen in the recoveries of yellowfin, Table 13). The skipjack tagged here seem to spread out rather rapidly from the point of tagging, much more rapidly than the yellowfin, the mean distance then fluctuating about an average value of about 75 miles for a number of months, and finally increasing rapidly after 300 days at liberty. The wide dispersion of the skipjack recovered after a year at liberty is in striking contrast to the yellowfin tuna, of which all recoveries after this length of time were at rather short distances from the point of tagging. Since both species are fished by the same vessels at the same time, this doubtless reflects a real difference in the behavior of the two species.

The thirteen skipjack tagged in the Gulf and off southern Mexico, recovered up to 136 days after tagging, exhibit roughly the same sort of average dispersion as those off Baja California, but the data are obviously too few for analysis.

A plot (Figure 17) of mean square distance against time at liberty seems to indicate that the tagged skipjack off Baja California maintained a more or less constant distribution from the point of tagging for nearly a year, then spread out very rapidly. It should be emphasized, again, that these data reveal only the dispersion of fish along the coast. Since the vessels do not fish far offshore, except in the vicinity of the Revilla Gigedo Islands, fish which dispersed into offshore waters would be lost from the range of the fishery.

Skipjack recoveries from the zone south of 5°N consist of recoveries from three tagging regions, the Galapagos Islands, the Central American coast, and Coastal South America. The recoveries from the first of these are too few for analysis.

Skipjack recovered from specimens tagged off the Central American coast (15°N to 5°N) exhibit very rapid dispersion from the point of tagging during the first 240 days at liberty, for which time and distance data are shown in Table 14 and Figure 18. A plot of mean square distance against time at liberty (Figure 19) exhibits a good deal of scatter, but the

data might be considered to represent a random dispersion, in which case the dispersion coefficient is estimated at about 1375 mi²/day. The *direction* of movement, however, is obviously not random, even along the coast, since, as we have seen from Figures 10, 11, and 12, all of the larger movements were southerly.

Skipjack in the area south of 5°N (Coastal South America) were tagged, and recaptured, in quite large numbers at the 14 fathom spot off coastal Peru, and in the vicinity of the Gulf of Guayaquil, to the north. Little fishing is done in the intervening region. Since there is (Figures 9-12) considerable migration between those two areas, there is a corresponding "mode" in the recoveries at 300-400 miles, representing the distance between them (Table 14), which was also noted above for yellowfin tuna. The tagging region under consideration includes, however, also the seas off the Colombian and Ecuadorian coast south of 5°N. In this area there were few yellowfin liberated, but a large number of skipjack. From these tagged skipjack, a number of recoveries were made, some at fairly large distances from the point of tagging.

The relationship between time at liberty and the distance of net movement of skipjack in this region south of 5°N (Table 14 and Figures 18 and 19), is not dissimilar to that of yellowfin tuna, in that the mean distance, and the longest recorded movement, increase at first, but later decrease again, only short-distance recoveries having been made after 300 days at liberty. It is, again, yet a moot question how much of this is due to a real seasonal cycle of migration, and how much to the distribution of fishing effort, abetted by the statistics of the small number of returns at long times. It is evident, in any case, that the skipjack in this region, just as in the region off Baja California, disperse more rapidly than the yellowfin tuna tagged in the same place. The plot of mean square distance against time (Figure 19) exhibits rather large variability, but the points correspond reasonably well to those to be expected from a random dispersion process up to about 270 days. The dispersion coefficient corresponding to the line drawn on this graph is 335 mi²/day.

Obviously we need a good deal more information, and more sophisticated analysis thereof, to arrive at a good understanding of the nature of the migration and dispersion of these tropical tunas. From the foregoing study, however, several principles seem to be emerging: 1) both the yellowfin and skipjack disperse from the point of tagging more rapidly in the central regions of the fishery than at the regions near the ends of the range, 2) skipjack disperse much more rapidly than yellowfin, 3) this differential behavior of the two species is especially marked in the region near the ends of the range of the fishery.

ATTRITION OF TAG RECOVERIES AND ESTIMATION OF SURVIVAL RATES

If the tunas, after tagging, which survive the initial quick mortality due to tagging, are subject to constant rates of fishing and natural mortality, and a constant rate of loss due to shedding of tags and mortality due to carrying a tag, the number of tags remaining at successive intervals of time after tagging will follow equation (7). In this equation, F and M are the rates of fishing and natural mortality, respectively, and Q is the rate of loss due to other causes, such as shedding of tags. If the rate of fishing is essentially constant, the recoveries during successive intervals of time will, of course, be proportional to the number of tags remaining, and, hence, the rate of decline of the recovery of tags may be used to estimate the rate of mortality due to all causes, or its converse, the rate of survival.

In order to examine the tag recovery data with respect to this model, we have tabulated the tag recoveries for each species, in Tables 15 and 16, by 30-day intervals after tagging. The data for the region north of 10°N and south of that latitude have been tabulated separately, as well as aggregated for the whole fishing region. This is a slightly different line of separation of "northern" and "southern" regions than that (15°N) employed in the section on migration and dispersion, but, since few tags were recovered from liberations between these latitudes, the difference is negligible.

We have employed all returns through December 1959 from tags liberated through December 1958. Recoveries have been made up to two years after tagging. We cannot, therefore, simply aggregate all recoveries by successive time intervals, because the tagged fish liberated in 1958 had not, by the end of 1959, been at liberty for two years. For this reason, we have tabulated separately the recoveries for releases through 1957, and recoveries during the first year at liberty of tagged fish released during 1958. The recoveries during the first year at liberty of all tagged fish can, of course, be combined, which has also been done in Tables 15 and 16.

Yellowfin tuna

We require first to see whether the tag recoveries conform to the model of equation (7). This may be approached by plotting the logarithms of the number of recoveries against time, since the number of tag recoveries R_t at time t will then be

$$R_t = FT_t = FKT_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots \dots \dots (11)$$

or, $R_t = R_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots \dots \dots (12)$

and, $\log_e R_t = \log_e R_0 - (F+M+Q)t \dots \dots (13)$

If the data conform to the model, the relationship should be linear, and

the survival rate can be estimated from the slope of the regression line. In Figures 20, 21, and 22, have been plotted, respectively, the data for (1) all recoveries from tagged fish released through 1957, (2) recoveries during the first 360 days at liberty of tagged fish released during 1958, and (3) recoveries during the first 360 days at liberty of all fish released through 1958. Although in each case there is a good deal of scatter of the plotted points, the regressions seem to be approximately linear. It is to be noted, however, that the point for the first 30-day interval for recoveries north of 10°N from tags released during 1958 falls very high, as may also be seen directly from the tabulation of Table 15. The initial points in the other plots, of which these particular recoveries are a component, also fall higher than one might expect.

If, now, we accept that the data conform well enough to the model, we can proceed to estimate the survival rate of the tags. This may be expressed in various ways (see Ricker 1958). We have chosen to express it here as the annual survival rate, that is the share of the tags existing at the beginning of a year which will still be in existence a year later. This value, which we designate s is related to the rates in the equation (12), by

$$s = e^{-(F+M+Q)} \dots\dots\dots(14)$$

where the unit of time is one year.

The annual total mortality rate is

$$1 - s = 1 - e^{-(F+M+Q)} \dots\dots\dots(15)$$

Two methods have been employed to estimate the survival rate:

- (1) The "Jackson" estimate (Ricker, 1958, p. 111).

If $R_1, R_2, \dots R_i \dots R_n$ are the recoveries of tags in successive time intervals (i), over n intervals,

$$s' = \frac{R_2 + R_3 + \dots + R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}}$$

or,

$$s' = \frac{\sum_i R_i - R_1}{\sum_i R_i - R_n} \dots\dots\dots(16)$$

s' is the survival rate per interval (30 days) from which the annual survival rate (s) is easily calculated.

By the Jackson estimate, the points of Figures 20 to 21 are weighted by the number of recoveries. Thus the data for the earlier intervals, when the most recoveries are made, have the greatest influence.

- (2) The regression of logarithm of number of recoveries on time after tagging.

It may be seen from equation (13) that the slope of the regression

of $\log_e R_t$ on t is an estimate of s' , from which s may be computed. (For convenience in calculation, logarithms to the base 10 are employed rather than logarithms to the base e , the resulting slope being divided by $\log_{10} e$ to provide the estimate of s').

Regressions were fitted to the data of Figures 20 to 22 by least squares, giving each point equal weight, and the resulting lines are shown on these Figures. Since, where zero recoveries occur, they were ignored, there is a tendency in these cases for the estimated value of s to be somewhat too high.

At the bottom of Table 15 are tabulated as S_1 Jackson estimates of annual survival rate utilizing all data in each instance. It may be seen that those estimates which include the recovery data for releases north of 10°N during 1958 indicate an extremely low survival rate. This is, we believe, due to the aberrant high number of recoveries (noted earlier) during the first 30-day period for that group of tagged fish. We have, therefore, also calculated, for each group of data, a Jackson estimate, using only the recoveries *after* the first 30 days at liberty; these are tabulated as S_2 . Designated S_3 are the estimates derived from the slope of the regression lines in Figures 20-22.

The several estimates of survival rate for the northern region, after elimination of S_1 for recoveries from releases during 1958, are all rather similar, ranging from 0.103 to 0.169. Estimates for the southern region vary a good deal more, both among different kinds of estimates for the same group of data and among different groups of data. There is some indication that, in the southern region, the survival rate was lower in 1958-1959 than the previous year; this corresponds to a rather heavy concentration of fishing effort off northern South America in 1958. Pooling data for both regions, estimates of survival rate (omitting S_1 for releases during 1958) vary from 0.032 to 0.169.

Survival rates for yellowfin tuna have also been estimated (Hennemuth, 1961b) from the rate of decrease in apparent abundance, of the 1953, 1954 and 1955 year-classes passing through the fishery, during 1955-1959. For the pooled data of the three year-classes, estimates of annual survival rate range from 0.09 to 0.19, with 0.18 apparently the "best" value. The lower apparent average survival rate for tagged fish is attributable, of course, to Q in equation (11), that is the loss of tags from other than natural and fishing mortality.

Skipjack

Data for recoveries of tagged skipjack are tabulated in Table 16 by the same regions and time periods described above for yellowfin tuna.

In Figures 23, 24, and 25 are plotted, respectively, the logarithms of

number of recoveries against time at liberty for (1) releases through 1957 (all recoveries), (2) releases during 1958 (recoveries during only the first 360 days at liberty) and (3) all releases through 1958 (recoveries during only the first 360 days at liberty). It may be seen that the recoveries for the region north of 10°N do not exhibit a regular decline with time, but drop off rapidly to a minimum at about six months and then increase again. This is because the skipjack in this "northern" area were almost all tagged off Baja California (see Table 6), where the fishery has a pronounced seasonal cycle, as has been previously discussed. In the "southern" region, where fishing is more nearly evenly distributed throughout the year, the recoveries decline rather evenly with time, albeit with considerable scatter about the trend. The pooled data for all areas also decline with time with moderate regularity, the large number of recoveries from the southern region masking the seasonal cycle of the northern recoveries.

It may be seen immediately from Figures 23-25 that neither the recoveries from the southern region nor from all data combined can be regarded as corresponding to the model of equation (7) and (11) through (13), since the regression of logarithms of number of recoveries is definitely non-linear, the rate of decline decreasing with time. The non-linearity of the relationship is even better illustrated in Figure 26, where recoveries from all releases through 1958 are aggregated and plotted by 90-day intervals.

A possible explanation of the failure of the simple model is that the tagged skipjack disperse not only along the coast, but also offshore, beyond the range of operations of the fishery. The simple model assumes that the fishing mortality rate is constant on the population of tagged fish. If, however, some of the tagged fish are moving beyond the range of the fishery, the fishing mortality rate of *tagged* fish will decrease, even though they may be replaced by untagged fish moving into the area of the fishery. To examine this possibility quantitatively, we require a model including the factor of dispersion of tagged fish out of the fishing zone. A simple model of this sort can be written if we assume that the fish disperse at random, so that the area they occupy is increased proportionately with time, and that the probability of capture is inversely proportional to the area over which they are dispersed. In this event, the recovery of tags at time t will follow the equation (replacing (12)):

$$R_t = R_0 e^{-(F+M+Q)t} \cdot \frac{k}{t} \dots \dots \dots (17)$$

where k is a constant.

Now, in this case, also

$$tR_t = kR_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots \dots \dots (18)$$

and

$$\log_e (tR_t) = \log_e kR_0 - (F+M+Q)t \quad (19)$$

Thus, there should be a linear relationship between t and logarithm of tR_t . In Table 17 are tabulated values of tR_t and t (30-day intervals) for the data of Table 16. Logarithms of tR_t are plotted against t in Figures 27, 28 and 29. It may be seen that this transformation has resulted in an approximately linear relationship, at least for the recoveries from releases in the southern region and for the aggregate of both regions, so that we may regard the model of equations (17) — (19) as being consistent with the observations.

It may be seen from equations (18) and (19) that the survival rate may be estimated by either the "Jackson" method or the regression method, employing tR_t in the place of R_t . This has been done, and the annual survival rates by the two methods tabulated in Table 17. The regression lines are also shown in Figures 27-29.

Due to the cyclic nature of recoveries in the northern region, the estimate of s is probably not reliable, and in the case of releases during 1958 it has not even been calculated by the regression method, due to the paucity of data. For the various sets of data for the southern region, values ranging from 0.071 to 0.161 are obtained, and for the combined data from both regions, the values range from .066 to .221. The regression method yields, in almost every case, larger values of s than the "Jackson" method, but this is most pronounced for the northern area and for the combined data, due, no doubt, to the rapid decline in recoveries during the first few months in the northern area, resulting from the cyclical nature in fishing effort there. This will most strongly affect the "Jackson" estimate, which gives most weight to the largest (and earlier) recoveries.

The survival rates for skipjack, thus estimated, are similar to those estimated for yellowfin tuna. It must be noted, however, that the "survival rate" computed here is the *survival of skipjack while in the area of the fishery*, which will be substantially *lower* than the survival in the whole population.

ESTIMATION OF GROWTH RATES

It is possible to estimate directly the rate of growth of tagged tunas from the size increments between time of tagging and time of recapture. The method we have employed, however, is not precise, because we have not measured the fish with precision at time of tagging. Since speed of handling is believed to be essential if tagging mortality is not to be excessive, we have contented ourselves with making rapid estimates, to the nearest 50 mm. of total length, with the aid of reference marks on the tagging cradle. For all of the yellowfin recoveries employed in this section, the initial length was estimated by that means. Most of the skipjack included in this study were measured in similar fashion, but, in addition, we have also used the data for some fish which were not measured at all at

tagging. In the latter case, the initial size was estimated as the mean length of skipjack caught from the same school as the tagged fish. Most of the fish used were carefully measured by our personnel after recovery, but some lengths at recovery were reported by the fishermen, who returned only the tag, and some were estimated from the fishermen's report of the *weight* of the fish.

Yellowfin tuna

The relationship of increment of length, in millimeters, and time at liberty, in days, for 242 yellowfin tuna, recovered from all areas through October 1959, is shown in Figure 30. The large dots indicate the mean increments for each 90-day interval after tagging, while the small dots represent the data for individual recoveries. The regression line shown was computed from the mean values (large dots), the slope of which (256 mm/yr.) is similar, albeit somewhat steeper, than that computed from the individual points, which is shown in Table 18 (244 mm/yr., or 248 mm/yr. if the line is restricted to go through the origin). It will be noted from Figure 18 that, although there is a wide scatter of points, the regression line passes very near the origin, so that, although there is great lack of precision of estimate of length increment, there seems to be no systematic bias.

In Table 18, we have also separated the data into four groups according to size at tagging, and computed the slope of the corresponding regression lines. At the same time we have computed the slopes of the regressions for data reported by Blunt and Messersmith (1960) by three size categories, as well as for the pooled data of all sizes. The data of these investigators exhibit less scatter than ours, due to greater precision of measurement of initial size. Blunt and Messersmith's results indicate a somewhat higher average growth rate than do ours. Both sets of data indicate a considerably lower growth rate than that obtained from analysis of modal progressions of size-frequencies for fish of similar size (Hennemuth, 1961).

Skipjack

The apparent length increments and times at liberty of 139 tagged skipjack tuna, recovered from all areas through October 1959, are plotted in the right-hand panel of Figure 30. Also shown are the mean increments for each 90-day interval of time at liberty (large dots). The regression line shown is fitted to the mean values. The slope of this line (121 mm/yr.) is quite similar to that of a line fitted to the individual points (124 mm/yr.), shown in Table 19. It may be noted also, that the line passes very near the

origin, which indicates that there is probably, on the average, no systematic bias in estimation of length at tagging.

It may also be seen from Table 19, that the regression for the 28 fish over 600 mm. initial length, has a much lower slope than for fish of smaller sizes, and that the regression through the origin has a slope very much lower than that of the regression calculated without this restriction. Examination of a plot of the original data indicates that this is due to a large share of apparent negative increments during the first 90 days at liberty; it seems that there was, perhaps, a systematic overestimation of initial length of the large skipjack.

Blunt and Messersmith (1960) provide growth data on only 28 skipjack recoveries, all less than 90 days at liberty. The regressions for these data are shown also in Table 19. The slope of the unrestricted regression is much higher than that of the regression through the origin, due, again, to a large share of negative increments at early times. These data do not extend over a long enough time period after tagging to be very meaningful.

The rate of growth of tagged skipjack, in the neighborhood of 125 mm/yr., compared with the results from analysis of progression of modes in size-frequencies (unpublished studies in progress) indicate that, as in the case of yellowfin, the apparent growth of the tagged fish is significantly less than that of fish of similar sizes in the untagged population.

It would appear that the tagging operation adversely affects the subsequent growth of both yellowfin and skipjack tuna. This phenomenon is not without precedent. Kenneth Waldron of the Honolulu Biological Laboratory of the U. S. Bureau of Commercial Fisheries has advised us that the annual growth of tagged skipjack near the Hawaiian Islands is only 2/3 to 3/4 of that shown by length-frequency analysis of samples of the commercial catch. Sette (1950) compared the growth of tagged and untagged mackerel in captivity, finding that several types of external tags resulted in 21 to 60 per cent lower growth than that of untagged specimens, although internal tags did not seem to result in decreased growth. Broadhead (1958), comparing size increments of tagged and recovered mullet in the Florida fishery with growth estimated from size-frequency analysis, the fish having been tagged with "Petersen disc" tags, showed that the tagged fish exhibited a marked retardation of growth during the first month after release.

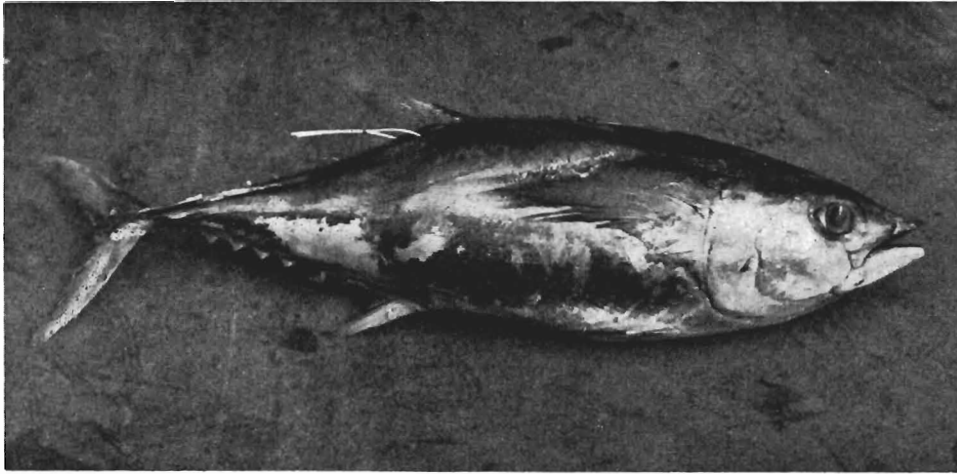


Figure 1. Yellowfin tuna with loop tag.

Figura 1. Atún aleta amarilla con marca de gaza.

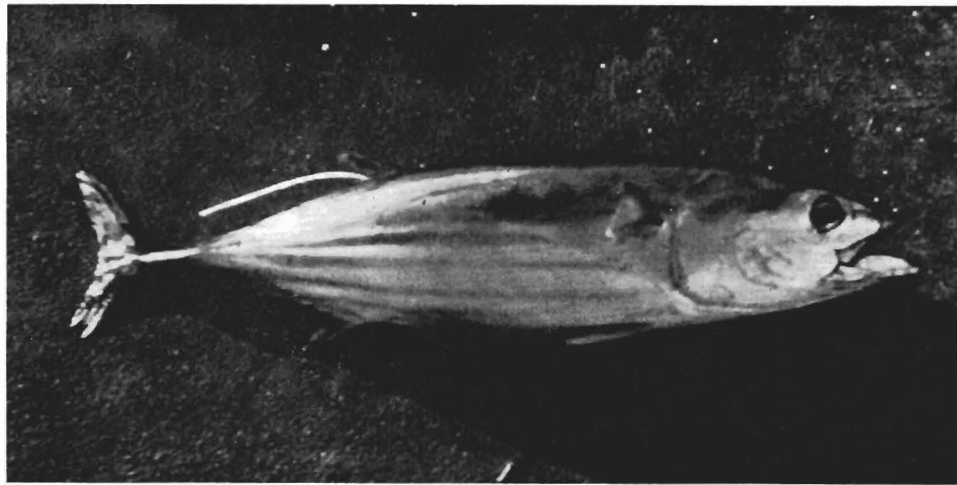


Figure 2. Skipjack tuna with dart tag.

Figura 2. Barrilete con marca de dardo.

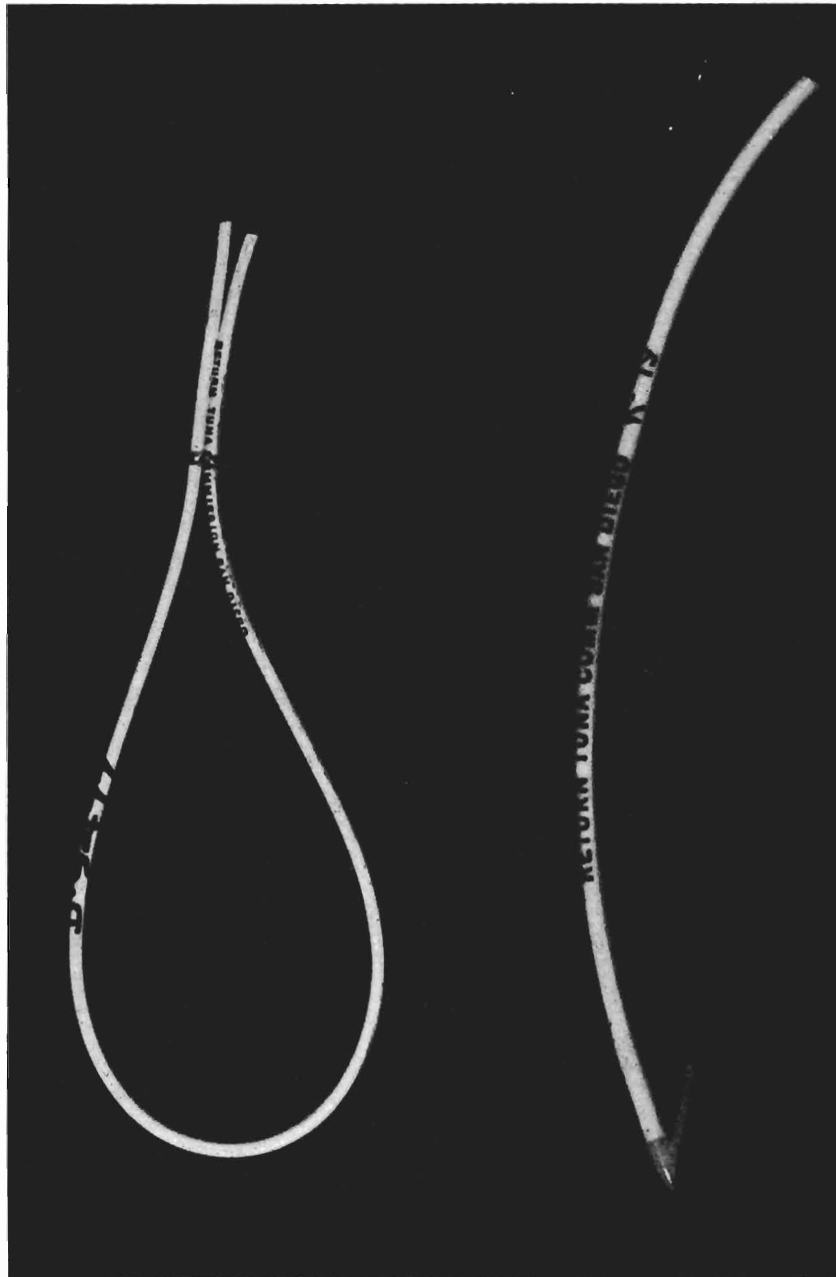


Figure 3. Loop and dart tags.

Figura 3. Marca de gaza y marca de dardo.

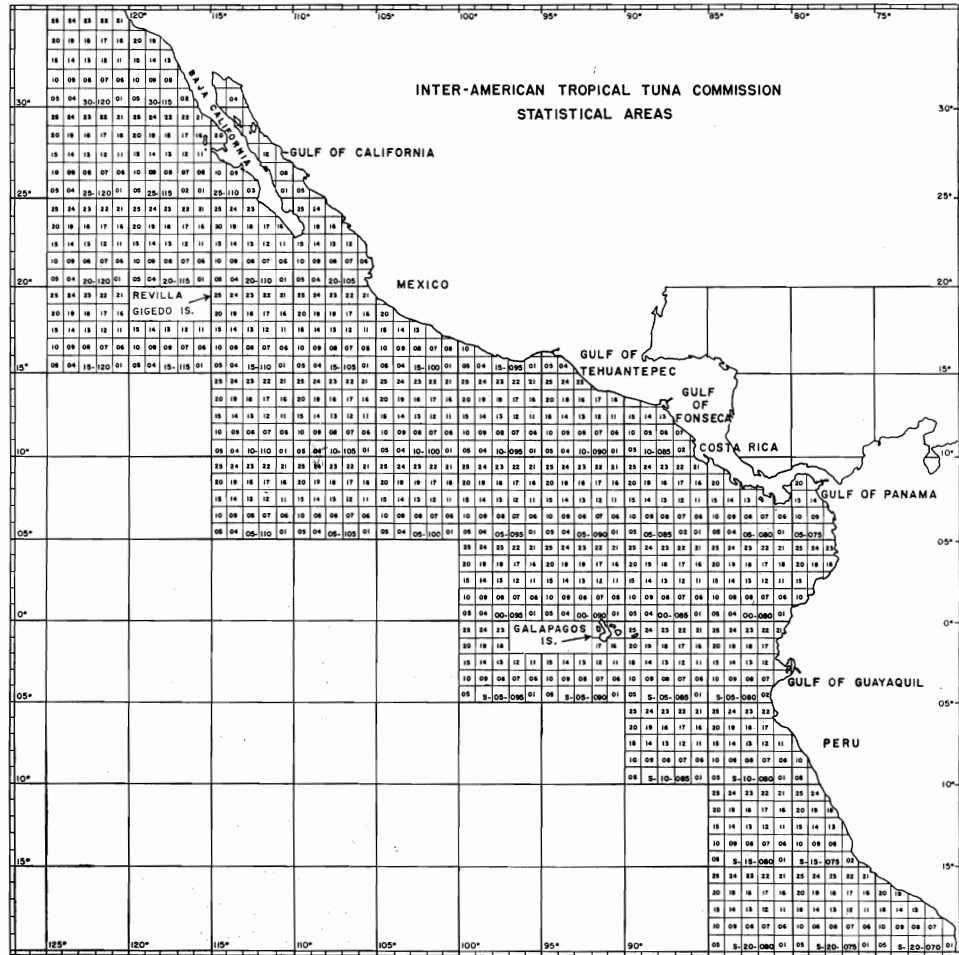


Figure 4. System of designation of one-degree rectangles.

Figura 4. Sistema de designación de los rectángulos de un grado.

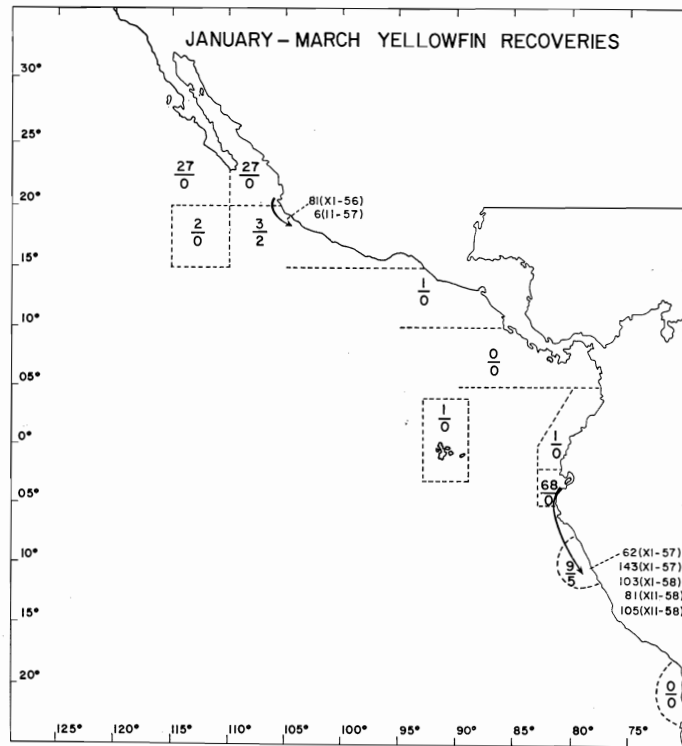


Figure 5. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of yellowfin tuna recovered during January-March.

Figura 5. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los atunes aleta amarilla recapturados durante enero-marzo.

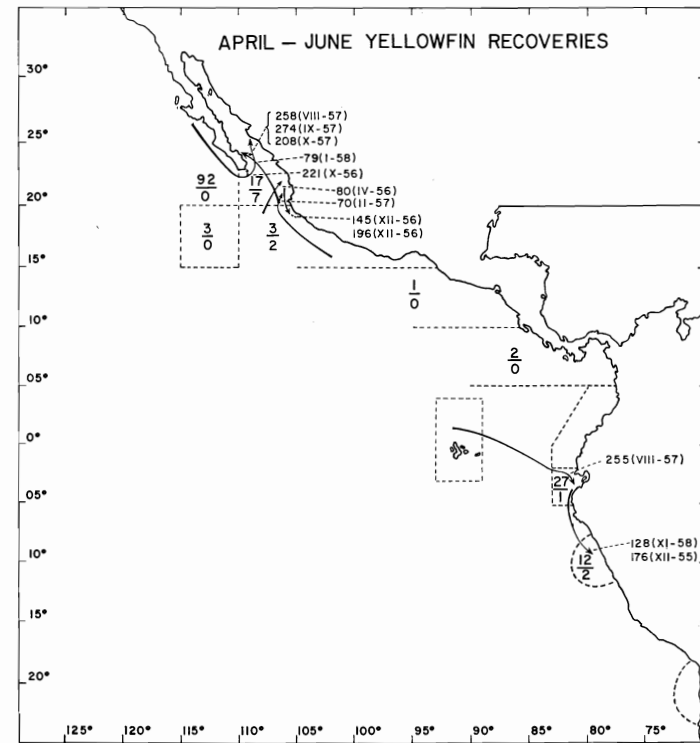


Figure 6. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of yellowfin tuna recovered during April-June.

Figura 6. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los atunes aleta amarilla recapturados durante abril-junio.

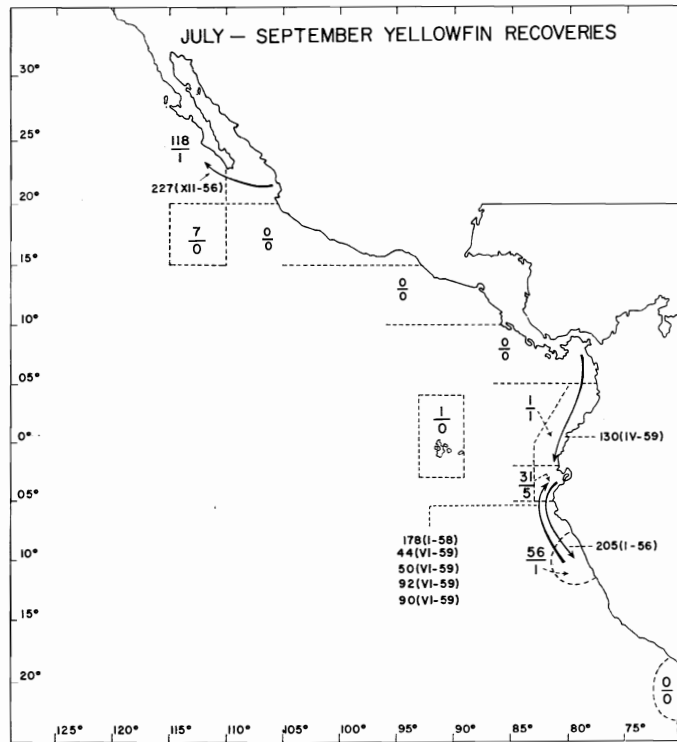


Figure 7. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of yellowfin tuna recovered during July-September.

Figura 7. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los atunes aleta amarilla capturados durante julio-septiembre.

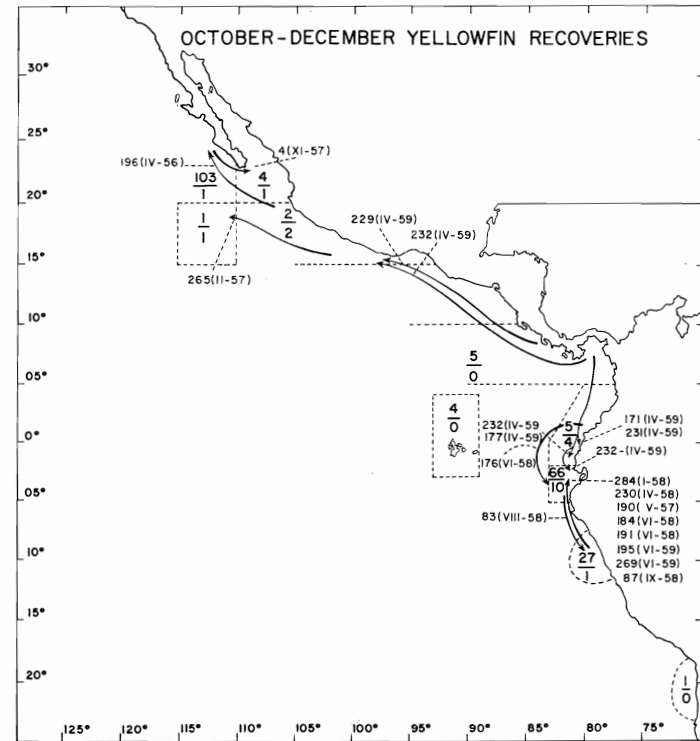


Figure 8. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of yellowfin tuna recovered during October-December.

Figura 8. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los atunes aleta amarilla capturados durante octubre-diciembre.

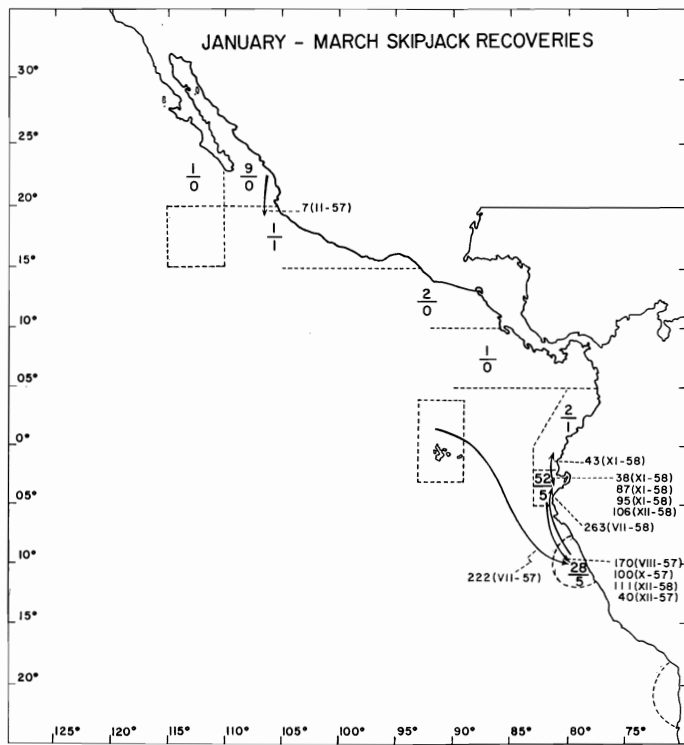


Figure 9. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of skipjack recovered during January-March.

Figura 9. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los barriletes recapturados durante enero-marzo.

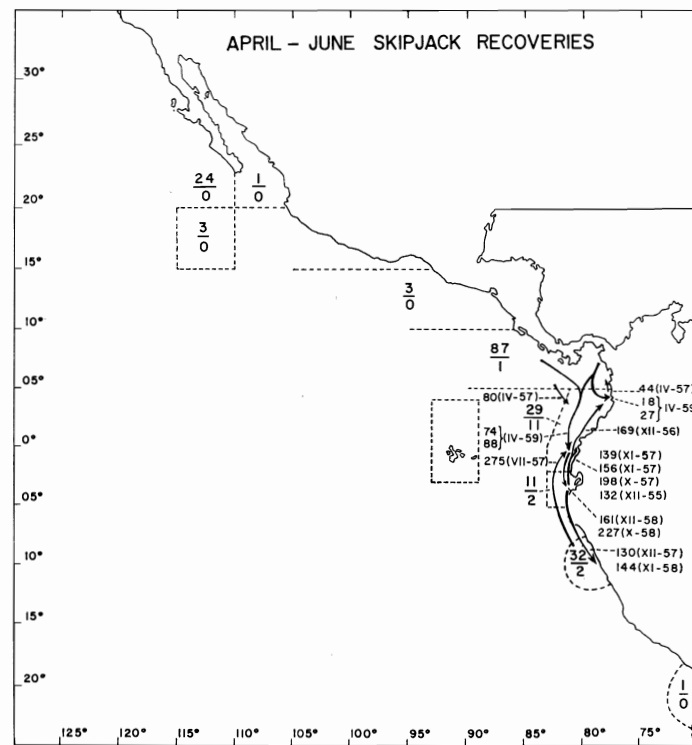


Figure 10. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of skipjack recovered during April-June.

Figura 10. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los barriletes recapturados durante abril-junio.

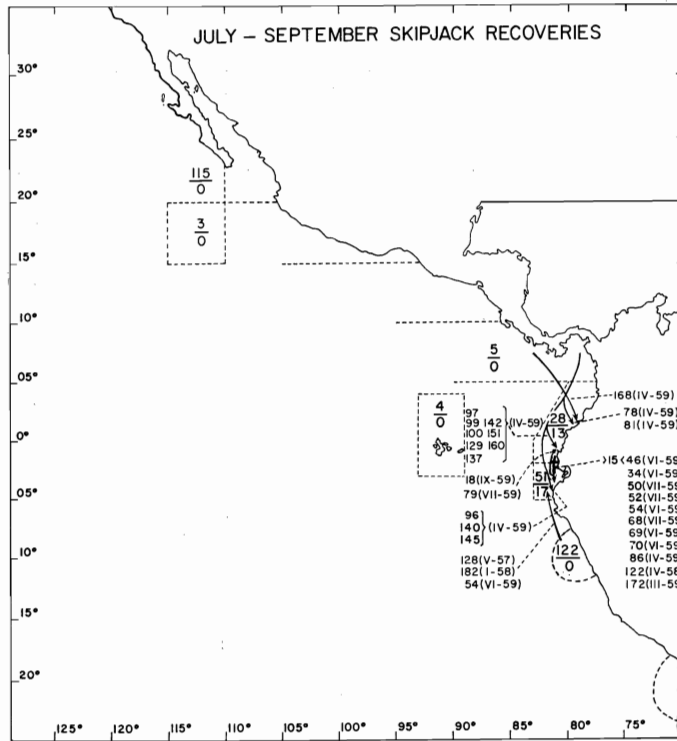


Figure 11. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of skipjack recovered during July-September.

Figura 11. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los barriletes recapturados durante julio-septiembre.

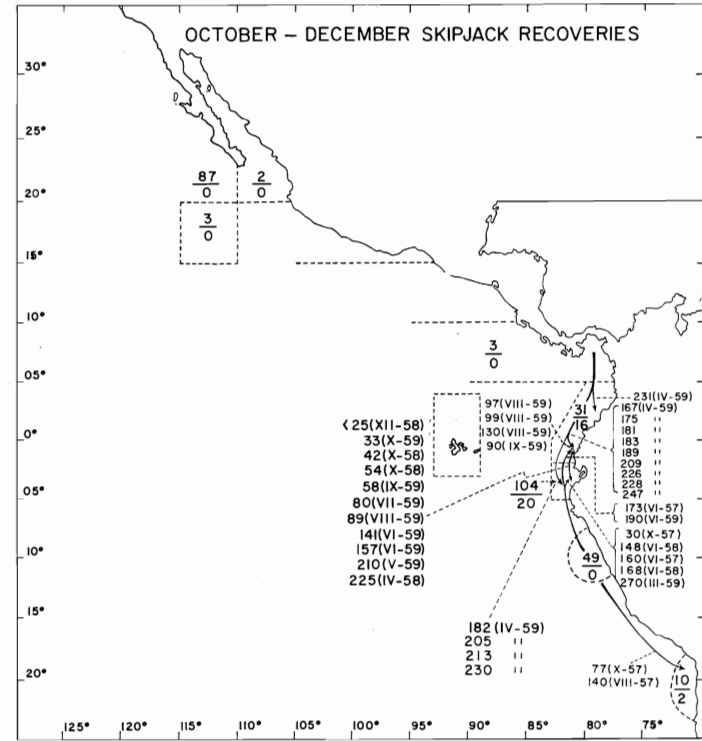


Figure 12. Recoveries by regions, and inter-regional migrations, of skipjack recovered during October-December.

Figura 12. Recobros por regiones y movimientos migratorios interregionales de los barriletes recapturados durante octubre-diciembre.

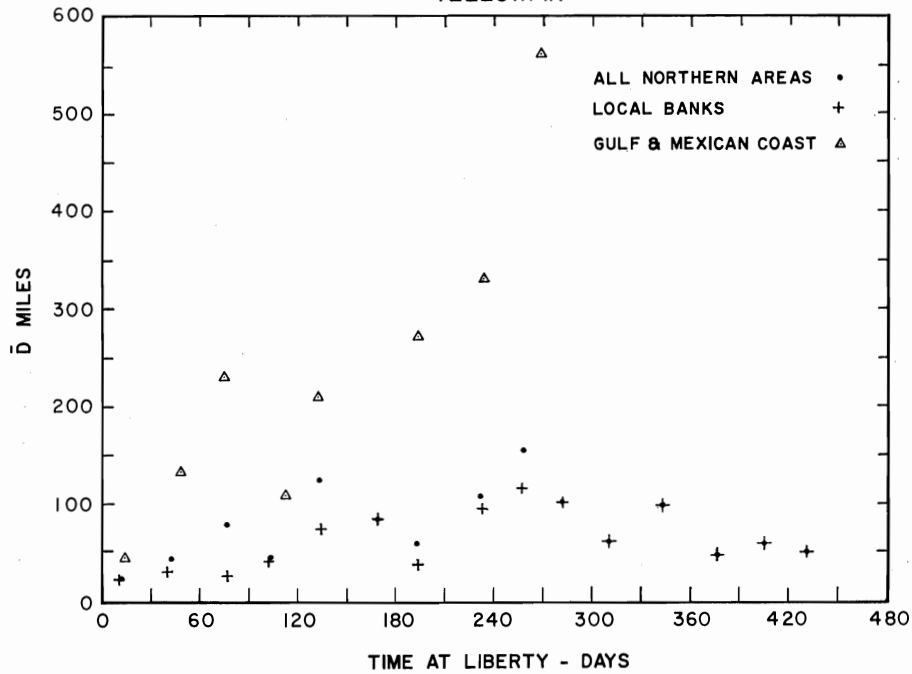


Figure 13. Relationships between mean distance and time at liberty, yellowfin tuna, northern areas.
Figura 13. Atún aleta amarilla. Areas del norte. Relaciones entre la distancia media y el tiempo en libertad.

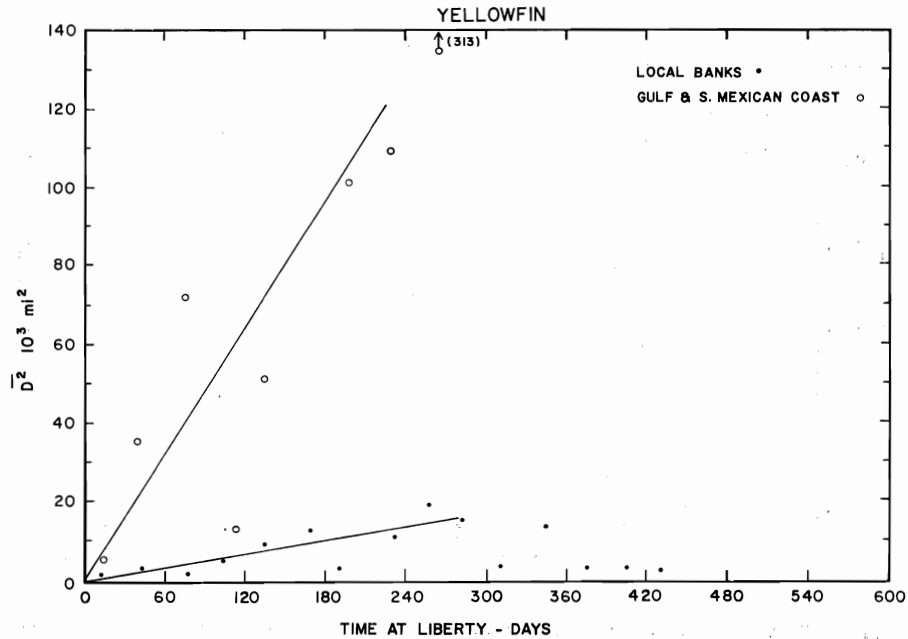


Figure 14. Relationships between mean square distance and time at liberty, yellowfin tuna, northern areas.
Figura 14. Atún aleta amarilla. Areas del norte. Relaciones entre la media del cuadrado de las distancias y el tiempo en libertad.

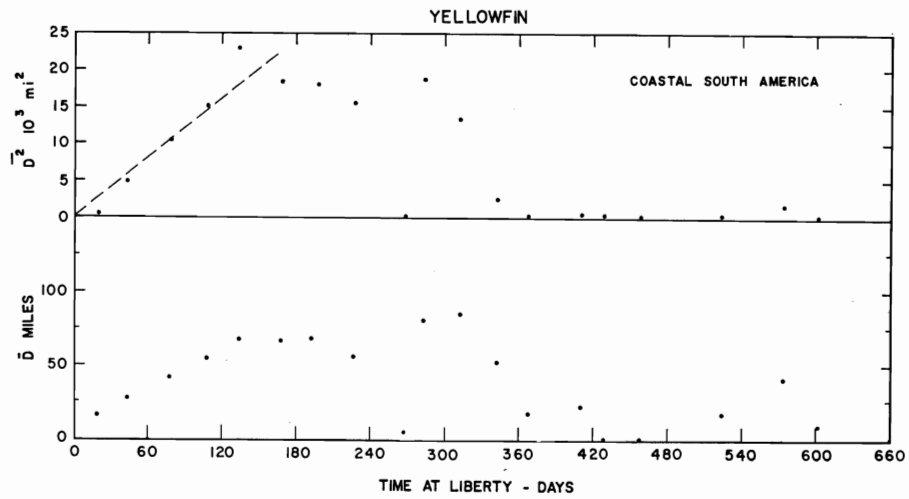


Figure 15. Relationships between mean distance and time at liberty, and mean square distance and time at liberty, yellowfin tuna, coastal South America.

Figura 15. Atún aleta amarilla. Costa de América del Sur. Relaciones entre la distancia media y el tiempo en libertad, y entre la media del cuadrado de las distancias y el tiempo en libertad.

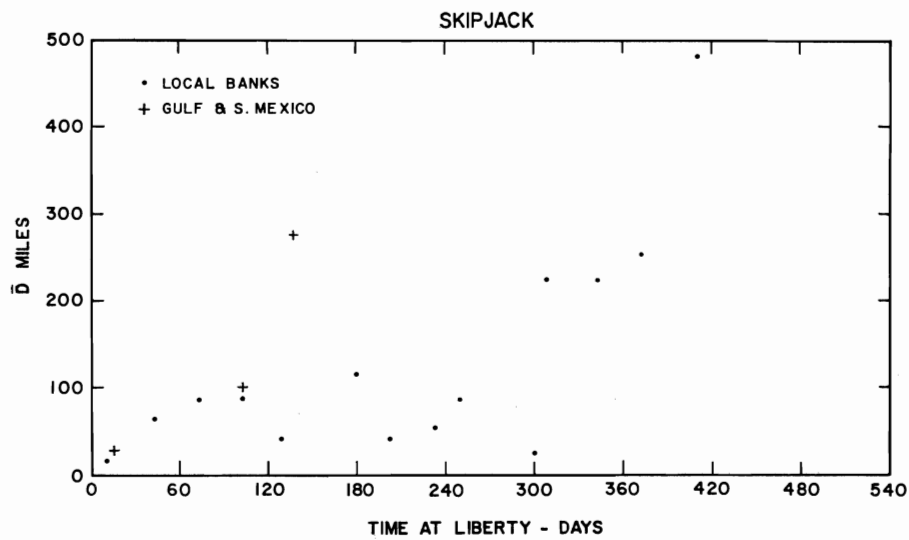


Figure 16. Relationships between mean distance and time at liberty, skipjack, northern areas.

Figura 16. Barrilete. Areas del norte. Relaciones entre la distancia media y el tiempo en libertad.

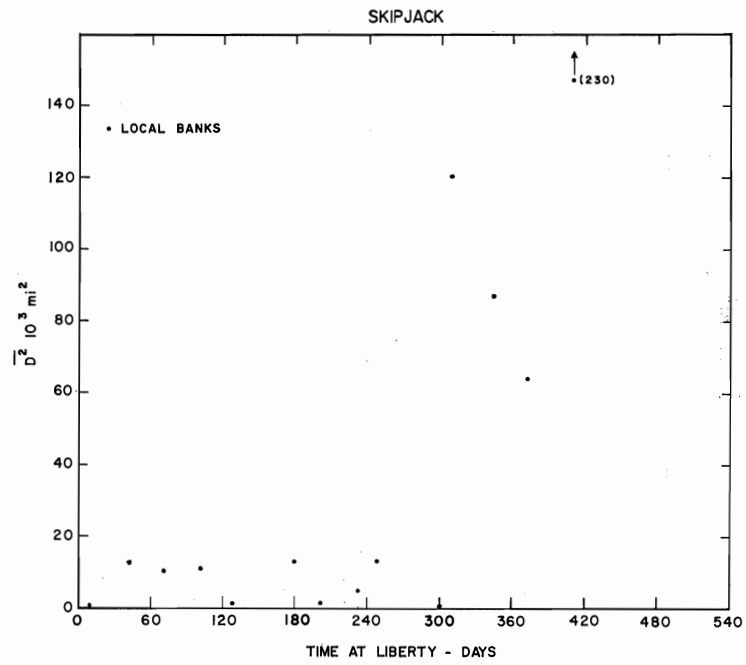


Figure 17. Relationships between mean square distance and time at liberty, skipjack, "local banks".
 Figura 17. Barrilete. "Bancos locales". Relaciones entre la media del cuadrado de las distancias y el tiempo en libertad.

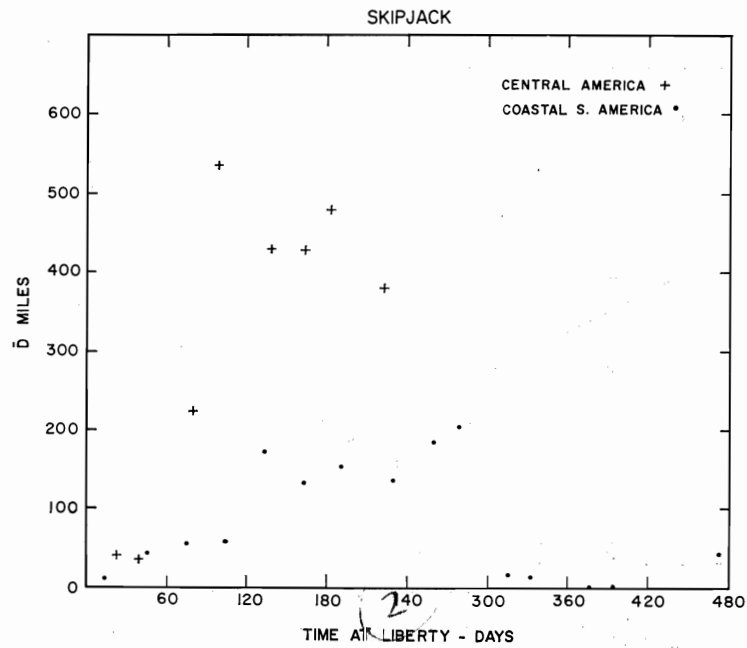


Figure 18. Relationships between mean distance and time at liberty, skipjack, southern areas.
 Figura 18. Barrilete. Areas del sur. Relaciones entre la distancia media y el tiempo en libertad.

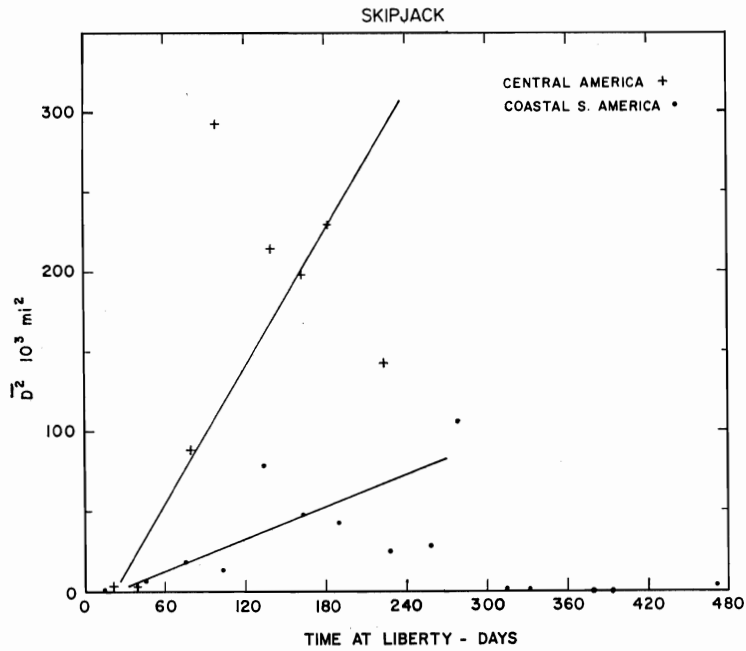


Figure 19. Relationships between mean square distance and time at liberty, skipjack, southern areas.

Figura 19. Barrilete. Areas del sur. Relaciones entre la media del cuadrado de las distancias y el tiempo en libertad.

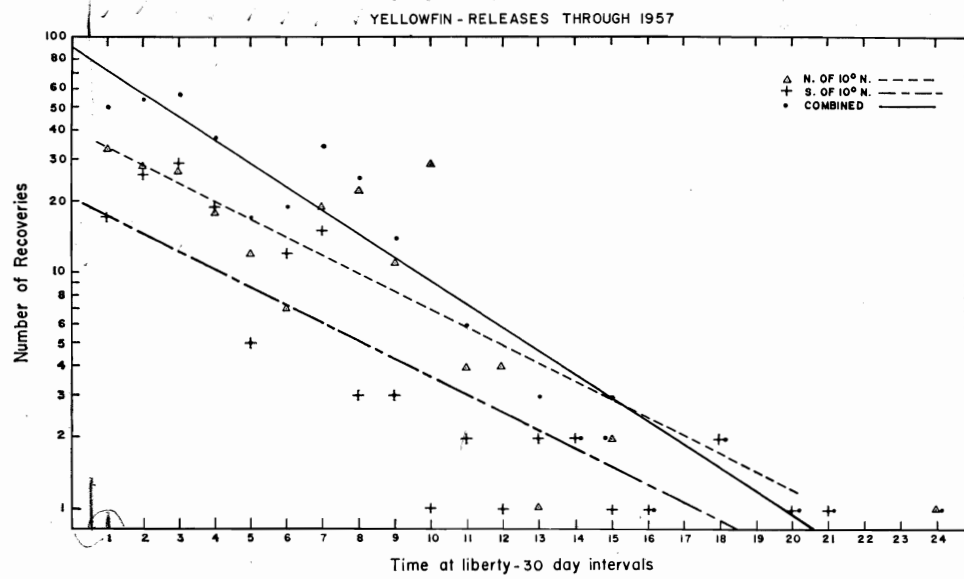


Figure 20. Relationships between number of recoveries and time at liberty, yellowfin tuna, releases through 1957, all recoveries.

Figura 20. Atún aleta amarilla. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones hasta 1957 y todos los recobros.

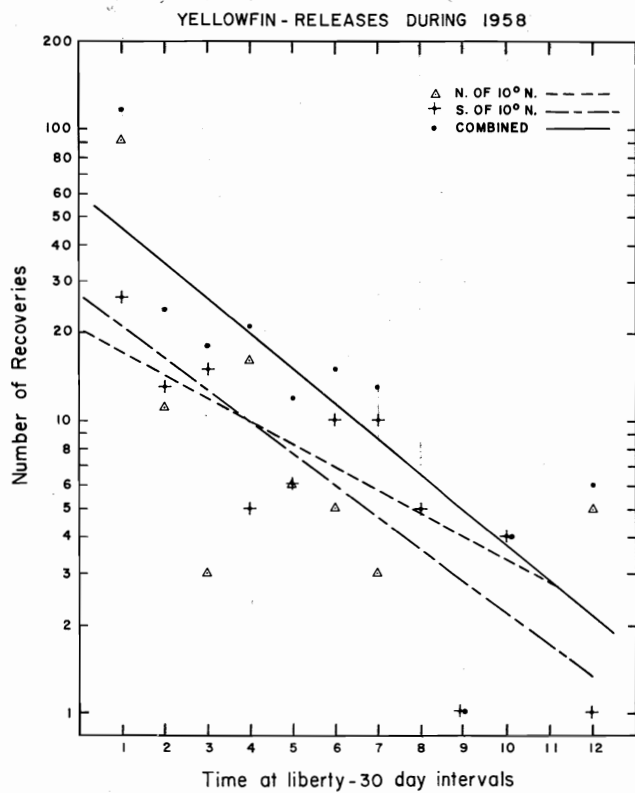


Figure 21. Relationships between number of recoveries and time at liberty, yellowfin tuna releases during 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 21. Atún aleta amarilla. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones durante 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

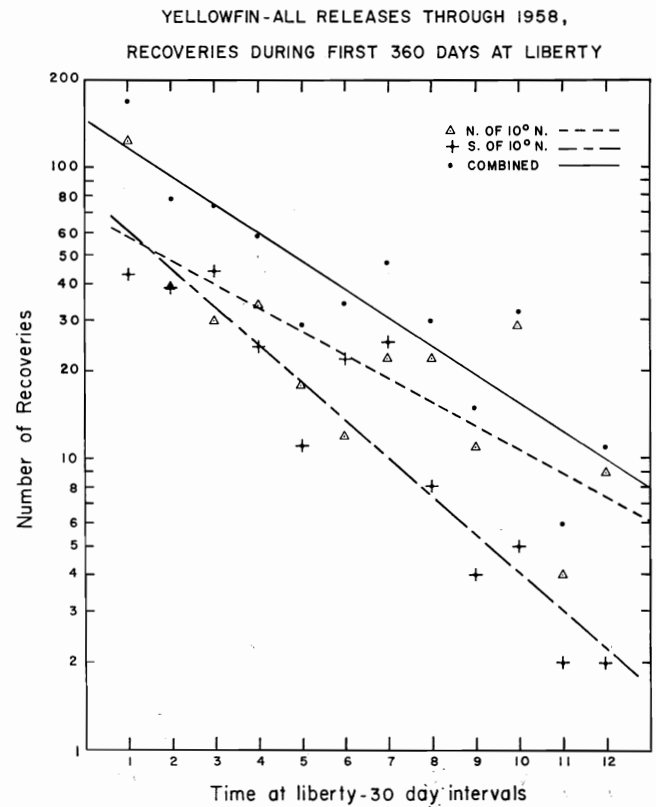


Figure 22. Relationships between number of recoveries and time at liberty, yellowfin tuna releases through 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 22. Atún aleta amarilla. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones hasta 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

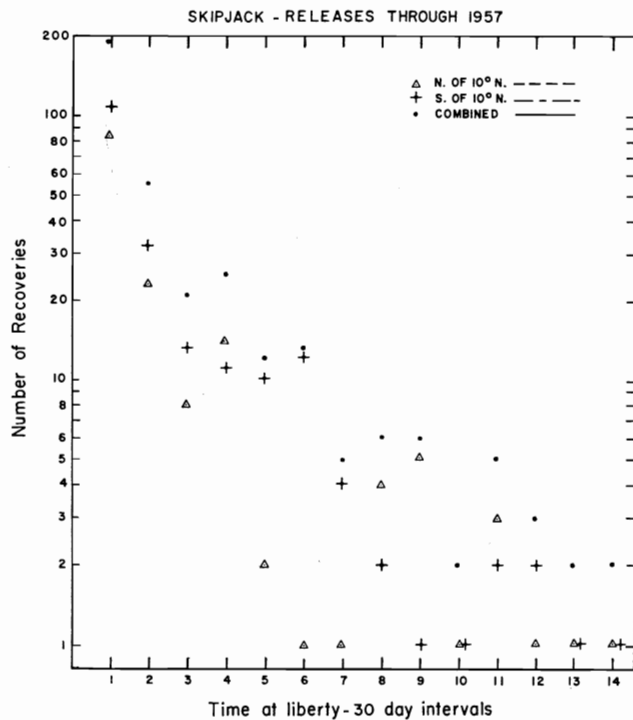


Figure 23. Relationships between number of recoveries and time at liberty, skipjack releases through 1957, all recoveries.

Figura 23. Barrilete. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones hasta 1957 y todos los recobros.

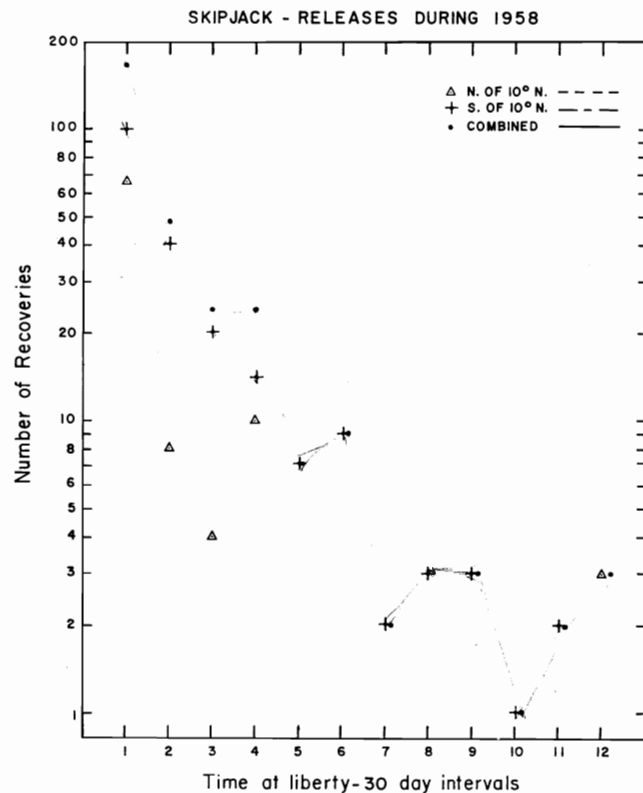


Figure 24. Relationships between number of recoveries and time at liberty, skipjack releases during 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 24. Barrilete. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones durante 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

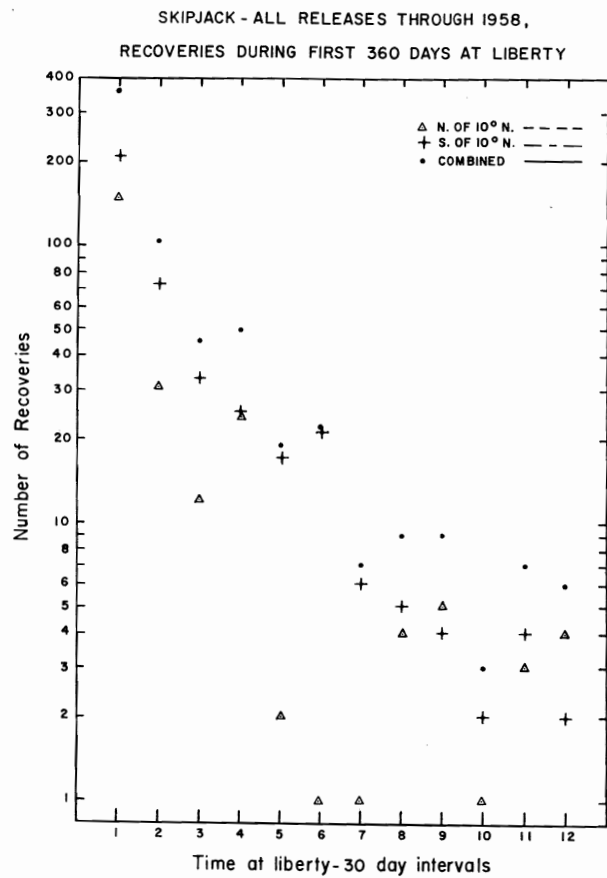


Figure 25. Relationships between number of recoveries and time at liberty, skipjack releases through 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 25. Barrilete. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones hasta 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

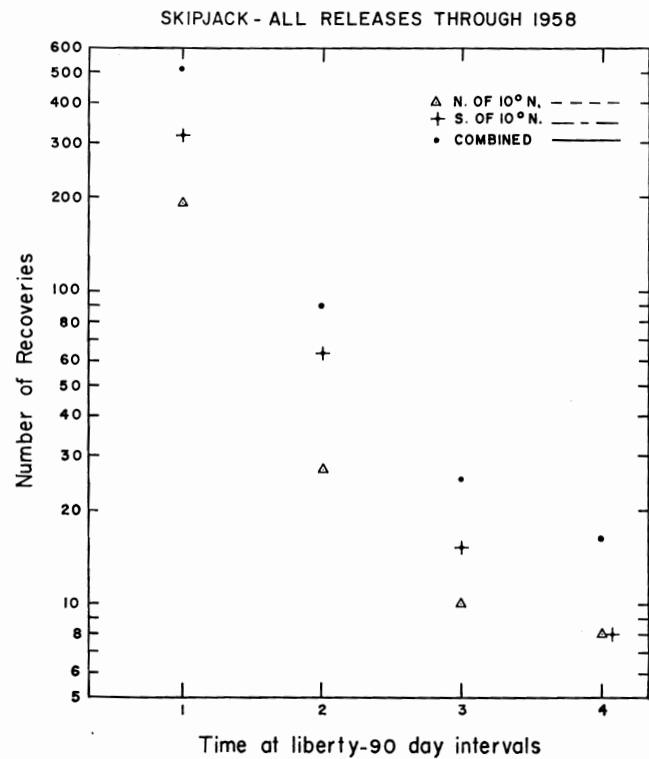


Figure 26. Relationships between number of recoveries and time at liberty, skipjack releases through 1958, recoveries during first 360 days (aggregated by 90-day intervals).

Figura 26. Barrilete. Relaciones entre el número de recobros y el tiempo en libertad. Liberaciones hasta 1958 y recobros durante los primeros 360 días (reunidos por intervalos de 90 días).

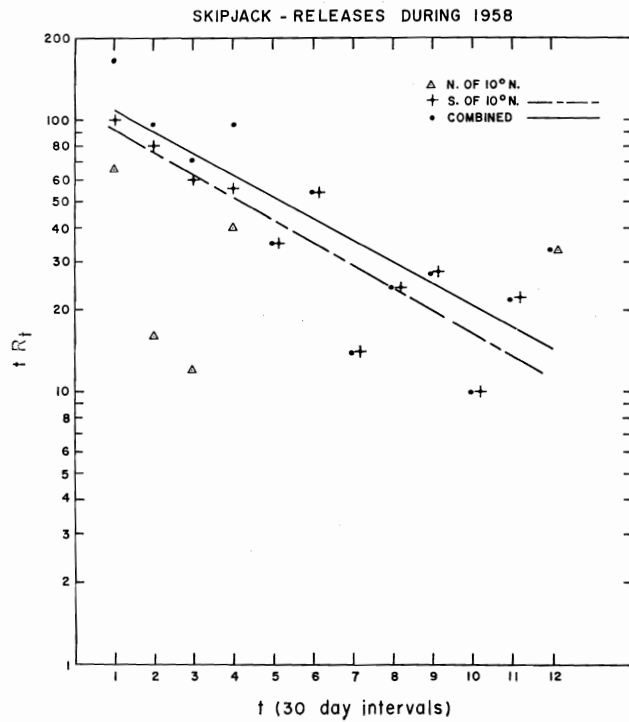


Figure 27. Relationships between tR_t and t , skipjack releases through 1957.

Figura 27. Barrilete. Relaciones entre tR_t y t . Liberaciones hasta 1957.

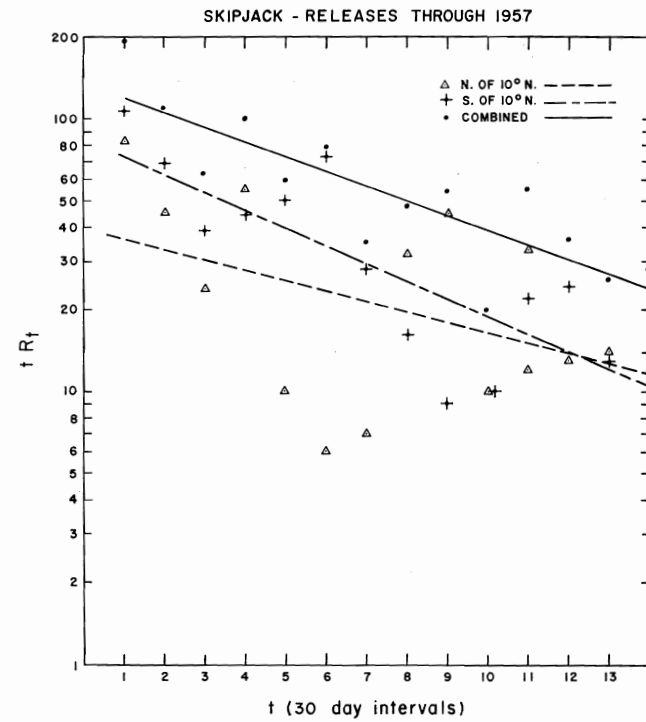


Figure 28. Relationships between tR_t and t , skipjack releases during 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 28. Barrilete. Relaciones entre tR_t y t . Liberaciones durante 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

Chatwin

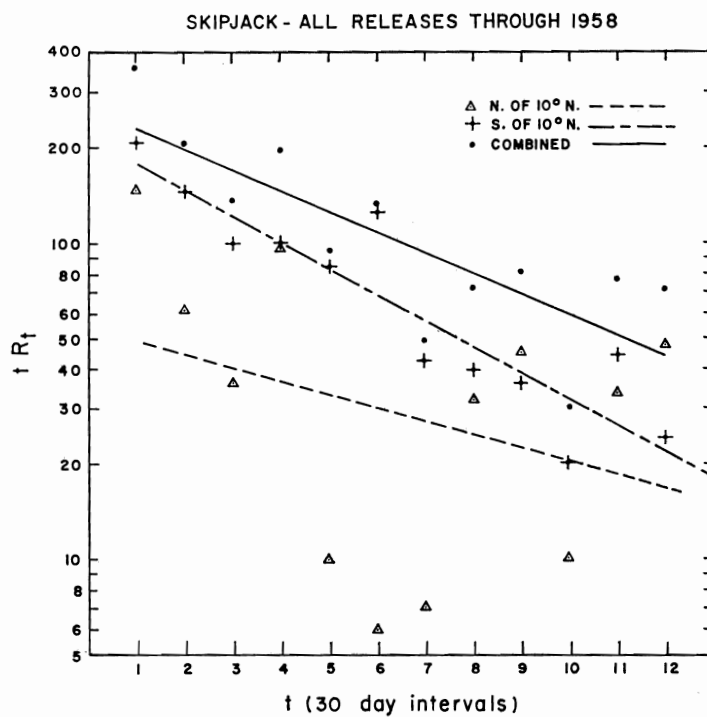


Figure 29. Relationships between tR_t and t , skipjack releases through 1958, recoveries during first 360 days.

Figura 29. Barrilete. Relaciones entre tR_t y t . Liberaciones hasta 1958 y recobros durante los primeros 360 días.

GROWTH OF TAGGED TUNA

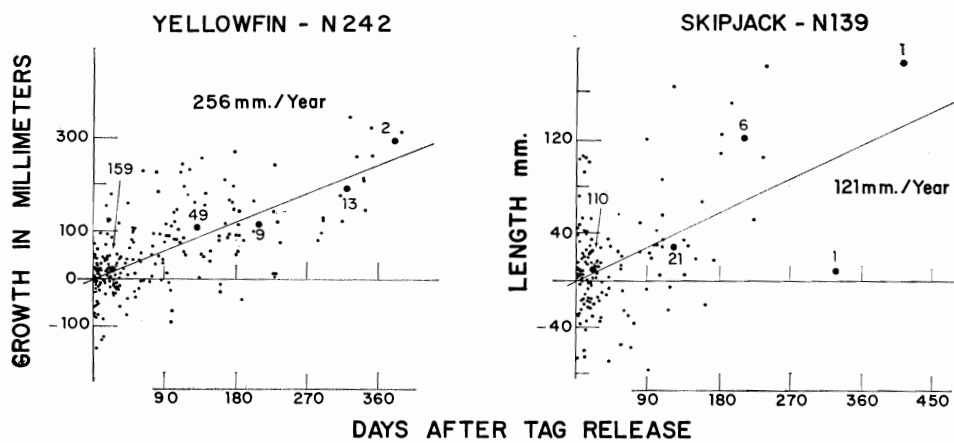


Figure 30. Apparent growth of tagged yellowfin and skipjack tuna.

Figura 30. Crecimiento aparente de los atunes aleta amarilla y barriletes marcados.

TABLE 1. Numbers of yellowfin and skipjack tuna tagged.
 TABLA 1. Número de atunes aleta amarilla y barriletes marcados.

Year	Cruise No.	Vessel or tagging station	Cruise dates	YELLOWFIN			SKIPJACK			Total No. tagged
				Loop tag	Dart tag	Toggle tag	Loop tag	Dart tag	Toggle tag	
				ATUN			BARRILETE			
Año	Crucero No.	Barco o estación de marcación	Fechas de los cruceros	Marca de gaza	Marca de dardo	Marca de cazonete	Marca de gaza	Marca de dardo	Marca de cazonete	No. total marcado
1955	1	Concho	XI/17—	265			812			1077
	Total 1955			265			812			1077
1956	1	Concho	I/29	100			194			294
	2	Sea King, W. Fisher	II/21—III/17	50		184			5	239
	3	Mary Lou	II/23—IV/26	160			71			240
	4	Mary Lou	VI/2—VI/25	139			199			338
	5	Mary Lou	VIII/2—IX/17	36			382			418
	6	May Queen	VIII/21—XI/16	180			171			351
	7	South Coast	IX/26—XI/13	219			915			1134
	8	Jeanne Lynn	XI/6—XII/24	341			323			664
	9	Starcrest	XII/26	2						2
		Paita, Peru		331			1007			1338
	Total 1956			1558		186	3262		12	5018
1957	9	Starcrest	—III/4	340			85			425
	10	Excalibur	I/29—IV/29	623			269			892
	11	Mary Lou	III/20—V/16	380			291			671
	12	Sun Pacific	V/20—VIII/8	167	145		646	151		1109
	13	Paramount	VI/30—VIII/27	196			809			1005
	14	Starcrest	VII/28—X/2	580			901			1481
	15	West Point	X/11—	227			897			1124
	16	Portuguesa	X/15—XII/11	405			581			986
	17	Coimbra	X/16—	84			561			645
		Paita, Peru		1472			6984			8456
	Total 1957			4474	145		12024	151		16794
1958	15	West Point	—I/21	28			1			29
	17	Coimbra	—II/4	266			123			389
	18	Columbia	I/24—II/28		(121 Bluefin tuna)					
	19	Mary Lou	III/10—V/31	390			325			715
	20	Constitution	IV/22—VII/6	442			1100			1542
	21	Jo Linda	V/12—VIII/9	236			409			645
	22	South Coast	VI/28—VII/19	391			1090			1481
	23	North American(2)	VII/29—VIII/27	1591	237		6851	751		9430
	24	Elsinore	IX/21—XII/10	134			1187			1321
		Paita, Peru		1234			5259			6493
		Manta, Ecuador		17			145			162
	Total 1958			4729	237		16490	751		22207
1959	25	Purse-seiners(1)	II/21—IV/6	414			3			417
	26	Alphecca	III/2—V/5	78			1119			1197
	27	Mary Jo	III/26—IV/24	6331			5992			12323
	28	United States	V/13—VI/23	93			631			724
	29	Carol Virginia	VIII/1—IX/30	179			1084			1263
	30	South Coast	IX/8—X/24	448			800			1248
	31*	Alphecca	X/14—XII/23	415			326			741
		Paita, Peru		864			4722			5586
		Manta, Ecuador		54			1732			1786
	Total 1959			8876			16409			25285
	GRAND TOTAL			19902	382	186	48997	902	12	70381

1/ Cruise 25: Jo Ann; Western Fisher; Determined; Ronnie M; and Santa Helena.
 Crucero 25:

2/ Charter cruise—Crucero contratado.

* Cruise 31. 82 tags released—species unknown (data lost overboard) and 38 big eye tuna not included in this table.

Crucero 31. 82 marcas liberadas—especies no conocidas (datos perdidos a bordo) y 38 atunes de ojos grandes, no incluidos en esta tabla.

TABLE 2. Tags released and returns received through 31 December 1959, by cruise or field station.**TABLA 2. Marcas liberadas y recobros recibidos hasta diciembre 31, 1959, por crucero o estación.**

Cruise or field station	YELLOWFIN				SKIPJACK			
	Tagged	Re-covered	Per cent recovered All tags	Loop tags only	Tagged	Re-covered	Per cent recovered All tags	Loop tags only
Crucero o estación	ATUN ALETA AMARILLA				BARRILETE			
	Marca-dos	Recobra-dos	Porcentaje recobrado Todas las marcas	Sólo marcas de gaza	Marca-dos	Recobra-dos	Porcentaje recobrado Todas las marcas	Sólo marcas de gaza
1	365	22	6.0	6.0	1006	14	1.3	1.3
2	234	—	0.0	0.0	5	—	0.0	0.0
3	162	2	1.2	1.2	78	—	0.0	0.0
4	139	8	5.7	5.7	199	3	1.5	1.5
5	36	3	8.3	8.3	382	5	1.3	1.3
6	180	1	0.5	0.5	171	—	0.0	0.0
7	219	18	8.2	8.2	915	13	1.5	1.5
8	341	15	4.4	4.4	323	6	1.8	1.8
9	342	21	6.1	6.1	85	8	9.4	9.4
1956 Sub-total	2018	90	4.5	4.9	3164	49	1.5	1.5
10	623	2	0.3	0.3	269	4	1.5	1.5
11	380	1	0.2	0.2	291	1	0.3	0.3
12	312	—	0.0	0.0	797	5	0.6	0.8
13	196	12	6.1	6.1	809	5	0.6	0.6
14	580	61	10.5	10.5	901	69	7.6	7.6
15	255	2	0.8	0.8	898	4	0.4	0.4
16	405	94	23.2	23.2	581	44	7.5	7.5
17	350	15	4.3	4.3	684	3	0.4	0.4
1957 Sub-total	3101	187	6.0	6.3	5230	135	2.6	2.7
18	—	—	—	—	—	—	—	—
19	390	2	0.5	0.5	325	3	0.9	0.9
20	442	6	1.3	1.3	1100	30	2.7	2.7
21	236	46	19.4	19.4	409	24	5.8	5.8
22	391	57	14.5	14.5	1090	20	1.8	1.8
23	1828	46	2.5	2.4	7602	47	0.6	0.6
24	134	7	5.2	5.2	1187	21	1.7	1.7
1958 Sub-total	3421	164	4.8	4.9	11713	145	1.2	1.3
25	414	16	3.9	3.9	3	—	—	—
26	78	3	3.8	3.8	1119	8	0.7	0.7
27	6331	14	0.2	0.2	5992	126	2.1	2.1
28	93	7	7.5	7.5	631	4	0.6	0.6
29	179	3	1.7	1.7	1084	3	0.3	0.3
30	448	21	4.6	4.6	800	10	1.3	1.3
31	415	4	0.9	0.9	326	—	0.0	0.0
1959 Sub-total	7958	68	0.9	0.9	9955	151	1.5	1.5
Unknown—desconocido						4		
Total all cruises								
Total todos los cruceros	16498	509	3.1	3.1	30062	484	1.6	1.6
Peru								
1956	331	29	8.7	8.7	1007	8	0.8	0.8
1957	1472	77	5.2	5.2	6984	166	2.3	2.3
1958	1234	72	5.8	5.8	5259	147	2.8	2.8
1959	864	60	6.9	6.9	4722	84	1.8	1.8
Sub-total	3901	238	6.1	6.1	17972	405	2.3	2.3
Ecuador								
1958-59	71	—	0.0		1877	48	2.6	2.6
GRAND TOTAL	20470	747	3.6	3.7	49911	937	1.9	1.9

Cruise No. 12 includes 145 yellowfin and 151 skipjack tagged with dart tags; no recoveries.

Cruise No. 23 includes 237 yellowfin and 751 skipjack tagged with dart tags; recoveries of dart tags are 8 yellowfin and 4 skipjack.

El Crucero No. 12 incluye 145 atunes aleta amarilla y 151 barriletes marcados con marcas de dardo; no hubo recobros.

El Crucero No. 23 incluye 237 atunes aleta amarilla y 751 barriletes marcados con marcas de dardo; los recobros de las marcas de dardo son: 8 atunes aleta amarilla y 4 barriletes.

TABLE 3. Number of tagged yellowfin tuna released within one-degree rectangles, by year and month of tagging, and total returns¹ (bracketed numbers) received by December 31, 1959.

TABLA 3. Número de atunes aleta amarilla marcados y liberados dentro de los rectángulos de un grado, por año y mes de marcación, y recobros totales (números en paréntesis) recibidos hasta diciembre 31, 1959.¹

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
1955													
00-075-15												1	1
S05-080-07												183(7)	183(7)
-06												81(8)	81(8)
TOTAL 1955												265(15)	265(15)
1956													
25-110-09									1				1
-07								6	3(1)				6
-04								6(2)		9(1)			18(4)
-03										113(12)			113(12)
20-110-23								9	1	57(2)			67(2)
-18											27		27
-17										39(1)	42(3)	2	83(4)
-16										2			2
20-105-13									7				7
-07			227						1			9(1)	237(1)
-06												53(2)	53(2)
-02												76(9)	135(10)
-01											59(1)	25(1)	115(1)
15-110-23						139(7)		3	19		9(1)	90	170(8)
-21		2	5										7
15-105-22						37(2)							37(2)
-18						26							26
-17						20							20
15-100-09			2										2
-08			1										1
-02			6										6
-01			1		1								2
15-095-10													1
-03			8							1			8
-02			10										10
10-105-22												20	20
10-100-22			6										6
-21			5										5
10-090-19													5
-18			22						12	44			56
-17									12	16			50
-11										5			5
10-085-14			2										2
			15										15

TABLE 3. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING—MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
S05-080-07	76(4)								41	121(15)	30(6)	29	297(25)
-06	24(2)									19	82(7)	3(1)	128(10)
-02												6	6
TOTAL 1956	100(6)	2	310	84(2)	—	139(7)	—	18(2)	103(1)	426(31)	274(19)	288(13)	1744(81)
1957													
25-110-15								6(1)	7(1)				13(2)
-10								44(3)	62(10)	54(13)			160(26)
-09								1(1)	31(3)	57(12)			89(16)
-04								188(20)			40(8)	8(5)	236(33)
-03								48(5)	53				101(5)
20-110-23								118(10)	22(6)				200(42)
-22										82(12)	60(26)		169(25)
-17											87(13)		16(4)
-06											1		1
20-105-12	1	89(12)											90(12)
-07		1											1
-03		13											13
-02		6(1)											6(1)
-01		73(1)											73(1)
15-110-23	12												12
-16	25(2)												25(2)
15-105-22		6											6
-21	1	8											9
-16	1	5											6
15-100-20		47											47
-15		4											4
15-100-14		13											13
-13	2	3											5
-08													2
-07		11(1)											16(1)
-06		10											12
-02		28(3)											28(3)
-01		2											2
15-095-05		24											24
-04		16											23
-03						1							1
10-095-24		13											13
-21													1
10-090-24		5								9			9
-19													5
-18													9
-17		34											5
-16						1							55
-13		59(1)											3
-12		102(1)											59(1)
-11						28							153(1)
						33							48

TAGGING AND RECOVERY OF TUNAS

TABLE 3. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING—MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
10-085-15			177	147									324
-10			29										29
-09			1										1
05-080-20			1										1
-19			9										9
-18			11										11
-13				134									134
-07			39	8									47
-03				135									135
05-075-14				38(1)		45							83(1)
-09				120	21	47							188
-08				42		202							244
-03						11							11
00-090-16							19(1)						19(1)
-07								78(1)					78(1)
-01								12(1)					12(1)
00-085-05								38					38
00-080-23				61									61
-21								5					5
00-075-24				38									38
-10				1									1
S05-080-17								1					1
-07	2							5(1)	8		38(1)	299(12)	42(2)
-06												81(2)	394(16)
-02	24(9)												81(2)
S10-080-06								10					24(9)
S10-075-10								4					10
-09				46(5)									4
-05					450(40)	78(1)	35(8)	118(7)	10	32(3)	55		46(5)
S20-070-01												17	778(59)
S25-070-21												33(1)	17
TOTAL 1957	68(11)	572(20)	358	833(6)	471(40)	383(1)	79(10)	659(49)	185(20)	272(41)	639(65)	100(8)	4619(271)
1958													
25-110-10								1	1				2
-09									3(1)				3(1)
-05								22(1)					22(1)
-04								197(34)	524(14)				722(48)
-03					11(6)	104(37)	2(1)	965(14)					1082(58)
20-110-23						4(1)		408(23)					412(24)
-22						1	119(16)						120(16)
-17						16							16
15-110-23						4							4
-21						2							2
-20					50								50

TABLE 3. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING—MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
-16						13(1)							13(1)
-08					7								7
15-100-19	16(1)												16(1)
15-095-02	24												24
10-085-02			8		55								63
05-085-21	5												5
-06					3								3
05-080-15					49								49
-14					48								48
05-080-12					6								6
-11					25								25
-09					29								29
-08					1	23							24
-07					13								13
-03					3								3
-02					7								7
05-075-14					14								14
-10					7								7
-09					101								101
-08				13	171								184
-04					100								100
-03				2	7								9
00-080-06						15(1)							15(1)
-01			23			1							24
00-075-24				8									8
-18				11									11
-10				108									108
S05-080-21				20(1)		26				2	8	8	62(1)
-17	3(1)											1	6(1)
-12				6(1) ✓		7							13(1)
-11						41(5) ✓						10(1) ✓	51(6)
-07								113(7) ✓	9(1) ✓	22	87(7) ✓	29(7) ✓	260(22)
-06								32(2) ✓	66(4) ✓	43	45(8) ✓	20(4) ✓	161(10)
-02								27(3) ✓	7		9(2) ✓		88(13)
S10-075-10				1		11							12
-05	348(10) ✓	148(2) ✓	183(1) ✓	18(2) ✓		145(17) ✓	61(7) ✓		30(3) ✓				933(42)
TOTAL 1958	396(12)	148(2)	214(1)	187(4)	707(6)	443(62)	402(59)	2041(62)	71(6)	97(4)	183(15)	77(14)	4966(247)
1959													
25-115-17								1(1)					1(1)
-16								103		104(1)			211(1)
-11								23(1)	4	66(2)			129(5)
25-110-15									86(2)	4			90(2)
-10								7	95(6)	10			112(6)
-09									32(6)	41(3)			73(9)
-04										5			5

TAGGING AND RECOVERY OF TUNAS

TABLE 3. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
20-115-21										6			6
20-105-25				32									32
-24			60(5)	118									178(5)
-19		13	13(2)										13(2)
-18			131(4)										144(4)
-17			46(5)										46(5)
15-110-21					7								7
15-100-20				1									1
05-105-24										1			1
05-085-04											29		29
-02											8		8
05-080-20				9									9
-19				1805(3)									1805(3)
-14				1149									1149
-13				39									39
05-075-15				1773(7)									1773(7)
-13				1556(4)									1556(4)
00-090-16			2							118(3)	91(1)		211(4)
00-085-23												25	25
-05											56		56
00-075-10						21							21
S05-090-21			3								1		4
S05-085-25											56		56
-21											24		24
-20											6		6
S05-080-22			4	1	3	1				10			10
-21	13	14									5	30	71
-17			1										1
-12								59					59
-08										6			6
-07		5(3)						91(11)	30(2)	94(7)	21	2	243(23)
-06		31(6)	9					56(7)	208(12)	95(6)	38(1)	35	472(32)
-02		35(4)											35(4)
S10-075-05			46	27(3)		86(7)							159(10)
TOTAL 1959	13	98(13)	315(16)	6510(17)	10	87(7)	227(18)	372(16)	352(22)	465(16)	335(2)	92	8876(127)
GRAND TOTALS	577(29)	820(35)	1197(17)	7614(29)	1188(46)	1052(77)	708(87)	3090(129)	711(49)	1260(92)	1431(101)	822(50)	20470(741)

1/ Recoveries for which month or area of release are unknown are:

1/ Recobros para los cuales el mes y el área de liberación son desconocidos:

tagged in 1955 = 1
 marcados en 1956 = 1
 1957 = 1
 1959 = 1

Total returns: 747
 Recobros totales:

TABLE 4. Number of tagged skipjack tuna released within one-degree rectangles by year and month of tagging, and total returns¹ (bracketed numbers) received by December 31, 1959.

TABLA 4. Número de barriletes marcados y liberados dentro de los rectángulos de un grado, por año y mes de marcación, y recobros¹ totales (números en paréntesis) recibidos hasta diciembre 31, 1959.

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
1955													
00-075-15												3	3
S05-080-07												571(6)	571(6)
-06												238(2)	238(2)
TOTAL 1955												812(8)	812(8)
1956													
25-110-15									4				4
-04								37	38(1)	28			103(1)
-03										266(3)			266(3)
20-110-23								73	6	233(5)			312(5)
-18											10		10
-17								14		306(5)	98		418(5)
-16										41			41
20-105-13									6				6
-07			5						2			34	41
-06												102	102
-02											8(1)	28(1)	36(2)
-01											65(3)	54	119(3)
15-110-23						199(2)		227(2)	60(2)			32(1)	518(7)
15-105-22													9
-18													20
-17													12
-06													1
15-100-09													7
-08													3
-03													1
-02													2
15-095-03													13
10-100-21													1
10-090-19													12
-18										6			8
-17										4			1
-11													2
10-085-14													5
S05-080-11													1
-07	174(3)											169(1)	169(1)
-06	20(3)								115(1)	31	57(1)	128(2)	505(7)
-02									6	76	305(2)	87(1)	494(6)
										11		22	33
TOTAL 1956	194(6)	—	40	43	—	199(2)	—	351(2)	247(4)	1001(13)	575(8)	624(5)	3274(40)

AT 9-6089

TABLE 4. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOTAL
1957													
25-110-15								3	10				13
-10								28(1)	31(2)				145(9)
-09								104(10)	58	86(6)			204(14)
-04								349(38)		42(4)			416(50)
-03								99(7)	127(1)		24(1)	43(11)	226(8)
20-110-23								60(6)	31		2		93(6)
-22										134(12)	237(9)		371(21)
-19								1					1
-17											13		13
20-105-12-		83(8)											83(8)
20-105-07		1											1
15-110-23	1												1
15-095-05		1											1
10-090-19			1										1
-18			1										1
-17		8	95(2)										103(2)
-12		12		39									51
-11			34	13									47
10-085-20				6									6
-15			64	112(3)									176(3)
-13				4									4
-10			3										3
-09			2										2
-07				2									2
05-080-13				76									76
05-080-07			1	19									20
-03				25(1)									25(1)
05-075-14				8		49(1)							57(1)
-09				120	25	39							184
-08				10		181(1)							191(1)
-03						24(1)							24(1)
00-090-16							2						2
-07								231(1)					231(1)
-02								6					6
-01								27					27
00-085-05								159(4)					159(4)
00-080-23				9									9
-21								6					6
-11								1					1
-01								149(1)					149(1)
00-075-24				54(1)									54(1)
-10				2									2
S05-080-21								15		1			16
-17								185					185
-07	87(2)							37	53(6)		171(4)	596(7)	1137(22)
-06	189(2)											193(3)	484(4)
-02	17												17
S10-080-06									169(1)				169(1)

SCHAEFER, CHATWIN AND BROADHEAD

TABLE 4. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
S10-075-10				2(1)				121					121
-09													2(1)
-05					897(10)	2012(34)	1316(20)	802(38)	60	855(34)	102(2)		6044(138)
S20-070-01												675(2)	675(2)
S25-070-21												138	138
TOTAL 1957	294(4)	105(8)	201(2)	501(6)	922(10)	2305(37)	2001(22)	1922(111)	317(3)	1289(60)	1269(21)	1049(16)	12175(300)
1958													
25-115-16								216(7)					216(7)
25-110-15								29					29
-10								39(2)					39(2)
-09								49					49
-04						27(4)	734(16)	45	1573(23)				2334(43)
-03					53(7)	41(8)	20	2859(7)					2973(22)
20-110-23					1	14(2)		3038(11)					3053(13)
-22					1								179(3)
-17						10							10
15-119-23						6							6
-20					1								1
-16							153(1)						153(1)
-08					14								14
05-080-02					1								1
05-075-14					31								31
-10					2								2
-09					63								63
-08				3	90(1)								93(1)
-04					17								17
-03					31								33
00-080-01			28		2		65(2)						93(2)
00-075-24					18								18
-18					2								2
-10					380(4)								380(4)
S05-080-21					119(2)						60(3)	65(3)	582(23)
-17	21				6	8	330(15)						267(3)
-12					93(1)	1	10			218(3)			104(1)
-11					55		96(4)						225(6)
S05-080-07								135(10)	20	49(5)	284(9)	180(9)	668(33)
-06								14(1)	79(1)	573(10)	103(2)	163(6)	932(20)
-02								70(6)		150(1)	71(4)	1	292(11)
S10-080-11													3
S10-075-10			3										357(10)
-05	340(7)	284(11)	398(1)	11		338(10)	84(3)	231(10)	111(7)				3731(83)
S20-070-13				106		2177(44)							35
-12											35		62(3)
-08											62(3)		116(1)
-07											4		4
-01											29(3)		29(3)
TOTAL 1958	361(7)	295(11)	426(1)	795(7)	315(8)	3267(90)	1133(24)	8181(75)	210(8)	990(19)	764(25)	504(20)	17241(295)

TAGGING AND RECOVERY OF TUNAS

TABLE 4. (Continued)

Year and one-degree rectangle Año y rectángulo de un grado	MONTH OF TAGGING — MES DE MARCACION												TOTAL
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	
1959													
30-115-13								8					8
25-115-22								227	12				239
-17								198(1)	94(1)				292(2)
-16								277	224(1)	100	74		675(1)
-11								11(1)	46		92		149(1)
25-110-15									32(1)	130	14		176(1)
-10								1	89(1)	13			103(1)
-09									80(2)	93(5)			173(7)
-04											69		69
20-105-24				3									3
05-085-05											30		30
-04											51		51
-03											2		2
05-080-19					801(2)								801(2)
-14					579(2)								579(2)
-13					167								167
05-075-15					2605(55)								2605(55)
-14					1840(67)								1840(67)
00-090-16										34	85		119
00-085-23												4	4
00-075-10							230						230
S05-080-25													120
-22								2		106(6)			108(6)
-21	61(1)	28	15(1)	115(2)	30(1)	380(16)	473(6)	15(1)	30(2)	47(2)	67(1)	19	1280(33)
-17		16	55			137(3)			158(2)			94	460(5)
-16							21(2)		36(1)			3	60(3)
-12						37	45(2)					34	116(2)
-11								484(7)					484(7)
-08										2			2
-07		8	12				97(2)		38	242(9)	67(1)	25	1042(24)
-06		17	10(1)				310(4)	553(12)	772(18)	705(11)	71(2)	35	2085(40)
-02		16	30(4)										46(4)
S10-075-05			575(3)	544(5)		1172(6)							2291(14)
TOTAL 1959	61(1)	85	697(9)	6654(133)	30(1)	1726(25)	1176(16)	2548(40)	1544(22)	838(24)	836(6)	214	16409(277)
GRAND TOTALS	910(18)	485(19)	1364(12)	7993(146)	1267(19)	7497(154)	4310(62)	13002(228)	2318(37)	4118(116)	3444(60)	3203(49)	49911(920)

1/ Recoveries for which month or area of release are unknown are:

1/ Recobros para los cuales el mes o el área de liberación son desconocidos:

tagged in: 1956 = 3
 marcados en: 1957 = 7
 1958 = 5
 1959 = 2

Total returns: 937
 Recobros toatales:

TABLE 5. Yellowfin tuna tagged, and recoveries through 31 December 1959, by year and region of tagging.

TABLA 5. Atunes aleta amarilla marcados y recobros hasta diciembre 31, 1959, por año y región de marcación.

Region	1955			1956			1957			1958			1955-1958	1959			Totals	
	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Recov.	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.
	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados
Baja California (off western side)				311	22	7.1	985	153	15.5	2379	148	6.2	8.8	627	24	3.8	4302	347
Gulf of California (in Gulf north of 20°N)				553	14	2.5	183	14	7.7				3.8	413	16	3.9	1149	44
Revilla Gigedo Islands				177	8	4.5	37	2	5.4	76	1	1.3	3.8	7	—	—	297	11
Southern Mexican Coast (20°N to 15°N)				113	2	1.8	198	4	2.0	40	1	2.5	2.0	1	—	—	352	7
Guatemala-Nicaragua (15°N to 10°N)				159	—	0.0	713	2	0.3	63	—	0.0	0.2				935	2
Costa Rica-Panama (10°N to 5°N)							863	1	0.1	656	—	0.0	0.1	6368	14	0.2	7887	15
Galapagos Islands							147	3	2.0				2.0	382*	4	1.0	529	7
Ecuador-Colombia (5°N to 2°S)	1	—	—				106	—	0.0	234	3	1.3	1.1	103	—	0.0	444	3
Gulf of Guayaquill (2°S to 5°S)	264	15	5.7	431	35	8.1	499	27	5.4	573	52	9.1	7.3	815	59	7.2	2582	188
14 fathom bank, Peru							838	64	7.6	945	42	4.4	5.9	159	10	6.3	1942	116
Peru-Chile boundary							50	1	2.0				2.0				50	1
TOTALS	265	15	5.7	1744	81	4.6	4619	271	5.9	4966	247	5.0	5.3	8876**	127	1.4	20470	747***

* Includes 25 tagged near Cocos Island.

** Includes 1 tagged at Clipperton Island not shown above.

*** Includes 6 recoveries for which information on time or place of tagging is incomplete.

* Incluye 25 peces marcados cerca de la Isla del Coco.

** Incluye 1 pez marcado en la Isla Clipperton, no indicado arriba.

*** Incluye 6 recobros para los cuales la información sobre el tiempo y el lugar de marcación es incompleta.

TABLE 6. Skipjack tagged, and recoveries through 31 December 1959, by year and region of tagging.

TABLA 6. Barriletes marcados y recobros hasta diciembre 31, 1959, por año y región de marcación.

Region	1955			1956			1957			1958			1955-1958	1959			Totals	
	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.	%	Recov.	Tagged	Recov.	%	Tagged	Recov.
	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados	Reco- brado	Marca- dos	Reco- brados
Baja California (off western side)				1154	14	1.2	1482	108	7.3	8927	90	1.0	1.8	1884	13	0.7	13447	225
Gulf of California (in Gulf north of 20°N)				304	5	1.6	84	8	9.5				3.4	3	—	—	391	13
Revilla Gigedo Islands				518	7	1.4	1	—	—	174	1	0.6	1.3				693	8
Southern Mexican Coast (20°N to 15°N)				68	—	—	1	—	—				—				69	—
Guatemala-Nicaragua (15°N to 10°N)				29	—	—	396	5	1.3				1.2				425	5
Costa Rica-Panama (10°N to 5°N)							577	4	0.7	240	1	0.4	0.6	5992	126	2.1	6809	131
Galapagos Islands							425	5	1.2				1.2	326*	—	0.0	751	5
Ecuador-Colombia (15°N to 2°S)	3	—	—				422	2	0.5	1342	32	2.4	1.9	2138	47	2.2	3905	81
Gulf of Guayaquil (2°S to 5°S)	809	8	1.0	1201	14	1.2	1638	26	1.6	2221	71	3.2	2.0	3775	77	2.0	9644	196
14 fathom bank, Peru							6336	140	2.2	4091	93	2.3	2.2	2291	14	0.6	12718	247
Peru-Chile boundary							813	2	0.2	246	7	2.8	0.8				1059	9
TOTALS	812	8	1.0	3274	40	1.2	12175	300	2.5	17241	295	1.7	1.9	16409	277	1.7	49911	937**

* Includes 87 tagged near Cocos Island.

** Includes 17 recoveries for which information on time or place of tagging is incomplete.

* Incluye 87 peces marcados cerca de la Isla del Coco.

** Incluye 17 recobros de los cuales la información respecto al tiempo o lugar de marcación es incompleta.

TABLE 7. Yellowfin tuna tagged through 1958 recovered through 1959, by month and region of tagging.

TABLA 7. Atunes aleta amarilla marcados hasta 1958 y recobrados hasta 1959, por mes y región de marcación.

	North of 15°N			15°N to 5°N			5°N to 2°S			South of 2°S		
	Tagged	Recovered	Recovered	Tagged	Recovered	Recovered	Tagged	Recovered	Recovered	Tagged	Recovered	Recovered
	Al norte de los 15°N			15°N hasta los 5°N			5°N hasta los 2°S			Al sur de los 2°S		
	Marcados	Recobrados	Recobrado	Marcados	Recobrados	Recobrado	Marcados	Recobrados	Recobrado	Marcados	Recobrados	Recobrado
January	82	3	3.7	5	0	—	3	1	33.3	474	25	5.3
February	361	18	5.0	213	2	0.94	—	—	—	148	2	1.4
March	276	0	0	400	0	0	23	—	—	183	1	0.5
			2.9			0.32			3.8			3.5
April	85	2	2.4	701	1	0.14	247	1	0.4	71	8	11.3
May	68	6	8.8	660	0	0	—	—	—	450	40	8.9
June	284	46	16.2	357	0	0	42	1	2.4	282	23	8.2
			12.4			.06			0.7			8.8
July	341	52	15.2	—	—	—	25	1	4.0	115	16	13.9
August	2324	94	4.0	—	—	—	128	2	1.6	266	17	6.4
September	213	21	9.9	24	0	—	—	—	—	122	6	4.9
			5.8			—			2.0			5.8
October	414	53	12.8	74	0	0	2	0	—	305	23	7.5
November	366	57	15.6	—	—	—	8	0	—	722	42	5.8
December	238	17	7.1	20	0	—	10	0	—	462	33	7.1
			12.5			0			—			6.6
TOTALS	5052	369	7.3	2454	3	0.12	488	6	1.2	3600	236	6.6

TAGGING AND RECOVERY OF TUNAS

TABLE 8. Skipjack tagged through 1958 recovered through 1959, by month and region of tagging.**TABLA 8.** Barriletes marcados hasta 1958 y recobrados hasta 1959, por mes y región de marcación.

	North of 15°N			15°N to 5°N			5°N to 2°S			South of 2°S		
	Tagged	Recovered	Recovered %	Tagged	Recovered	Recovered %	Tagged	Recovered	Recovered %	Tagged	Recovered	Recovered %
	Al norte de los 15°N			15°N hasta los 5°N			5°N hasta los 2°S			Al sur de los 2°S		
	Marcados	Recobrados	Recobrado %	Marcados	Recobrados	Recobrado %	Marcados	Recobrados	Recobrado %	Marcados	Recobrados	Recobrado %
January	1	0	—	—	—	—	21	0	—	827	17	2.1
February	85	8	9.4	20	0	—	—	—	—	295	11	3.7
March	30	0	—	211	2	0.94	28	0	—	398	1	0.3
			6.9			0.87			—			1.9
April	43	0	—	439	4	0.91	590	7	1.2	267	2	0.7
May	70	7	10.0	260	1	0.38	9	0	—	898	10	1.1
June	450	17	3.8	—	—	—	395	17	4.3	4633	92	2.0
			4.3			0.72			2.4			1.8
July	1049	21	2.0	293	3	1.02	358	1	0.3	1727	24	1.4
August	8726	112	1.3	—	—	—	423	5	1.2	1305	71	5.4
September	373	6	1.6	10	0	—	—	—	—	391	9	2.3
			1.4			0.99			0.8			3.0
October	1136	35	3.1	9	0	—	219	3	1.4	1916	54	2.8
November	489	15	3.1	—	—	—	60	3	5.0	2059	36	1.7
December	261	12	4.6	—	—	—	89	3	3.4	2639	34	1.3
			3.3			—			2.4			1.9
TOTALS	12713	233	1.8	1242	10	0.81	2192	39	1.8	17355	361	2.1

TABLE 9. Analysis of recovery rates of yellowfin tuna tagged off Baja California through 1958 and recovered through 1959.

TABLA 9. Análisis de las tasas de recobros de los atunes aleta amarilla marcados frente a Baja California hasta 1958 y recobrados hasta 1959.

	400-499 mm.			500-599 mm.			600-699 mm			700 and over			Total measured			Not measured			Grand total		
	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %
	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado
66-69°F	24	1	4.2	19	7	36.8	71	29	40.9	29	11	37.9	143	48	33.6	None Ninguno			143	48	33.6
70-73°F	7	1	14.3	20	5	25.0	17	2	11.8	15	4	26.7	59	12	20.3	196	41	20.9	255	53	20.8
74-77°F	255	9	3.5	259	16	6.2	125	22	17.6	45	6	13.3	684	53	7.8	476	73	15.3	1160	126	10.9
78 & over 78 y más	565	5	.9	422	19	4.5	107	7	6.5	11	2	18.2	1105	33	3.0	558	58	10.4	1663	91	5.5
Total	851	16	1.9	720	47	6.5	320	60	18.8	100	23	23.0	1991	146	7.3	1230	172	14.0	3221	318	9.9

Analysis of variance of percentages of recovered tags, arcsin transformation
Análisis de variancia de los porcentajes de marcas recobradas, transformación del arc sen

Temperature & measurement — Temperatura y medición					Temperature & fish length Temperatura y longitud del pescado				
Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio	Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio
Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia	Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia
Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	104,597	34,866	$F = \frac{34,866}{821} = 42.47^{**}$	Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	47,955	15,985	$F = \frac{15,985}{821} = 19.47^{**}$
Measurement Medición	1	38,872	38,872	$F = \frac{38,872}{821} = 47.35^{**}$	Length at tagging - Longitud al marcar	3	44,708	14,903	$F = \frac{14,903}{821} = 18.15^{**}$
Interaction Interacción	2	3,062	1,531	$F = \frac{1,531}{821} = 1.86$	Interaction Interacción	9	8,168	908	$F = \frac{908}{821} = 1.11$
Error Error	∞		821		Error Error	∞		821	

TABLE 10. Analysis of recovery rates of yellowfin tuna tagged between 2°S. and 10°S. (not including the Galapagos) through 1958 and recovered through 1959.

TABLA 10. Análisis de las tasas de recobros de los atunes aleta amarilla marcados entre los 2°S. y 10°S. (no incluyendo las Galápagos) hasta 1958 y recobrados hasta 1959.

	400-499 mm.			500-599 mm.			600 and over			Total measured			Not measured			Grand total		
	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %
	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-
	dos	brados	cochado	dos	brados	cochado	dos	brados	cochado	dos	brados	cochado	dos	brados	cochado	dos	brados	cochado
66-69°F	3	0	.0	30	3	10.0	48	3	6.3	81	6	7.4	82	10	12.2	163	16	9.8
70-73°F	31	6	19.4	217	19	8.8	191	9	4.7	439	34	7.7	1029	80	7.8	1468	114	7.8
74-77°F	138	1	.7	475	36	7.6	55	5	9.1	668	42	6.3	809	50	6.2	1477	92	6.2
78 & over 78 y más	72	1	1.4	178	1	.6	3	0	.0	253	2	.8	29	0	.0	282	2	.7
Total	244	8	3.3	900	59	6.7	297	17	5.7	1441	84	5.8	1949	140	7.2	3390	224	6.6

Analysis of variance of percentages of recovered tags, arcsin transformation
Análisis de variancia de los porcentajes de marcas recobradas, transformación del arc sen

Temperature & measurement — Temperatura y medición					Temperature & fish length Temperatura y longitud del pescado				
Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio	Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio
Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia	Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia
Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	30,678	10,226	$F = \frac{10226}{821} = 12.46^{**}$	Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	17,898	5,966	$F = \frac{5966}{821} = 7.27^{**}$
Measurement Medición	1	3	3	$F = \frac{3}{821} = .01$	Length at tagging - Longitud al marcar	2	4,865	2,433	$F = \frac{2433}{821} = 2.96$
Interaction Interacción	3	1,542	514	$F = \frac{514}{821} = .63$	Interaction Interacción	6	15,929	2,655	$F = \frac{2655}{821} = 3.23^{**}$
Error Error	∞		821		Error Error	∞		821	

TABLE 11. Analysis of recovery rates of skipjack tagged off Baja California through 1958 and recovered through 1959.

TABLA 11. Análisis de las tasas de recobros de los barriletes marcados frente a Baja California hasta 1958 y recobrados hasta 1959.

	400-499 mm.			500-599 mm.			600 and over			Total measured			Not measured			Grand total		
	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %
	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado	Marca- dos	Reco- brados	% re- cobrado
66-69°F	20	0	.0	137	12	8.8	90	10	11.1	247	22	8.9	3	0	.0	250	22	8.8
70-73°F	55	1	1.8	83	1	1.2	18	0	.0	156	2	1.3	204	23	11.3	360	25	6.9
74-77°F	382	3	.8	438	12	2.7	64	2	3.1	884	17	1.9	1493	52	3.5	2377	69	2.9
78 & over 78 y más	29	0	.0	9	0	.0	—	—	—	38	0	.0	8066	86	1.1	8104	86	1.1
Total	486	4	.8	667	25	3.7	172	12	7.0	1325	41	3.1	9766	161	1.6	11091	202	1.8

Analysis of variance of percentages of recovered tags, arcsin transformation
Análisis de variancia de los porcentajes de marcas recobradas, transformación del arc sen

Temperature & measurement — Temperatura y medición					Temperature & fish length Temperatura y longitud del pescado				
Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio	Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio
Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia	Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia
Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	74,522	24,841	$F = \frac{24,841}{821} = 30.26^{**}$	Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	22,149	7,383	$F = \frac{7383}{821} = 8.99^{**}$
Measurement Medición	1	12,470	12,470	$F = \frac{12,470}{821} = 15.19^{**}$	Length at tagging Longitud al marcar	2	5,368	2,684	$F = \frac{2684}{821} = 3.27^{**}$
Interaction Interacción	3	9,482	3,161	$F = \frac{3,161}{821} = 3.85^{**}$	Interaction Interacción	5	6,069	1,214	$F = \frac{1214}{821} = 1.48$
Error Error	∞		821		Error Error	∞		821	

TABLE 12. Analysis of recovery rates of skipjack tagged between 2°S. and 10°S. (not including the Galapagos) through 1958 and recovered through 1959.

TABLA 12. Análisis de las tasas de recobros de los barriletes marcados entre los 2°S. y 10°S. (no incluyendo las Galápagos) hasta 1958 y recobrados hasta 1959.

	400-499 mm.			500-599 mm.			600 and over			Total measured			Not measured			Grand total		
	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %	Tagged	Recov.	Recov. %
	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-	Marca-	Reco-	% re-
66-69°F	21	0	.0	54	0	.0	7	1	14.3	82	1	1.2	1723	66	3.8	1805	67	3.7
70-73°F	736	11	1.5	437	6	1.4	74	0	.0	1247	17	1.4	6140	139	2.3	7387	156	2.1
74-77°F	266	3	1.1	722	13	1.8	76	0	.0	1064	16	1.5	3881	93	2.4	4945	109	2.2
78 & over	92	0	.0	299	1	.3	164	5	3.1	555	6	1.1	122	1	.8	677	7	1.0
78 y más																		
Total	1115	14	1.3	1512	20	1.3	321	6	1.9	2948	40	1.4	11866	299	2.5	14814	339	2.3

Analysis of variance of percentages of recovered tags, arcsin transformation
Análisis de variancia de los porcentajes de marcas recobradas, transformación del arc sen

Temperature & measurement — Temperatura y medición					Temperature & fish length — Temperatura y longitud del pescado				
Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio	Source of variation	Degrees freedom	Sum of squares	Mean square	Variance ratio
Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia	Causa de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Razón de la variancia
Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	9,708	3,236	$F = \frac{3236}{821} = 3.94^{**}$	Temperature at tagging Temperatura al marcar	3	2,834	945	$F = \frac{945}{821} = 1.15$
Measurement Medición	1	7,258	7,258	$F = \frac{7258}{821} = 8.84^{**}$	Length at tagging Longitud al marcar	2	54	27	$F = \frac{27}{821} = .03$
Interaction Interacción	3	1,468	489	$F = \frac{489}{821} = .60$	Interaction Interacción	6	19,363	3,228	$F = \frac{3228}{821} = 3.93^{**}$
Error Error	∞		821		Error Error	∞		821	

TABLE 13. Recoveries of tagged yellowfin tuna through October 1959, by time at liberty and net distance of movement.

TABLA 13. Recobros de atunes aleta amarilla marcados hasta octubre de 1959, según el tiempo en libertad y la distancia neta de movimiento.

Tagging area Área de marcación	Days free Días en libertad	Distance in miles — Distancia en millas														N	\bar{t}	\bar{D}	\bar{D}^2
		0-50 100	51-100 150	101-150 200	151-200 250	201-250 300	251-300 350	301-350 400	351-400 450	401-450 500	451-500 550	501-550 600	551-600 650	601-650 700	651-700 750				
Northern areas (North of 15°N.)	1-30	131	6	8	1											146	12	24	1,885
	31-60	26	3	1		2		1								33	43	42	7,516
	61-90	17	2	3	2	1										27	76	79	19,951
Areas norteñas (Al norte de los 15°N.)	91-120	21	7	3				1	1		1					32	104	44	5,697
	121-150	7	1	4	3											18	134	126	25,738
	151-180	5	1	4	2		4									12	169	85	12,663
	181-210	14	3	1	1					1						20	192	60	12,479
	211-240	4	8	8	1			1								22	232	107	15,894
	241-270	2	3	4											1	11	257	156	46,565
	271-300	9	5	10	3			1						1		28	282	101	15,851
	301-330	3	3						1							3	310	61	3,773
	331-360	2	2	2	1	1										8	343	98	13,497
	361-390	2	1													3	375	48	3,566
	391-420	1	1													2	405	60	3,600
	421-450	1	1													2	430	50	2,536
TOTAL		241	46	48	14	4	5	3	2	1	1		1			366			
Southern areas (South of 15°N.)	1-30	44	5													49	19	17	594
	31-60	52	2					1	1							56	44	30	4,926
	61-90	42	1					3	1							47	77	42	10,366
Areas sureños (Al sur de los 15°N.)	91-120	21	1						2							25	107	55	15,003
	121-150	9						1	1							12	134	102	40,664
	151-180	15	2					2	1		1		1			22	168	106	39,650
	181-210	13	6					2	1							22	193	68	17,365
	211-240	8							1							9	226	56	15,686
	241-270	3													1	4	264	184	129,649
	271-300	3	1				1									5	283	81	18,853
	301-330	1			1											2	313	85	13,625
	331-360	1	1													1	342	53	2,809
	361-390	2														2	366	18	363
	391-420	2														2	410	23	673
	421-450	1														1	427	0	0
	451-480	1														1	457	0	0
	481-510																		
	511-540	2														2	523	18	325
	541-570																		
	571-600	1														1	572	42	1,764
	601-630	1														1	601	8	64
TOTAL		221	19		1		1	10	8		2	1				1			264
Local Banks (North of 20°N. and west of 110°W.)	1-30	110	1	7												118	11	21	1,535
	31-60	20	3	1		1										25	43	29	3,081
	61-90	16	1	2												19	76	27	1,863
	91-120	21	6	2				1								30	103	40	5,279
	121-150	6		4	1											11	134	72	9,441
	151-180	5	1	4	2											12	169	85	12,663
	181-210	13	3		1											17	190	38	2,889
	211-240	4	8	8	1											21	232	96	11,466
	241-270	2	3	4			1									10	256	115	19,861
	271-300	9	5	10	3				1							28	282	101	15,851
	301-330	3	3													3	310	61	3,773
	331-360	2	2	2	1	1										8	343	98	13,497
	361-390	2	1													3	375	48	3,566
	391-420	1	1													1	405	60	3,600
	421-450	1	1													2	430	50	2,536
TOTAL		211	39	44	9	2	1	1	1							308			

MARCACION Y RECUBROS DE ATUNES

TABLE 13. (Continued)

Tagging area Area de marcación	Days free Días en libertad	Distance in miles — Distancia en millas														N	t	D	D ²	
		0-50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	501-550	551-600	601-650	651-700					701-750
Gulf of California and Southern Mexican coast (North of 15°N. and east of 110°W.)	1-30	16	5	1	1											23	14	44	4,093	
	31-60	3				1		1								5	38	131	34,198	
	61-90		1	1	2	1		1	1		1					7	75	230	71,898	
	91-120		1	1												2	112	109	11,962	
	121-150	1			2		4									7	134	210	51,347	
	151-180																			
	181-210			1						1	1					2	196	272	100,228	
	211-240									1						1	227	330	108,900	
241-270												1			1	265	560	313,600		
TOTAL		20	7	4	5	2	4	2	1	1	1	1			48					
Revilla Gigedo Islands (5° rectangle 15-110)	1-30	5														5				
	31-60	3														3				
	61-90	1														1				
	91-120																			
	121-150																			
	151-180																			
	181-210	1														1				
TOTAL		10													10					
Central American coast (15°N. to 5°N.)	1-30	1	1													2				
	31-60		2													2				
	61-90																			
	91-120																			
	121-150										1					1				
151-180										1	1				2					
TOTAL		1	3							2	1				7					
Galapagos Islands	1-30																			
	31-60	1																		
	61-90																			
	91-120																			
	121-150																			
	151-180																			
	181-210	1																		
	211-240																			
241-270																1				
TOTAL		2													1					
Coastal South America (South of 5°N.)	1-30	43	4													47	19	16	523	
	31-60	51							1	1						53	44	28	4,959	
	61-90	42	1						3	1						47	77	42	10,378	
	91-120	21	1						1	2						25	107	55	15,008	
	121-150	9							1	1						11	134	68	23,065	
	151-180	15	2						2	1						20	167	66	18,437	
	181-210	12	6						2	1						21	191	68	18,073	
	211-240	8								1						9	226	56	15,686	
	241-270	3														3	267	5	65	
	271-300	3	1													5	283	81	18,853	
	301-330	1			1		1									2	312	85	13,625	
	331-360		1													1	342	53	2,805	
	361-390	2														2	366	18	362	
	391-420	2														2	410	23	673	
	421-450	1														1	427	0	0	
	451-480	1														1	457	0	0	
	481-510																			
	511-540	2														2	523	18	325	
	541-570	1														1	572	42	1,764	
	571-600	1														1	601	8	64	
601-630	1																			
TOTAL		218	16		1		1	10	8						254					

TABLE 14. Recoveries of tagged skipjack through October 1959, by time at liberty and net distance of movement.

TABLA 14. Recobros de barriletes marcados hasta octubre de 1959, según el tiempo en libertad y la distancia neta de movimiento.

Tagging area Area de marcación	Days free Días en libertad	Distance in miles — Distancia en millas																N	\bar{t}	\bar{D}	\bar{D}^2
		0-50	51- 100	101- 150	151- 200	201- 250	251- 300	301- 350	351- 400	401- 450	451- 500	501- 550	551- 600	601- 650	651- 700	701- 750	751- 800				
Northern areas (North of 15°N.)	1-30	131	8	3	1													143	11	15	917
	31-60	19	3	3		1		1	1									28	42	60	12,044
	61-90	3	4	3	1													11	71	87	10,223
Areas norteñas (Al norte de los 15°N.)	91-120	5	8	8	1													22	103	88	10,540
	121-150	1					1											2	132	156	38,064
	151-180			1														1	180	115	13,225
	181-210	1																1	203	40	1,600
	211-240	3		1														4	232	53	5,341
	241-270	3		1		1												5	249	85	13,282
	271-300	1																1	300	24	576
	301-330	1	1									1						3	307	224	121,217
	331-360		2		1								1					4	343	224	87,668
	361-390					1												1	371	253	64,009
	391-420									1								1	410	480	115,200
TOTAL		168	26	20	4	2	2	1	1		1	1	1					227			
Southern areas (South of 15°N.)	1-30	244	17	3	2													266	16	15	999
	31-60	93	6	4	4	2		1	1	1								112	43	40	4,865
	61-90	37	3	2	3			2			2							50	76	79	30,752
Areas sureñas (Al sur de los 15°N.)	91-120	18	2	1					2		2			1				27	103	128	50,478
	121-150	9		1	2	2			4		2	1						23	135	239	113,740
	151-180	12		2	2			1	2		4	1		1				25	163	192	77,934
	181-210	2			1				1		2							6	187	262	105,572
	211-240	1		1		1												5	227	324	181,615
	241-270	3						1										4	259	84	28,224
	271-300	2																3	277	205	106,537
	301-330	4											1					4	315	15	450
	331-360	2																2	350	25	312
	361-390	1																1	377	0	0
	391-420	1																1	393	0	0
	421-450																				
	451-480	1																1	471	42	1,764
TOTAL		430	28	14	14	5		5	11	1	12	3	2		1	1		3	530		
Local Banks (North of 20°N.; west of 110°W.)	1-30	115	8	3														126	10	15	818
	31-60	18	3	3		1		1	1									27	42	63	12,492
	61-90	3	4	3	1													11	71	87	10,223
	91-120	5	7	7	1													20	103	87	10,584
	121-150	1																1	128	40	1,600
	151-180			1														1	180	115	13,225
	181-210	1																1	203	40	1,600
	211-240	3		1														4	232	53	5,341
	241-270	3		1		1												5	249	85	13,282
	271-300	1																1	300	24	576
	301-330	1	1										1					3	307	224	121,217
	331-360		2		1													4	343	224	87,668
	361-390					1							1					1	371	253	64,009
	391-420										1							1	410	480	230,400
TOTAL		151	25	19	3	2		1	1	1		1	1					206			

MARCACION Y RECUBROS DE ATUNES

TABLE 14. (Continued)

		Distance in miles — Distancia en millas																		N	\bar{t}	\bar{D}	\bar{D}^2
Tagging area Area de marcación	Days free Días en libertad	0-50	51- 100	101- 150	151- 200	201- 250	251- 300	301- 350	351- 400	401- 450	451- 500	501- 550	551- 600	601- 650	651- 700	701- 750	751- 800	801- 850					
Gulf of California and southern Mexican coast (North of 15°N.; east of 110°W.)	1-30 31-60 61-90 91-120 121-150	9			1														10	14	27	2,808	
			1	1			1												2	102	100	10,100	
																			1	136	273	75,529	
TOTAL		9	1	1	1		1												13				
Revilla Gigedo Islands (5° rectangle 15-110)	1-30 31-60	7																	7				
		1																	1				
TOTAL		8																	8				
Central American coast (15°N. to 5°N.)	1-30 31-60 61-90 91-120 121-150 151-180 181-210 211-240	30 32 3	4 1 1	3	1			1			2					1			38	21	42	3,462	
									1		2								34	39	36	3,722	
											2								8	79	224	89,068	
											2	1							4	98	538	293,837	
						2					2	1							6	139	429	215,065	
					1						3	1				1			5	162	429	197,365	
											2								2	182	480	230,400	
								1			2								1	224	380	144,400	
TOTALS		65	6	3	2	2		3	1	11	3				1	1			96				
Galapagos Islands	1-30 211-240	3																				3	
																						1	
TOTAL		3																				4	
Coastal South America (South of 5°N.)	1-30 31-60 61-90 91-120 121-150 151-180 181-210 211-240 241-270 271-300 301-330 331-360 361-390 391-420 421-450 451-480	211 61 34 18 9 12 2 1 3 2 4 2 1 1 1	13 5 2 2 1 2 2 1 3 4 4 2 1 1 1	4 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1	4 4 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2		1	1		2	4	1					1	23	104	57	14,024	
											2								17	134	172	77,978	
											4								20	163	133	48,076	
								1			1		1						4	190	153	43,158	
											3								3	229	136	24,926	
				1		1			1		4								4	259	84	28,224	
											3		1						3	277	205	106,537	
											4								4	315	15	450	
											2								2	351	12	312	
											1								1	377	0	0	
											1								1	393	0	0	
																			1	471	42	1,764	
TOTAL		362	22	11	12	3		2	10	1	1		2					2	428				

TABLE 15. Recoveries of yellowfin tuna by time at liberty.

TABLA 15. Recobros de atunes aleta amarilla según el tiempo en libertad.

Time at liberty (30-day intervals)	Releases through 1957			Releases during 1958*			All releases through 1958*		
	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined
Tiempo en libertad (intervalos de 30 días)	Liberaciones hasta 1957			Liberaciones durante 1958*			Todas las liberaciones hasta 1958*		
	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado
1	33	17	50	91	26	117	124	43	167
2	28	26	54	11	13	24	39	39	78
3	27	29	56	3	15	18	30	44	74
4	18	19	37	16	5	21	34	24	58
5	12	5	17	6	6	12	18	11	29
6	7	12	19	5	10	15	12	22	34
7	19	15	34	3	10	13	22	25	47
8	22	3	25	—	5	5	22	8	30
9	11	3	14	—	1	1	11	4	15
10	29	1	30	—	4	4	29	5	34
11	4	2	6	—	—	—	4	2	6
12	4	1	5	5	1	6	9	2	11
13	1	2	3						
14	—	2	2						
15	2	1	3						
16	—	1	1						
17	—	—	—						
18	—	2	2						
19	—	—	—						
20	—	1	1						
21	—	1	1						
22	—	—	—						
23	—	—	—						
24	1	—	1						
Totals	218	143	361	140	96	236	354	229	583
Totales									
S ₁	0.143	0.233	0.169	<0.001	0.024	<0.001	0.007	0.088	0.021
S ₂	0.145	0.066	0.102	0.168	0.098	0.121	0.169	0.065	0.111
S ₃	0.123	0.119	0.061	0.112	0.047	0.032	0.103	0.026	0.064

S₁—"Jackson" estimate of annual survival rate, all data.

Estimación de "Jackson" de la tasa anual de supervivencia, todos los datos.

S₂—"Jackson" estimate of annual survival rate, **not** using recoveries of first 30 days.

Estimación de "Jackson" de la tasa anual de supervivencia, **sin** usar los recobros de los primeros 30 días.

S₃—Annual survival rate from regression line, all data.

Tasa anual de supervivencia según la línea de regresión, todos los datos.

* Recoveries during first 360 days at liberty only.

Recobros durante los primeros 360 días en libertad solamente.

TABLE 16. Recoveries of skipjack by time at liberty.

TABLA 16. Recobros de barriletes según el tiempo en libertad.

Time at liberty (30-day intervals)	Releases through 1957			Releases during 1958*			All releases through 1958*		
	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined
Tiempo en libertad (intervalos de 30 días)	Liberaciones hasta 1957			Liberaciones durante 1958*			Todas las liberaciones hasta 1958*		
	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Combinado
1	83	109	192	66	100	166	149	209	358
2	23	32	55	8	40	48	31	72	103
3	8	13	21	4	20	24	12	33	45
4	14	11	25	10	14	24	24	25	49
5	2	10	12	—	7	7	2	17	19
6	1	12	13	—	9	9	1	21	22
7	1	4	5	—	2	2	1	6	7
8	4	2	6	—	3	3	4	5	9
9	5	1	6	—	3	3	5	4	9
10	1	1	2	—	1	1	1	2	3
11	3	2	5	—	2	2	3	4	7
12	1	2	3	3	—	3	4	2	6
13	1	1	2						
14	1	1	2						
15									
16									
17									
Totals	148	201	349	91	201	292	237	400	637
Totales									

* Recoveries during first 360 days at liberty only.

Recobros durante los primeros 360 días en libertad solamente.

TABLE 17. t and tR_t for skipjack tag recoveries.

TABLA 17. t y tR_t para los recobros de barriletes marcados.

t (30-day intervals)	Releases through 1957			Releases during 1958*			All releases through 1958*		
	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined	N. of 10°N.	S. of 10°N.	Combined
t (interva- los de 30 días)	Liberaciones hasta 1957			Liberaciones durante 1958*			Todas las liberaciones hasta 1958*		
	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Com- binado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Com- binado	N. de los 10°N.	S. de los 10°N.	Com- binado
1	83	109	192	66	100	166	149	209	358
2	46	64	110	16	80	96	62	144	206
3	24	39	63	12	60	72	36	99	135
4	56	44	100	40	56	96	96	100	196
5	10	50	60	—	35	35	10	85	95
6	6	72	78	—	54	54	6	126	132
7	7	28	35	—	14	14	7	42	49
8	32	16	48	—	24	24	32	40	72
9	45	9	54	—	27	27	45	36	81
10	10	10	20	—	10	10	10	20	30
11	33	22	55	—	22	22	33	44	77
12	12	24	36	36	—	36	48	24	72
13	13	13	26						
14	14	14	28						
Totals	391	514	905	170	482	652	534	969	1503
Totales									
S_1	0.085	0.077	0.080	0.046	0.104	0.056	0.059	0.071	0.066
S_3	0.349	0.161	0.221	—	0.099	0.106	0.314	0.099	0.159

S_1 —"Jackson" estimate of annual survival rate, all data.

Estimación de "Jackson" de la tasa anual de supervivencia, todos los datos.

S_3 —Annual survival rate from regression line, all data.

Tasa anual de supervivencia según la línea de regresión, todos los datos.

* Recoveries during first 360 days at liberty only.

Recobros durante los primeros 360 días en libertad solamente.

TABLE 18. Estimates of growth of yellowfin tuna from recovered tagged specimens.**TABLA 18. Estimaciones del crecimiento del atún aleta amarilla por medio del recobro de especímenes marcados.****Tuna Commission data, recoveries to October 31, 1959.****Datos de la Comisión del Atún, recobros hasta el 31 de octubre de 1959.**

Size at tagging	Regression of growth in mm. on days free			Regression through origin	
	N	b	Yearly growth increment (b × 365)	b	Yearly growth increment (b × 365)
Tamaño al marcar	Regresión del crecimiento en mm. sobre los días en libertad			Regresión a través del origen	
	N	b	Incremento anual del tamaño (b × 365)	b	Incremento anual del tamaño (b × 365)
400-499 mm.	24	+.756	276 mm.	+.906	331 mm.
500-599 mm.	110	+.582	212 mm.	+.662	242 mm.
600-699 mm.	83	+.565	206 mm.	+.561	205 mm.
700 & over	25	+.996	364 mm.	+.700	256 mm.
All sizes Todos los tamaños	242	+.669	244 mm.	+.680	248 mm.

California Department of Fish and Game data (Blunt and Messersmith, 1960).

400-599 mm.	81	+.819	299 mm.	+.761	278 mm.
600-699 mm.	69	+.956	349 mm.	+.776	283 mm.
700 & over	17	+.799	292 mm.	+.674	246 mm.
All sizes Todos los tamaños	167	+.847	309 mm.	+.757	276 mm.

TABLE 19. Estimates of growth of skipjack tuna from recovered tagged specimens.**TABLA 19. Estimaciones del crecimiento del barrilete por medio del recobro de especímenes marcados.****Tuna Commission data, recoveries to October 31, 1959.****Datos de la Comisión del Atún, recobros hasta el 31 de octubre de 1959.**

Size at tagging	Regression of growth in mm. on days free			Regression through origin	
	N	b	Yearly growth increment (b × 365)	b	Yearly growth increment (b × 365)
Tamaño al marcar	Regresión del crecimiento en mm. sobre los días en libertad			Regresión a través del origen	
	N	b	Incremento anual del tamaño (b × 365)	b	Incremento anual del tamaño (b × 365)
400-499 mm.	29	+.475	173 mm.	+.567	207 mm.
500-599 mm.	82	+.290	106 mm.	+.318	116 mm.
600 & over	28	+.160	58 mm.	+.003	1 mm.
All sizes Todos los tamaños	139	+.341	124 mm.	+.335	122 mm.

California Department of Fish and Game data (Blunt and Messersmith, 1960).

All sizes Todos los tamaños	28	+.418	153 mm.	+.212	77 mm.
--------------------------------	----	-------	---------	-------	--------

MARCACION Y RECOBRO DE ATUNES TROPICALES, 1955-1959

por

Milner B. Schaefer, Bruce M. Chatwin y**Gordon C. Broadhead****INTRODUCCION**

El atún aleta amarilla y el barrilete se encuentran en cantidades comerciales en el Océano Pacífico Oriental, desde California hasta Chile. Estos peces son capturados en alta mar a varios cientos de millas de distancia de tierra firme (ver Alverson, 1960). La Comisión Interamericana del Atún Tropical ha estado dedicada durante varios años a la investigación de la biología, ecología y dinámica de las poblaciones de los stocks de las indicadas especies que mantienen la pesquería comercial, a fin de elucidar los efectos de ésta y de los factores independientes de la explotación sobre la abundancia y hábitos de estos peces, para obtener una base científica que permita una administración racional de la pesquería. Un aspecto importante de esta investigación es el estudio de los movimientos migratorios de estas especies en el Pacífico Oriental, y la determinación de que si cada una constituye una sola población o está compuesta de varias subpoblaciones. Un medio directo de abordar estos problemas es el de la marcación, y subsecuente recuperación, de especímenes en la región de la pesquería comercial. Esto también proporciona una información directa sobre la tasa de crecimiento, por la comparación de los tamaños de los especímenes al ser marcados y recuperados más tarde y puede proveer la base para estimar las tasas de mortalidad. Estos son dos de los elementos importantes de las estadísticas vitales de las poblaciones de atún.

Hasta 1952 no se había tenido éxito en la marcación de atunes tropicales en el Pacífico. Godsil (1938), entre 1934 y 1938 marcó 4,000 atunes aleta amarilla y barriletes con una marca opercular y el resultado fué de un solo recobro un día después de la marcación. Los experimentos japoneses a que se refirió Wilson (1953) con marcas de celuloide y alambre de plata que se colocaban alrededor de los pedúnculos caudales de los barriletes tampoco tuvieron éxito. En 1952, científicos del California State Fisheries Laboratory (Wilson, 1953) liberaron 350 atunes marcados con diversos tipos de marcas e hicieron cuatro recobros de los 81 especímenes marcados con tubos plásticos de polivinil que se insertaron en los músculos dorsales posteriores a la segunda aleta dorsal. En 1953 también se hicieron otros experimentos con modificaciones de este tipo de marca con resultados alentadores y en los años siguientes se ha marcado y recuperado un número considerable de especímenes (Blunt y Messersmith, 1960).

Los científicos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical comen-

zaron la marcación de atunes en noviembre de 1955. Hasta fines de 1959 se ha liberado un total de 20,479 atunes aleta amarilla y 49,911 barriletes marcados. De éstos se han recuperado (hasta el 31 de diciembre de 1959) 747 atunes aleta amarilla y 937 barriletes. Aún cuando los experimentos están todavía en progreso, los datos hasta ahora acumulados se consideran suficientes para respaldar algunas conclusiones con respecto a los movimientos migratorios, el crecimiento y la mortalidad de estas especies y, en consecuencia, presentamos en este estudio un análisis preliminar de los datos.

RECONOCIMIENTO

A fin de liberar el gran número de atunes cuyos recobros han sido estudiados aquí, ha sido necesario que los científicos de la Comisión y sus asistentes empleen muchos y largos días en el mar a bordo de barcos pesqueros comerciales. El dedicado trabajo de estos hombres, que por ser tantos no es posible mencionarlos particularmente, es reconocido con gratitud. De igual modo deseamos expresar muy sinceramente nuestro reconocimiento a los capitanes y miembros de las tripulaciones de muchos barcos de la flota pesquera quienes han cooperado tan generosamente en los experimentos de marcación.

La decisiva cooperación de los capitanes y pescadores de los barcos atuneros, así como la de los trabajadores de las plantas enlatadoras, en la devolución a nuestros laboratorios de los atunes marcados y liberados que recapturan, junto con la información sobre los lugares y fechas de recaptura, es también motivo de profundo agradecimiento.

METODOS DE MARCACION Y RECOBRO

La marca de California "Tipo G," la más efectiva de las probadas por Wilson (1953), consiste esencialmente de un tubo plástico de vinil que lleva el número de identificación y que se inserta en los músculos dorsales del pez, anudándose luego los extremos para formar una gaza.

Casi todas las marcas usadas por la Comisión del Atún han sido de un tipo similar (las "marcas de gaza" en nuestra Tabla 1) y se ilustran en las Figuras 1 y 3, pero tanto la marca como los métodos para colocarla han sufrido ciertas modificaciones para reducir la mortalidad por la marcación, así como el posible desprendimiento de la marca en los peces. Unas pocas "marcas de cazonete", similares a las empleadas por los escoceses en el arenque (Wood, Parrish y McPherson, 1955), fueron probadas durante dos cruceros anteriores, pero se abandonaron porque los experimentos en la Institución Scripps de Oceanografía con tales marcas en macarelas cautivas y en atunes muertos (conducidos en el Behaviour

Laboratory, College of Fisheries, de la Universidad de Washington) indicaron que se producía gran desprendimiento de las marcas. Además se probaron 1,284 "marcas de dardo" ilustradas en las Figuras 2 y 3, similares a las descritas por Yamashita y Waldron (1958). Las marcas de dardo en este experimento preliminar no parecieron ofrecer ventaja alguna sobre las marcas de gaza (Broadhead, 1959a, página 93 y datos del Crucero 23 en nuestra Tabla 2). Sin embargo, reciente experiencia indica que este tipo de marca puede ser más ventajoso que lo que originalmente se creyó y continúan en progreso nuevos experimentos con esta marca.

Durante los experimentos en 1955-1956 (Broadhead, 1959a) se introdujeron varias modificaciones en las marcas y métodos de aplicarlas. Con el objeto de apresurar el manipuleo del pez durante la marcación, hemos empleado una grapa de metal para unir los extremos del tubo plástico y formar la gaza. Inicialmente (durante todos los cruceros de California hasta el Crucero 13, y también en los cruceros del Perú en 1956 y 1957) se usó una pequeña grapa de monel o de acero inoxidable aplicada a mano y cerrada con un alicate corriente. Posteriormente se ha empleado un aparato engrapador mecánico descrito por Broadhead (1959a). Asimismo, para apresurar el manipuleo de los peces, inicialmente no tomábamos ninguna medida de longitud porque estimábamos que las cantidades adicionales de recobros que proporcionan información sobre los movimientos migratorios eran de mayor importancia que la posible información que podría obtenerse sobre el crecimiento. Sin embargo, se descubrió que con la ayuda de marcas de referencia en la "cuna" en que se ponen los peces para la marcación se podía estimar la longitud con una aproximación de 5 cm., con un retardo en la operación de sólo 3 ó 4 segundos; en consecuencia, ésto se hizo rutinariamente desde noviembre de 1957. Hay que hacer hincapié al hecho de que es importante el rápido pero cuidadoso manipuleo de estos delicados peces para disminuir la mortalidad por la marcación. Por las razones que daremos más adelante, se cree que la mortalidad por la marcación es todavía muy elevada aún con la técnica que se emplea actualmente.

El uso de grapas metálicas en las marcas de gaza, en vez de nudos, no solamente aumenta la rapidez de la marcación sino que tiende a disminuir el desprendimiento de las marcas, pues se ha observado en algunos de los primeros recobros con marcas de gaza anudadas que los nudos se habían soltado. Otra posible causa del desprendimiento de las marcas, que se descubrió en los primeros experimentos, es la rotura de ciertos tipos de tubo plástico que se vuelven quebradizos después de estar algún tiempo en contacto con el agua de mar. Esto fué combatido eficazmente mediante la inserción de un alma de monofilamento de nilón en el tubo plástico y también con el empleo de un tipo de material plástico que no se vuelve quebradizo en el agua de mar. Los refuerzos de nilón no fueron usados en los Cruceros 1-4 ni en el Perú hasta enero de 1957. La mitad de las marcas tenían refuerzos de nilón en los Cruceros 5-10 y en el Perú durante el mes de enero de 1957, para tener así un medio de comparación cuyos resultados

fueron publicados por Broadhead (1959a). Posteriormente se han seguido usando rutinariamente marcas reforzadas con nilón.

También se ha hecho mención que ciertos colores de las marcas se distinguen menos fácilmente que otros, dando como resultado un menor número de recobros. En los Cruceros 1-5 y en el Perú durante el año 1956 se empleó el color blanco. En los Cruceros 6-10 y en el Perú durante 1957 se hicieron experimentos para comparar las tasas de recobros con marcas amarillas, blancas y de plástico claro. Los resultados, analizados por Broadhead (1959a), indicaron que las tasas de recobros de las marcas amarillas fueron superior y, consecuentemente, desde entonces se ha empleado ese color en forma rutinaria.

Los recobros se hacen cuando los atunes marcados son vistos en el momento de la captura, durante la descarga de los barcos en las plantas enlatadoras, o durante el destace y proceso de los pescados en las plantas. El interés en el recobro y en la devolución de las marcas a la Comisión, conjuntamente con la información sobre el lugar y fecha de captura y el tamaño de cada pez recuperado, se mantiene mediante un continuo contacto personal con los pescadores y con los trabajadores de las plantas enlatadoras y por medio de un sistema de premios pecuniarios por los recobros.

En la Tabla 1 aparecen los números de peces marcados y liberados en cada crucero en barcos que operan desde puertos de California, con la indicación del nombre de cada embarcación. Exceptuando los Cruceros 2, 18 (en el que sólo se encontró atún aleta azul*) y 25, todas las marcaciones y liberaciones fueron hechas a bordo de barcos que empleaban el sistema de carnada viva. Los Cruceros 2, 18 y 25 se hicieron en barcos rederos. En todos los cruceros, excepto en los dos que se efectuaron en embarcaciones especialmente contratadas (los números 23 y 27), la marcación fué hecha por miembros de nuestro personal en el curso de viajes regulares de pesca comercial. Esto resulta ventajoso en cuanto a la amplia distribución en tiempo y espacio de los peces marcados, pero como los barcos operan comercialmente no nos permite escoger áreas determinadas para efectuar la marcación. Para efectuar los Cruceros 23 y 27 la Comisión contrató los barcos a fin de estar en condiciones de marcar y liberar grandes cantidades de peces. El primero de estos viajes fué hasta cierto punto experimental para determinar la posibilidad de este método considerando el costo que implica. Habiendo tenido éxito en este viaje, se contrató el Crucero 27 con el objeto de marcar y liberar un gran número de peces frente a Centroamérica, de donde era particularmente indispensable obtener información.

Desde el otoño de 1956 en el Perú y desde el otoño de 1958 en el Ecuador, hemos destacado científicos de nuestro personal para marcar peces durante todo el año a bordo de embarcaciones con base en puertos de estos países. Se han marcado peces en un gran número de viajes cortos,

*De los recobros de estos atunes aleta azul han informado Chatwin y Orange (1960).

no habiendo sido posible, en consecuencia, anotar cada viaje individualmente. En el Perú se han marcado algunos peces a bordo de barcos rederos, pero la mayoría fueron marcados en barcos de carnada. En el Ecuador toda la marcación se hizo a bordo de barcos de este último tipo.

TASAS DE RECOBROS

En la Tabla 2 aparece el número de peces marcados y liberados, el número de peces recobrados y el porcentaje de las tasas de recobros (hasta diciembre de 1959), por especies, para cada crucero de California y, respecto al total de la marcación, por años, para el Perú y el Ecuador, junto con los subtotales anuales correspondientes a los cruceros de California. (La asignación de un crucero a determinado año se ha hecho de conformidad con la fecha de salida del puerto en los casos en que el barco se encontraba navegando durante el fin de año, excepto el caso del Crucero 1). Según se demostrará a continuación, la gran mayoría de las marcas recobradas se logra dentro de un año después de la liberación de los peces. En consecuencia, todos los datos para la marcación hasta 1958 son comparables entre años, pero los datos correspondientes a 1959 están incompletos porque a fines de ese año (en el que termina la tabulación a que nos referimos) se esperaban todavía numerosos recobros de las liberaciones hechas durante ese mismo año, especialmente en los últimos meses.

Se observará que, con respecto a los años en que los datos sobre la marcación están esencialmente completos (hasta 1958), las tasas promedio de recobros anuales correspondientes a los cruceros de California y a la marcación en barcos del Perú son más consistentes de un año a otro, oscilando (en cuanto a las marcas de gaza solamente) entre 4.9 a 6.3 por ciento para los cruceros y entre 5.2 a 5.8 para el Perú; sin embargo, hay grandes variaciones de un crucero a otro. De modo similar, para el barrilete, la tasa promedio de recobro anual para los cruceros varía entre 1.3 a 2.7 por ciento y, para el Perú, entre 0.8 a 2.8 por ciento, pero hay amplias variaciones de un crucero a otro.

Se ha observado que los cruceros a ciertas áreas, tales como a las "locales" frente a Baja California, demuestran consistencia en producir altas tasas de recobros; mientras que los cruceros a otras áreas, tales como frente a la América Central, han dado bajas tasas de recobro en una forma igualmente consistente. Para proporcionar una base que permita el examen de las variaciones en las tasas de recobros en conexión con la estación y el área de marcación, y con el objeto de proveer una tabulación conveniente de los datos básicos para otros análisis, así como para ponerlos a disposición de otros investigadores en una forma conveniente, hemos preparado las Tablas 3 y 4 en las que las cantidades de peces marcados de cada especie se han tabulado por meses y por años para cada localidad en que fueron liberados; las localidades de liberación han sido designadas por rectángulos

de un grado. Estos rectángulos de un grado son los mismos empleados en nuestro sistema de tabulación de las estadísticas de pesca, descrito por Shimada y Schaefer (1956) y por Griffiths (1960). Las divisiones primarias de este sistema son los rectángulos de cinco grados, codificados por la latitud y la longitud de la esquina sureste. Los veinticinco rectángulos de un grado dentro de cada rectángulo de cinco grados han sido numerados de uno a veinticinco, sucesivamente, de este a oeste y de sur a norte. En la Figura 4 se muestra un gráfico de este cuadrículado. Las Tablas 3 y 4 indican también, dentro del paréntesis que sigue a la cantidad de peces marcados, el número de recobros hechos (no importa en donde) de cada grupo de peces marcados.

Con el objeto de examinar las tasas de recobros por áreas geográficas, en las Tablas 5 y 6 hemos agregado los datos de las Tablas 3 y 4, respectivamente, por años y por regiones de marcación. Para este propósito, el Pacífico Oriental ha sido dividido en once regiones, haciéndolas corresponder, lo mejor posible, a base de nuestra experiencia con las estadísticas de pesca, con las regiones naturales en las que se presentan las concentraciones de atún. Los límites de estas regiones se indican en las Figuras 5 a 12. Además de las tasas de recobros correspondientes a cada año de la marcación, hemos computado y tabulado también el promedio para todos los peces marcados y liberados hasta 1958. Los datos de 1959 han sido tabulados separadamente y no han sido incluidos en estos promedios porque, como se anotó anteriormente, los recobros de aquel año, a la fecha final de nuestras tabulaciones (31 de diciembre de 1959) no eran lo suficientemente completos como para que pudieran ser comparados con los de los años anteriores.

En la Tabla 5 se puede ver inmediatamente las notorias diferencias en las tasas de recobros de los atunes aleta amarilla marcados en diferentes regiones. A pesar de que hay una variación considerable de un año a otro, las tasas de recobros de los peces marcados frente a Baja California son consistentemente altas y son también casi tan altas para los peces marcados frente al norte del Perú. De los peces marcados en las Islas Revillagigedo se obtuvieron tasas de recobros algo más bajas, lo mismo que cerca del Golfo de California y frente a la costa sur de México. Para las Islas Galápagos y las regiones de Colombia y el Ecuador se ha observado similares tasas de recobros intermedias, pero los datos son tan pocos que no inspiran mucha confianza. Una tasa de recobros notoriamente baja, de solamente más o menos un quinquagésimo de la obtenida de todos los datos en conjunto, ha resultado de la marcación frente a la América Central entre los 5° y 15° N. de latitud.

Las tasas de recobros de atunes aleta amarilla en diferentes regiones están correlacionadas con las temperaturas medias de la superficie del mar. En el Atlas of Sea Surface Temperatures (U.S. Navy H.O. 225, 1948) o en las Cartas II y III de Sverdrup, Johnson y Fleming (1942) se puede ob-

servar que la región más cálida del Pacífico Oriental es la del ecuador meteorológico, centralizado alrededor de los 10° N. de latitud, en donde las temperaturas de la superficie del mar están sobre 80° F. durante todo el año, con excepción, en marzo, de una pequeña región cerca de la costa, exactamente al norte de los 10° N. de latitud, en donde las temperaturas medias están ligeramente debajo de aquella marca. Hacia el norte y sur de esta zona se encuentran temperaturas más frías y hay variaciones estacionales en la temperatura del mar. Estas variaciones son de mayor amplitud frente a Baja California y frente al Perú.

En la Tabla 7, las tasas de recobros de los atunes aleta amarilla han sido tabuladas por meses y trimestres para cuatro zonas de latitud. En la zona de los 15° N. a los 5° N., correspondiente a la parte más cálida del Pacífico Oriental, se han hecho solamente tres recobros de los 2,454 atunes aleta amarilla marcados en 1956-1958. Los datos de esta zona son inadecuados para examinar las diferencias estacionales en las tasas de recobros, aunque la recuperación de dos marcas de 618 atunes liberados durante el primer trimestre, comparada con la recuperación de una marca de 1,718 atunes liberados durante el segundo trimestre, podría esperarse que ocurriera por casualidad solamente una vez en diez pruebas. En la región de los 5° N. a los 2° S., los datos son también demasiado escasos para hacer comparaciones estacionales de las tasas de recobros. En la región al norte de los 15° N., la tasa de recobros durante el primer trimestre es comprensiblemente baja porque durante esta estación se pesca muy poco allí, excepto frente al sur de México. Los datos de la tabla sugieren que las tasas de recobros en agosto y septiembre, que son los meses más cálidos del año en esta región, pero que también corresponden al período de elevada intensidad de la pesca, son más bajas que en los meses adyacentes. Sin embargo, los datos de agosto contienen los resultados del crucero contratado en el "North American" (Crucero 23) en agosto de 1958 (ver Tabla 2), durante el cual se liberó un gran número de peces marcados en una región frente a Baja California en donde estaban operando pocos barcos de la flota comercial; ésto puede haber dado un considerable bias hacia abajo a la tasa de recobros debido a la ausencia de recobros a corto plazo. Eliminando estos datos, la tasa de recobros correspondiente a las marcas restantes liberadas durante agosto es de 9.7 por ciento, casi idéntica a la del mes de septiembre. Es de notar que, aún con esta corrección, la tasa de recobros correspondiente a agosto y septiembre parece ser más baja que la de los meses adyacentes (junio-julio y octubre-noviembre) para los cuales la tasa de recobros en total es de 14.8 por ciento. Una prueba de eventualidad (Ji-cuadrado) indica que esta diferencia podría esperarse que ocurra por casualidad menos de cinco veces en mil pruebas.

De modo similar, la tasa de recobros en la región al sur de los 2° S. durante el primer trimestre, y especialmente durante febrero y marzo que son los meses en que las temperaturas del mar son más calientes, es eviden-

temente muchísimo más baja que durante las otras estaciones. Al comparar la tasa de recobros durante el primer trimestre (3.5 por ciento) con la correspondiente a la de los otros tres trimestres juntos (7.4 por ciento), una prueba de eventualidad indica que ésto podría esperarse que ocurriera por casualidad en menos de cinco pruebas dentro de mil.

Estos resultados sugieren enfáticamente que la tasa de recobros está en relación inversa a la temperatura del mar en el momento de la marcación y surge la hipótesis de que ésto es así porque la mortalidad sufrida por los peces durante la captura, marcación y liberación, probablemente debida a la hiperactividad, experimenta un alza cuando las temperaturas son más altas (ver página 427).

En todo caso, viene a ser evidente que los atunes aleta amarilla sufren una mortalidad muy alta a causa de la marcación si se comparan las tasas de recobros de los peces marcados con las que podrían esperarse si no ocurriera mortalidad por la marcación, con base en el examen de las estadísticas vitales de las poblaciones de atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental. Este asunto puede ser abordado como sigue:

Dada una población inicial de N_0 peces en el mar, sujeta a una tasa instantánea de mortalidad natural de M y a una tasa instantánea de mortalidad por la pesca de F , la tasa de cambio de esta población puede ser expresada por

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = -F - M \dots\dots\dots(1)$$

Al integrar esta ecuación, vemos que el número de peces que sobreviven en el momento t , que se expresa por N_t , es

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

La tasa a que los peces son capturados, en cualquier tiempo, t , es

$$\frac{dY}{dt} = FN_0 e^{-(F+M)t} \dots\dots\dots(3)$$

El número total capturado, designado aquí por Y_t , de $t = 0$ a cualquier momento más tarde, se obtiene al integrar (3)

$$\begin{aligned} Y_t &= \int_0^t FN_0 e^{-(F+M)t} dt \\ &= \frac{FN_0}{F+M} (1 - e^{-(F+M)t}) \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

El número total capturado en todo el lapso, Y , es, entonces, el límite de Y_t como $t \rightarrow \infty$.

$$Y = \frac{F}{F+M} N_0 \dots\dots\dots(5)$$

(Para los atunes tropicales, la tasa total de mortalidad es tan alta que

el valor de Y es esencialmente el mismo que Y_2 , i.e. casi toda la pesca es hecha en dos años).

La fracción de N_0 que se captura es, por supuesto,

$$\frac{Y}{N_0} = \frac{F}{F+M} \dots\dots\dots (6)$$

Se ha obtenido una estimación de F mediante el análisis de los datos de las estadísticas de pesca por Schaefer (1957), siendo 0.95 el valor más probable (para el año como unidad de tiempo). Las estimaciones de $F+M$ se han obtenido por el análisis de la estructura de edades de la población junto con las estadísticas de pesca (Schaefer, 1960, y Hennemuth, 1961b). Estas indican que $F+M$ oscila alrededor de 1.90. Parece, entonces, que M y F (a los niveles recientes del esfuerzo de pesca) son aproximadamente iguales, o sea alrededor de 0.95 cada una. En consecuencia, tomando (6), estimamos que de un grupo de peces no marcados que entra a la pesca alrededor de la mitad sería capturado.

Ahora, permítasenos considerar qué pasa con los peces marcados. Un grupo de peces marcados, inicialmente T_0 en número, puede sufrir una rápida mortalidad inicial a causa de la captura y manipuleo durante la marcación, de modo que solamente KT_0 de ellos sobrevive. Además de las tasas de mortalidad por la pesca y por causas naturales a lo que están sujetos subsecuentemente, en común con los individuos no marcados, puede haber una disminución adicional por el desprendimiento de marcas o por la mortalidad resultante de llevar una marca. La tasa de disminución debida a estos factores adicionales podemos designarla por Q . El número de peces marcados sobrevivientes en la población en la que se ha operado la pesca en el momento t , designado por T_t , es, entonces (correspondiendo a la ecuación (2) anterior)

$$T_t = KT_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots\dots\dots (7)$$

y el número total de peces marcados capturados será (correspondiendo a la ecuación (5) anterior)

$$\frac{F}{F+M+Q} KT_0 \dots\dots\dots (8)$$

Del número de peces capturados, algunos no son vistos o, en el caso de serlo, no nos son devueltos, de modo que solamente una parte de los capturados, c , se "recobra". El número de recobros es, entonces,

$$\frac{F}{F+M+Q} cKT_0 \dots\dots\dots (9)$$

y la fracción del número de peces marcados y devueltos al agua que es recuperada, que representamos con una r , es

$$r = \frac{F}{F+M+Q} cK \dots\dots\dots (10)$$

Como se dijo anteriormente, la tasa promedio de merma en los atunes aleta amarilla no marcados, estimada por los datos sobre la composición de edades y estadísticas de pesca, es alrededor de 85 por ciento por año y corresponde a un valor de $F+M$ de 1.90. En una sección posterior de este trabajo se podrá observar que la disminución de los atunes aleta amarilla marcados es probablemente entre 85 y 95 por ciento por año, y corresponde a $F+M+Q = 1.90$ a 2.99. De este modo, $F/F+M+Q$ se estima que es alrededor de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$, y podemos tomar que cK sea de alrededor de

$$cK = 2r \text{ a } 3r$$

Entonces, para una tasa de recobros de 5.3 por ciento (el promedio para todos los atunes aleta amarilla recobrados de la marcación hasta 1958) cK sería igual a 10.6 a 15.9 por ciento, correspondiendo a una pérdida promedio y a un no recobro de peces marcados capturados de 89.4 a 84.1 por ciento. Con respecto a las marcas en peces liberados al norte de los 15° N., suponiendo que el mismo valor de $F/F+M+Q$ sea para esta parte de la pesquería, para la que se ha obtenido una tasa promedio de recobro de 7.3 por ciento, cK sería igual a 14.6 a 21.9 por ciento, correspondiendo de 85.4 a 78.1 por ciento a una pérdida por mortalidad a causa de la marcación y no recobro de peces marcados capturados.

Es difícil estimar c . Broadhead (1959a) estimó que la mitad de los peces marcados capturados no son recobrados. Recientes experimentos (datos de la CIAT no publicados) indican que, con los adelantos en las marcas y en los métodos para el recobro, podemos estar perdiendo un porcentaje tan bajo como es el diez por ciento de los peces marcados capturados. Si c es igual a 0.5, la estimada mortalidad por la marcación correspondiente a una tasa de recobros de 5.3 por ciento sería de 78.8 a 68.2 por ciento, y a una tasa de recobros de 7.3 por ciento, la estimada mortalidad por la marcación sería de 70.8 a 56.2 por ciento. Con c igual a 0.9, estas tasas estimadas de mortalidad por la marcación serían de 88.2 a 82.4 por ciento y de 83.8 a 75.7 por ciento, respectivamente.

Las tasas de mortalidad por la marcación más bien altas, inferidas arriba, no son improbables. Parker y Black (1959) han demostrado experimentalmente que una tasa de mortalidad estimada de 71 por ciento (límites de confianza de 40 a 86 por ciento) ocurre dentro de varias horas; ha sido registrada para el salmón "chinook" (*O. tshawytscha*) pescado en el mar por el sistema de arrastre ("troll") con líneas y anzuelos. Parker, Black y Larkin (1959), mediante experimentos similares con el salmón "coho" (*O. kisutch*) capturado por este sistema de pesca estimaron la mortalidad al 44 por ciento (límites de confianza de 34 a 52 por ciento). La muerte estuvo asociada con altos niveles de ácido láctico en la sangre y se atribuyó a los efectos de la respiración anaeróbica a consecuencia de la hiperactividad de los peces durante la captura y el manipuleo. Estos autores citan otros ejemplos numerosos de mortalidad debida a la hiperactividad de los peces.

Es valioso anotar que los niveles muy altos de ácido láctico y la muerte de los peces no siempre se producen inmediatamente después de la captura, sino a menudo después de un lapso de algunas horas.

Black (1957) había sometido anteriormente salmones "sockeye" (*O. nerka*) de dos años de edad nacidos en un criadero, pero mantenidos en agua de mar durante año y medio, a ejercicio forzado. Quince minutos de ejercicio severo aumentaba considerablemente el ácido láctico de la sangre de los peces y resultó en la muerte de cinco de los 19 especímenes entre la primera y la segunda hora *después* de la terminación del ejercicio.

Esta mortalidad debida a la hiperactividad es atribuída a la incapacidad de los peces para recobrase de los efectos de la producción de energía anaeróbica durante un ejercicio severo. Como lo anotan Parker, Black y Larkin, casi todos los peces tienen una escasez crónica de oxígeno debido a la baja solubilidad de éste en el agua, especialmente en el agua de mar. Estos autores anotan también que la tasa activa de la toma de oxígeno está limitada a unos pocos múltiplos de la tasa estándar, y que la energía en exceso de la tasa activa debe ser derivada anaeróticamente, sobre todo por glicosis, con producción de ácido láctico y de otros efectos fisiológicos.

Se cree que los efectos producidos por la hiperactividad en los atunes pueden ser mucho más severos que en los salmones. Los atunes tienen un sistema vascular complejo y desarrollado en extremo (Kishinouye, 1923) que hace llegar gran cantidad de sangre a los músculos, lo que tal vez es una evidencia de que normalmente generan energía a una tasa muy cercana a la que puede ser soportada por la respiración aeróbica. Las aguas en que los atunes tropicales viven en el Pacífico Oriental son bajas en oxígeno a causa de sus altas temperaturas; los valores en la superficie son casi siempre de menos de 6 ml/L (Wooster y Cromwell, 1958; Holmes *et al.*, 1958). Las aguas de la región frente a la América Central, que es el área más cálida, tienen, por supuesto, el más bajo contenido de oxígeno. Es razonable sentar la hipótesis de que la relación entre la baja tasa de recobros de marcas y el alta temperatura del agua a que nos referimos anteriormente es debida al contenido más bajo de oxígeno en el agua más cálida y al consecuente aumento de la dificultad en los atunes para recobrase de los efectos de la hiperactividad.

También es pertinente anotar que los salmones estudiados por Parker y Black (1959) y por Parker, Black y Larkin (1959) no se comportaron normalmente durante el período de recobro siguiente al ejercicio. Al ser instalados en un vivero para la recuperación, generalmente estaban activos y vivaces, pero después de un corto tiempo manifestaban síntomas de desequilibrio. Los peces en el océano que se encuentran en estas condiciones son fácil presa para cualquier predador que se halle en la vecindad. En consecuencia, para los peces marcados que se devuelven inmediatamente al mar la mortalidad debida a la imposibilidad de recobrase de los efectos

fisiológicos de la hiperactividad se aumentaría por predación en su estado de debilidad. En cerca de una docena de casos, las personas encargadas de la marcación han anotado haber visto atunes marcados en un estado de desequilibrio, siendo capturados por los tiburones inmediatamente después de ser devueltos al mar.

En la Tabla 6, los datos sobre la marcación y recobro de barriletes han sido tabulados para las mismas once áreas de marcación usadas para el atún aleta amarilla en la Tabla 5. Aunque las diferencias entre áreas no son tan grandes como las del atún aleta amarilla, los patrones son similares. Puede verse que las tasas promedio de recobros son más altas en las áreas al norte de los 20° N. y al sur de los 5° N. que en las áreas intermedias más tropicales. (La baja tasa correspondiente a las marcas de los peces liberados cerca de la frontera Perú-Chile en 1957 se puede atribuir probablemente al bajo nivel del esfuerzo de pesca en esa región que está al borde del extremo sur de la pesquería y es visitada sólo esporádicamente por la flota). Estos datos sugieren que, también para esta especie, la tasa de recobros es más baja en los peces marcados en la parte más cálida del mar, a pesar de que la evidencia no es tan notoria como en el caso del atún aleta amarilla.

Estos datos sobre el barrilete han sido también tabulados otra vez en la Tabla 8 por meses y para las cuatro amplias zonas de latitud de la localidad de la marcación. La tasa más baja de los recobros en conjunto corresponde a los peces marcados en la zona más cálida, entre los 15° N. y los 5° N.; no aparecen diferencias estacionales. No tenemos explicación para la tasa de recobros aparentemente baja en la zona de los 5° N. a los 2° S. durante el período julio-agosto. Al sur de los 2° S. se obtuvieron las tasas más altas de recobros durante el tercer trimestre, el más frío. Esto está de acuerdo con lo que era de esperarse si la mortalidad por la marcación aumenta a temperaturas más altas. Al norte de los 15° N., las tasas de recobros son las más bajas durante el trimestre más caluroso del año. Sin embargo hay una posibilidad, como se dijo anteriormente, de que los datos correspondientes a agosto tengan un bias por los resultados del gran número de marcas liberadas en un área de posible bajo esfuerzo de pesca durante el crucero contratado en el "North American" en agosto de 1958. Eliminando estos datos, la tasa de recobros del resto de las marcas liberadas en esta área durante el tercer trimestre llega a 3.8 por ciento, que es similar a las tasas de recobros para los meses adyacentes. Puede llegarse a la conclusión de que estos datos proporcionan muy poco o ningún respaldo a la tesis de que los recobros de barriletes disminuyen cuando los peces son marcados en aguas de más altas temperaturas.

Por el momento no es posible llegar a estimaciones de la mortalidad por la marcación para el barrilete, porque no tenemos ninguna estimación de F para esta especie para poder usar las fórmulas (1) y siguientes citadas anteriormente. Por supuesto, tenemos razón para creer que F es muchísimo más baja para el barrilete que para el atún aleta amarilla, ya que no ha

habido un cambio perceptible en la abundancia aparente de esta especie al aumentar el esfuerzo de pesca y de la producción (Shimada y Schaefer, 1956; Schaefer, 1960).

Además, si los peces sobre los que opera la pesquería y entre los cuales son liberados los peces marcados constituyen solamente una sección de la población y si existen otras secciones no explotadas por la pesca con las cuales se opera un intercambio, puede haber también una aparente disminución de los recursos debida a la migración de peces marcados fuera del sector en que se ha practicado la pesca. Sin embargo, cuando esta migración tiene la naturaleza de un movimiento aleatorio, el coeficiente de la tasa de disminución de los recobros de marcas debido a este factor no será constante pero sí una función del tiempo. Este parece ser el caso del barrilete, como se demostrará posteriormente (página 448).

Efectos de la temperatura, tamaño de los peces y manipuleo en la tasa de recobros

Las comparaciones a que nos hemos referido anteriormente de las tasas de recobros entre áreas y estaciones sugieren, como lo hemos anotado ya, que la mortalidad por la marcación aumenta con la temperatura, especialmente para el atún aleta amarilla, resultando en tasas de recobros más bajas de los grupos de peces marcados a temperaturas más altas. Afortunadamente la temperatura del mar en el momento de la marcación se registro en casi todos los casos, lo que facilita que ésto sea examinado más directamente.

Al mismo tiempo, hemos observado que parece haber una tendencia de las tasas de recobros más bajas a estar asociadas con los peces marcados más pequeños. Solamente disponemos de datos sobre esta observación desde noviembre de 1957 cuando comenzamos, como dijimos anteriormente, a estimar en casi todos los casos la longitud de los peces hasta los 5 cm. más próximos con la ayuda de una escala marcada en la "cuna" en donde se coloca al pez para ser marcado.

Los datos para examinar, dentro de las regiones, el grado de asociación de la tasa de recobros con la temperatura del mar y el tamaño en el momento de la marcación, y si hubo medición o no, son suficientemente abundantes con respecto a sólo dos regiones de marcación, 1) la región frente al lado occidental de Baja California y 2) la región frente a la costa de Sudamérica entre los 2° S. y los 10° S. (sin incluir las Islas Galápagos). La última comprende dos de las regiones empleadas en las Tablas 5 y 6 y es aparentemente homogénea con respecto a sus stocks de atunes. Los datos empleados en esta fase del estudio corresponden a los peces marcados hasta 1958 y a los recobros de esto peces hasta 1959.

En las Tablas 9 y 10 hemos tabulado, para la región frente a Baja California y la región designada frente a la América del Sur, respectiva-

mente, el número de atunes aleta amarilla marcados y liberados y el número de recobros, de acuerdo con la temperatura del mar al ser marcados y con la indicación de si los peces fueron o no medidos. En el último caso, la liberación y los recobros son tabulados también por intervalos de 10 cm. de longitud, según las medidas en el momento de la marcación. Los porcentajes de las tasas de recobros fueron computados y también tabulados. Los datos de la misma clase para estas dos mismas regiones con respecto a barriletes marcados han sido tabulados en las Tablas 11 y 12.

Con el fin de examinar la significación de las variaciones observadas en las tasas de recobros, por el método de análisis de variancia, es necesario transformar el porcentaje de los recobros por

$$Y = \arcsen \sqrt{X}$$

en donde X es la fracción recobrada e Y es la variante transformada sobre la cual se hace el análisis de variancia. El procedimiento ha sido descrito por Snedecor (5a. Edición, 1956, páginas 316, 338, 382, *et al.*)

Debe anotarse que las liberaciones de marcas y, en consecuencia, las oportunidades para la recaptura, no fueron consideradas al azar con respecto a ninguna de las variables. Casi todos los peces "no medidos" fueron marcados antes de noviembre de 1957, en tanto que casi todos los peces medidos fueron marcados después de esa fecha. Las temperaturas del mar, desde luego, varían estacionalmente y, lo mismo, hasta cierto punto, varían los tamaños de los peces; mientras que, al mismo tiempo, hay una variación estacional en el esfuerzo de pesca en cada región. En consecuencia, los datos necesitan ser examinados con algún cuidado.

En análisis de variancia de los efectos de la temperatura y de los efectos de la medición indica, en cuanto al atún aleta amarilla en ambas áreas, un efecto de temperatura altamente significativo*, pero el efecto de la medición solamente es significativo en el área del norte. En lo que respecta al barrilete, tanto el efecto de la temperatura como el de la medición son altamente significativos en ambas áreas. ¡Nótese, sin embargo, que las tasas de recobros fueron *más altas* para los peces medidos frente a Baja California! La interacción es significativa solamente para el barrilete frente a Baja California, lo que probablemente surge del diseño experimental más que de cualquier diferencia real entre los efectos de la medición a diferentes temperaturas.

El análisis de variancia empleando los peces que fueron medidos, para los efectos de temperatura y tamaño, indica, para el atún aleta amarilla, que en el área del norte tanto los efectos de temperatura como de tamaño son altamente significativos, mientras que en el área del sur solamente lo es el efecto de temperatura. La interacción es significativa sólo en el área del sur.

*En estas tablas se indica convencionalmente con un solo asterisco la significación a un nivel de 5% de probabilidad y con doble asterisco la significación a un nivel de 1% de probabilidad.

Con respecto al barrilete, el análisis de los recobros de los peces que fueron medidos revela un efecto de temperatura altamente significativo frente a Baja California, pero éste no es demostrable en aguas frente a la América del Sur. El efecto de tamaño sólo es significativo frente a Baja California. La existencia de interacción altamente significativa entre temperatura y tamaño frente a Sudamérica, aunque ninguno de los efectos se hace presente por sí solo, es algo sorprendente. Significaría que ciertos tamaños y temperaturas juntos afectarían la tasa de recobros, aunque ninguno es efectivo por sí solo. Esto surge porque en la Tabla 12, las altas tasas de recobros están asociadas con las temperaturas tanto bajas como altas con respecto a los peces grandes, y con las temperaturas intermedias cuando se trata de peces pequeños. Nosotros no creemos que éste sea cierto; pero indudablemente surge al no considerar los datos al azar.

Los efectos de la temperatura en la tasa de recobros son reales sin duda alguna y parecen ser probablemente más importantes para el atún aleta amarilla. Tanto para los atunes aleta amarilla medidos como para los no medidos y, en el caso de los primeros, para peces de diferentes categorías de tamaños, en ambas áreas se registra una notable gradiente de aumento en la tasa de recobros con un descenso en la temperatura. Lo mismo ocurre con el barrilete frente a Baja California. Sin embargo, frente a Sudamérica, la gradiente del cambio de la tasa de recobros según la temperatura en el momento de la marcación es menos pronunciada para los peces "no medidos" y no es demostrable para los peces medidos. Los efectos adversos de las altas temperaturas en las tasas de recobros (que creemos sean debidos al aumento de la mortalidad por la marcación a temperaturas más altas, como se dijo anteriormente) han sido probablemente subestimados en estos informes. Frente a Baja California y también frente a la América del Sur, aunque tal vez en un grado menor, la intensidad de la pesca varía por estaciones, registrándose la intensidad más alta durante los meses de calor. Como una gran parte de nuestros recobros han sido a "corto plazo", dentro de unas pocas semanas posteriores a la marcación, consecuentemente se podría esperar, *ceteris paribus*, la obtención de tasas de recobros *más altas* a elevadas temperaturas, en vez de lo contrario que es lo que hemos observado.

Las razones para la disminución de las tasas de recobros con la menor longitud de los peces en el momento de ser marcados no son quizás tan simples. La Tabla 9, que corresponde al atún aleta amarilla de Baja California, parece indicar que, en promedio, hay un pronunciado aumento en la tasa de recobros de peces con un tamaño de hasta unos 60 cm., y que después puede aumentar pero sólo ligeramente. Frente a la América del Sur, Tabla 10, la tasa de recobros para la clase de tamaño más pequeña de menos de 50 cm. parece ser más baja, pero con respecto a todos los tamaños más grandes se mantiene más o menos lo mismo, y el análisis de variancia no indica ni aún que la diferencia para la clase de tamaño más pequeña sea significativa. Uno está tentado a atribuir las diferencias observadas a la

selectividad de tamaños de la pesquería, lo que es probablemente un elemento de importancia. Casi todos los peces obtenidos frente a Baja California son desembarcados en puertos de California, lo que obliga a un peso mínimo legal de 7.5 lbs. (cerca de 55 cm.) para el atún aleta amarilla. Una gran parte del atún aleta amarilla capturado frente a la América del Sur es desembarcada en donde no hay obligación de este límite legal de tamaño. Los datos, entonces, tienen consistencia con la hipótesis de que la baja tasa de recobros de peces pequeños es el resultado de que los pescadores evitan pescarlos. Sin embargo, no nos satisface que ésta sea toda la explicación y, en realidad, puede haber una mortalidad más alta entre los peces muy pequeños como consecuencia de la marcación. Si se aplican las curvas de crecimiento de Hennemuth (1961a), que comprenden algo de extrapolación, parecería que se necesitan de 2 a 3 meses para que un atún aleta amarilla aumente de 45 cm. a 55 cm. Si la tasa de mortalidad natural que hemos estimado para los peces de tamaños comerciales (61% por año) se aplica también a los tamaños antes indicados, la pérdida por muerte natural durante este período sería de 15% a 22%. Entonces tendríamos que esperar, *ceteris paribus*, que la tasa de recobros de estos peces pequeños sea 80% de la que corresponde a los peces más grandes de frente a Baja California. En vez de éso, es mucho más baja. Esto, desde luego, requiere una mayor investigación.

Tenemos alguna duda acerca de la realidad de los efectos de la "medición". Este efecto no es evidente frente al Perú para el atún aleta amarilla a pesar de que los barriletes no medidos parece que han producido una tasa más alta de recobros que los que fueron medidos. Frente a Baja California, la medición de los atunes aleta amarilla parece estar asociada con la disminución de las tasas de recobros, especialmente a temperaturas más altas en el momento de la marcación. Sin embargo, los datos correspondientes al barrilete en esta región muestran una tasa de recobros significativamente más alta para los peces que habían sido medidos.

En realidad, puede esperarse que el tiempo extra que se toma para una medición cuidadosa de la longitud de los peces al ser marcados ocasione mortalidad por la marcación. Por ésto es que nosotros no seguimos la práctica del California State Fisheries Laboratory (Blunt y Messersmith, 1960), de tomar medidas de la longitud total, y después de noviembre de 1957 nos hemos contentado con estimar simplemente la longitud hasta los cinco centímetros más próximos. Ahora bien, surge, la duda sobre si esta estimación agrega o no suficiente demora a la operación de marcar los peces para ocasionar mayor mortalidad. Este asunto requerirá experimentos que puedan dar una contestación satisfactoria.

Tasas de recobros de marcas como base para estimar los efectos de la pesca en los stocks

En los análisis a que nos hemos referido anteriormente se ha demostrado que hay una buena razón para creer que, a pesar de los métodos

cuidadosos que se han empleado en la marcación de los atunes tropicales, se produce una mortalidad substancial como consecuencia de esta operación y que esta mortalidad varía con la temperatura del mar y quizás también con el tamaño de los peces. La mortalidad por la marcación está probablemente afectada en forma substancial por muy pequeñas diferencias en la técnica que se emplea para marcar los peces, como se evidencia, por ejemplo, por la disimilitud entre los informes sobre las tasas de recobros de Blunt y Messersmith (1960) y los que hemos presentado en este estudio, aun para las mismas áreas. En consecuencia, no se pueden emplear simplemente las tasas brutas de recobros para hacer cualquier aserción con respecto a la tasa de producción de los stocks. Como lo hemos indicado anteriormente, con respecto a la estimación de posibles tasas de mortalidad por la marcación, y según trataremos el asunto más adelante en otros contextos, los datos sobre recobro de marcas colocadas en atunes aleta amarilla no son inconsistentes con las tasas de mortalidad por la pesca y la mortalidad total que han sido estimadas por otros medios, si consideramos todos los procesos comprendidos. Sin embargo, no creemos que sea posible por el momento sacar estimaciones útiles de las tasas de mortalidad por la pesca sobre la base de los datos del retorno de marcas.

Blunt y Messersmith (1960) escribieron: "La mortalidad por la marcación y la no observación de las marcas durante el manipuleo normal y proceso de los atunes ha afectado materialmente, sin duda alguna, las tasas de recobros. Aún así, los recobros de atunes aleta amarilla marcados de 1954 a 1959 *indican una tasa de producción* que en la mayoría de las áreas no se esperaría que tuviera un efecto apreciable en la población". (Las letras en bastardilla son nuestras).

Consideramos que la segunda frase, basada en mucho menos datos que los de este trabajo, y sin intentar un análisis serio con respecto a la estimación de la "tasa de producción", es insostenible y no tiene justificación.

MOVIMIENTOS INDICADOS POR EL RECOBRO DE ATUNES MARCADOS

Uno de los resultados más sorprendentes e importantes de la marcación de atunes aleta amarilla y barriletes en la región de la pesquería frente a la costa de las Américas es la indicación de que estos peces emigran mucho menos de lo que podía haberse esperado. La evidencia según los recobros de marcas es la de que no emigran, por lo menos en gran número, a otras regiones del Océano Pacífico y la de que, aún dentro de la región del Pacífico Oriental, los peces no se mezclan rápidamente.

Hasta diciembre de 1959 hemos recuperado 747 atunes aleta amarilla y 937 barriletes marcados. Además, Blunt y Messersmith (1960) han infor-

mado sobre el recobro de 263 atunes aleta amarilla y 237 barriletes marcados en el Pacífico Oriental. *Todos* éstos han sido recobrados en la región de la pesquería frente a las Américas; *ninguno* ha sido devuelto de regiones situadas hacia el oeste. En contraste, albacoras (*T. germo*) marcadas frente a California, con números totales de recobros mucho menores, han dado recobros en el Pacífico Central cerca de las Islas Hawaianas y en el Pacífico Occidental frente al Japón. En verdad, recobros de tan lejos como éstos constituyen una parte substancial del total de los recobros de albacoras en los años siguientes al año de la marcación (Clemens, 1959).

Es de notarse que una gran parte de nuestros recobros de atunes aleta amarilla y barriletes ha sido hecha dentro de unos pocos meses posteriores a la marcación; pero un considerable número ha sido recobrado después de un año o más de la liberación (Tablas 13 y 14). Si una parte substancial de los peces marcados en el Pacífico Oriental se moviese hacia otras partes del océano en donde se efectúa mucha pesca, esperaríamos obtener por lo menos unos pocos recobros en tales regiones.

En el caso del atún aleta amarilla, la evidencia de que no existe un movimiento migratorio de significación hacia las regiones lejanas del oeste es bastante convincente. Hay una pesquería substancial en todo el Pacífico Central Ecuatorial que efectúan barcos japoneses con palangre, que regularmente se extiende hacia el este hasta los 110° o 120° W. de longitud y sería de esperar que esta pesquería capturara algunos de nuestros peces marcados, si éstos se dirigieran hacia el oeste y penetraran en esa región. Por supuesto, existe la posibilidad de que sólo unos pocos de los pequeños atunes aleta amarilla marcados por nosotros hayan sobrevivido para alcanzar los grandes tamaños de la pesca con palangre, o que esos peces marcados hayan sido capturados con tal sistema de pesca, pero que las marcas no nos han sido devueltas. Sin embargo, la evidencia negativa según el retorno de marcas confirma la conclusión sobre la independencia de los stocks de atunes aleta amarilla en el Pacífico Oriental y Central a que llegaron Schaefer (1952, 1955), Royce (1953) y Broadhead (1959b) basados en las diferencias morfológicas.

La evidencia en cuanto a que no existen movimientos migratorios del barrilete hacia regiones distantes del oeste del Pacífico es menos definitiva y, en nuestra opinión, es bien posible que la población de barriletes que mantiene la pesquería adyacente a la costa americana sea sólo una parte de la población que se extiende lejos hacia el oeste. No hay una pesquería substancial de barrilete en ninguna parte del Pacífico Central, excepto una pesquería más bien pequeña cerca de las Islas Hawaianas, de modo que los barriletes marcados que pudieran emigrar hacia el oeste tendrían poca o ninguna oportunidad de ser capturados. Los estudios morfológicos tampoco han dado indicación alguna en cuanto a diferencias entre los barriletes del Pacífico Este y los del Pacífico Central (Hennemuth, 1959). La ex-

tensión hacia el oeste del radio de acción de la población de barriletes que mantiene nuestra pesquería permanece, pues, una incógnita.

Aún dentro del radio de acción de la pesquería en el Pacífico Este, los movimientos migratorios de estos atunes tropicales son mucho menos extensos de lo que se podría creer *a priori*. Las relaciones de distancia, entre la localidad de la marcación y la localidad de recobro con el tiempo en que el pez ha estado en libertad, para las dos especies, pueden verse en las Tablas 13 y 14. En estas tablas se muestra la distancia neta del movimiento y el tiempo en libertad, para varias regiones de la marcación, y para todos los especímenes recobrados hasta octubre de 1959, que es hasta donde dispusimos de información. Más adelante trataremos con mayor extensión algunas características de estos datos. Por el momento deseamos referirnos solamente a la parte substancial de los recobros que han sido hechos dentro de un radio de cincuenta o cien millas desde el punto de marcación, aún después de muchos meses en libertad. Es obvio que estos atunes, por lo menos a los tamaños que hemos marcado, no se mueven rápidamente en toda la región de la pesquería de California al Perú.

Migraciones dentro del Pacífico Oriental

Las Figuras 5 a 12 han sido preparadas para ilustrar los recobros de marcas hechos en la región general de la marcación y los movimientos interregionales hasta 1959 y para proporcionar una base de estudio de los patrones estacionales de la migración entre regiones. En las cartas se indica, para cada especie y para cada región de marcación, por trimestres: (a) el número total de peces marcados capturados dentro de la región durante el trimestre (número superior), (b) el número de recobros de peces que fueron liberados originalmente *fuera* de la región, (número inferior), (c) las flechas indican la región o regiones desde donde emigraron los peces, y (d) una lista de cada grupo de peces que ha emigrado entre regiones, con el número de días en libertad y mes y año de la marcación.

Atún aleta amarilla

Al examinar los gráficos correspondientes al atún aleta amarilla y dirigiendo primero nuestra atención a las regiones del norte, al norte del Golfo de Tehuantepec, observamos que en la primavera (de abril a junio), una parte considerable de los peces marcados capturados en las vecindades de la boca del Golfo de California proviene de otras áreas; algunos de éstos se han movido desde el sur entre los dos y los siete meses precedentes y varios habían sido liberados frente a Baja California a fines del verano y en el otoño. En julio-septiembre, cuando la pesquería se concentra frente a Baja California, se recapturó en esa zona un pez que había sido marcado cerca de las Islas Tres Marías el invierno anterior. En octubre-diciembre se hizo otro recobro frente a Baja California de un pez que había sido marcado en la primavera frente a la costa mexicana y otro pez mostró un rápido movimiento de los bancos de Baja California hasta cerca del Cabo San

Lucas. También hay indicación de un movimiento hacia el sur, según dos recobros interregionales en enero-marzo frente a la costa sur de México. Estos datos y los informes sobre movimientos migratorios dentro de la región de Baja California (ver también Blunt y Messersmith, 1960) parecen indicar que hay una tendencia general de migraciones hacia el norte, de la costa mexicana a la boca del Golfo de California y subsecuentemente a los bancos frente a Baja California durante la primavera y el verano, y de movimientos migratorios al sur a fines del otoño y en el invierno por un componente de la población que se extiende hacia el sur por lo menos hasta el Golfo de Tehuantepec.

Hemos logrado un solo recobro de un atún aleta amarilla en las Islas Revillagigedo de los peces marcados que se devolvieron al agua frente a la costa sur de México. Blunt y Messersmith (1960), sin embargo, mencionan dos de estos recobros y, además, muestran que tres peces marcados en las Revillagigedo fueron recuperados frente a Baja California*. Parece, entonces, que los atunes aleta amarilla de estas islas apartadas de la costa son, por lo menos en parte, coextensivos con los stocks de las aguas frente al continente.

Estos datos sobre las migraciones de los atunes aleta amarilla entre las diversas regiones del norte del Golfo de Tehuantepec tienen concordancia con los resultados de los análisis de la frecuencia de tamaños de que ha informado Hennemuth (1961a), lo que indica que estas regiones están habitadas, por lo menos en gran parte, por un stock común de atunes aleta amarilla.

No se han registrado movimientos interregionales desde y hacia las regiones entre los 15° N. y 5° N. durante los dos primeros trimestres del año. Sin embargo, podrá notarse que *cualquier* recobro en estas regiones ha sido escaso y, como lo hemos demostrado anteriormente, los peces liberados en ellas están sujetos a una mortalidad muy alta por la marcación. En abril de 1959, no obstante, 6,331 atunes aleta amarilla fueron marcados y liberados frente a Panamá y Costa Rica en el crucero que se realizó a bordo del barco "Mary Jo", contratado especialmente (Crucero No. 27) y durante el período incluido en este estudio se han registrado varias migraciones de larga distancia de peces marcados y liberados en ese crucero. En la Figura 7 puede verse que uno de estos peces fué recuperado unos cuatro meses más tarde frente al Ecuador. En el período octubre-diciembre (Figura 8) otros tres fueron recuperados frente a Colombia y al Ecuador, y dos exactamente al norte del Golfo de Tehuantepec. Estos últimos recobros, y también las migraciones de atunes aleta amarilla de las aguas frente a Guatemala hasta muy al norte del Golfo de Tehuantepec, de que informan Blunt y Messersmith (1960), indican que hay algún movimiento de peces de las regiones de frente a la América Central hasta por lo menos dentro de la parte del área

*Posteriormente marcamos 909 atunes aleta amarilla y 2,364 barriletes cerca de las Islas Revillagigedo, en abril de 1960, y hasta el 29 de noviembre de 1960 se han recobrado cerca de Baja California 38 de los primeros y 38 de los segundos.

habitada por las poblaciones de frente al sur de México. Al mismo tiempo, las migraciones hacia el sur, desde frente a Panamá hasta tan lejos como las vecindades del Golfo de Guayaquil, de que se habló anteriormente, indican que los stocks de frente a Sudamérica reciben cuando menos algunos reclutas de frente a la América Central.

Las migraciones interregionales de los atunes aleta amarilla entre las diferentes regiones de marcación frente a Sudamérica indican que hay una mezcla considerable. Es evidente un patrón estacional de movimientos entre la región cerca del Golfo de Guayaquil y más al sur frente al Perú; los atunes tienden a ir hacia el sur durante los meses más calurosos y hacia el norte durante los meses más fríos. Esto es bastante análogo con las migraciones al norte y al sur de los atunes aleta amarilla de frente a Baja California y sur de México, pues los peces de frente a Sudamérica van hacia el polo sur cuando el agua se calienta y regresan al ecuador cuando el agua se enfría ahí.

Que los stocks de atunes aleta amarilla cerca de la costa de Sudamérica y los de las Galápagos no están por lo menos enteramente separados está demostrado por el recobro de un pez (Figura 6) que se había movido de las islas hacia la costa. Blunt y Messersmith (1960) también muestran un solo recobro de esta clase.

Barrilete

Hasta 1959 no hemos observado, esencialmente, movimientos interregionales de los barriletes entre las regiones al norte del Golfo de Tehuantepec. Dentro de la región frente a Baja California se han registrado algunas migraciones de la parte sur de la región hasta tan al norte como los 30° N., especialmente durante los meses de verano (ver también Blunt y Messersmith, 1960). Hasta 1959 nosotros no hemos registrado ningún movimiento entre las Islas Revillagigedo y la costa, pero posteriormente, por peces marcados y liberados a principios de 1960, se han observado* varios movimientos. Debe anotarse que los barriletes son relativamente escasos en las pescas comerciales de atún frente a la costa sur de México (Shimada, 1958).

En el extremo sur del radio de alcance de la pesquería, es evidente que hay considerable canje de barriletes entre las regiones de frente a Colombia, el Ecuador y el Perú y algún influjo de peces de la región de frente a la América Central a estas regiones. El patrón de recobros indica predominantemente un movimiento hacia el sur al área de "las 14 brazas" (cerca de los 9°S.) durante los meses del verano del sur, y un movimiento hacia el norte, desde esta región, durante el invierno del sur. Nótese, sin embargo, que dos recobros de frente al norte de Chile en octubre-diciembre fueron de peces que se habían liberado en el área de "las 14 brazas" en octubre y en

*Ver nota al pie de la página 436.

agosto. El considerable número de canjes entre el área de frente al Golfo de Guayaquil y la región adyacente del norte muestra un patrón estacional menos claro, pero alguna evidencia de que predominan las migraciones al sur durante la primavera y el verano del sur.

Durante el Crucero 27 en el barco contratado "Mary Jo", en abril de 1959, se liberaron frente a la América Central 5,992 barriletes marcados; algunos de éstos fueron recapturados en las regiones hacia el sur durante el resto del año, como puede verse por las Figuras 10 a 12, indicando de esta manera que barriletes de los stocks de frente a la América Central contribuyen substancialmente a los stocks de Sudamérica. Vale anotar que *ninguno* de estos barriletes marcados frente a la América Central, hasta diciembre de 1959, había sido recobrado en las regiones del norte, lo que está en contraste con los atunes aleta amarilla (Figura 8) marcados al mismo tiempo.

Solamente un barrilete se encontró que había emigrado de las Islas Galápagos a la costa (Figura 9); sin embargo, liberaciones de ambas especies en las Galápagos han sido relativamente pocas. Se requieren mayores datos antes de llegar a conclusiones acerca de las interrelaciones de los stocks cerca de las Galápagos y a lo largo de la costa.

RELACIONES DE TIEMPO Y DISTANCIA

Con el propósito de examinar más detalladamente la naturaleza de la dispersión de los peces marcados desde la localidad de la marcación, hemos preparado las Tablas 13 y 14 que corresponden al atún aleta amarilla y al barrilete, respectivamente; dichas tablas contienen los datos de los recobros de individuos de ambas especies hasta octubre de 1959 y en ellas puede determinarse con precisión tanto el tiempo que han estado en libertad después de marcados como la localidad en donde se recobraron. Algunos de los recobros no pueden ser usados para dicho propósito porque la información sobre el tiempo o el lugar del recobro no ha sido determinada con suficiente exactitud. Aún para los recobros utilizados, la precisión de la distancia neta del movimiento es solamente del orden de 10 a 20 millas, ya que los capitanes de los barcos ordinariamente no llevan con la mayor exactitud un registro de sus posiciones. Por ejemplo, cuando se pesca cerca de las Islas Revillagigedo, el capitán generalmente anota su posición sólo con respecto a la isla que se encuentra próxima; de este modo aparece como cero el movimiento neto para los peces que son marcados cerca de una de estas islas y capturados después cerca de la misma isla, aún cuando la distancia entre el punto de marcación y el punto de recobro pueda haber sido realmente de diez o veinte millas, o más.

En estas tablas hemos tabulado las frecuencias de los recobros a intervalos de 30 días y de 50 millas de distancia neta. Para cada especie hay

tabulaciones agrupando todos los datos para todas las regiones al norte de los 15° N. y para todas las regiones al sur de esa latitud, seguidas por tabulaciones mostrando los datos segregados por áreas de marcación que comprenden estas áreas más grandes. En aquellos casos en que los recobros son suficientemente numerosos, han sido computados y tabulados, para cada intervalo de 30 días, el tiempo medio en libertad (\bar{t}), la distancia media (\bar{D}) y la media del cuadrado de las distancias (\bar{D}_2) con respecto a los recobros dentro de aquellos intervalos. Esta última tiene algo de utilidad en el examen de la naturaleza de la dispersión desde el punto de la marcación, ya que si los peces se dispersaran en una forma puramente al azar, y la disponibilidad para la captura fuese uniforme en todas partes, la media del cuadrado de las distancias aumentaría en proporción directa al tiempo en libertad (Skellam, 1951; Jones, 1959).

A pesar de que estos datos proporcionan una representación útil de las relaciones entre el tiempo en libertad y la dispersión de los atunes marcados *que son recapturados*, es difícil la interpretación de los mismos en términos de la dispersión real de los miembros de las poblaciones de atún que ellos representan. La dispersión de los retornos depende tanto de la dispersión de los peces marcados como de la distribución del esfuerzo de pesca en espacio y tiempo. Como el esfuerzo no se distribuye igualmente en todo el Pacífico Oriental, el patrón de retornos estaría influido por la distribución del esfuerzo. Al examinar los datos de las Tablas 13 y 14 debe anotarse especialmente y tomarse muy en cuenta que no hay esfuerzo mar afuera más allá de unas cien millas, excepto en las vecindades de las islas alejadas del continente, de modo que los peces marcados que se alejan a gran distancia de la costa no son susceptibles de recaptura.

Atún aleta amarilla

Los recobros de atunes aleta amarilla de todas las áreas del norte y de todas las áreas del sur son similares en que, en ambos casos, hay un aumento general en la distancia de los recobros del punto de la marcación, reflejado tanto en la distancia media como en las distancias extremas registradas, durante los primeros ocho o nueve meses, con una disminución después de este lapso. Sin embargo, el examen de las áreas componentes revela que los datos no son tan simples u homogéneos. En la Figura 13 han sido graficados los valores de la distancia media contra el tiempo para (a) todas las áreas del norte, (b) los "bancos locales", i.e. el área frente a Baja California, y (c) el Golfo de California y la costa sur de México. (El componente restante de las "áreas del norte" — las Islas Revillagigedo — produjo muy pocos retornos para ser tomados en cuenta en el gráfico). Puede observarse en esta figura que la dispersión de los recobros de marcas es bastante diferente para los peces marcados devueltos al agua en diferentes áreas del norte.

Los atunes aleta amarilla marcados y liberados en los "bancos locales" aparentemente se apartan en forma muy lenta del punto de la mar-

cación; siendo la distancia media máxima de unos 100 millas después de ocho o nueve meses, decreciendo otra vez hasta un bajo valor después de un año en libertad. El ciclo anual aparente puede ser debido a un ciclo migratorio anual, pero también puede ser debido, en parte, al ciclo anual de la pesca frente a Baja California, ya que la pesquería en esta zona es más intensa cada año a fines del verano. Como hay una pesquería bastante fuerte frente a la costa sur de México y en el Golfo de California a fines del invierno y en primavera, que ha producido sólo unos pocos recobros de los peces marcados frente a Baja California (Figura 6), parece por estos datos que no hay movimiento en gran escala en esa dirección. También se ha observado que hay cifras substanciales de recobros en la región frente a Baja California durante cada mes del año siguiente a la marcación. Estos datos parecen indicar que los atunes aleta amarilla de frente a Baja California constituyen, en su mayor parte, un stock residente. Sin embargo, ésto no está de acuerdo con la falta de desove en esta área (Schaefer y Orange, 1956; Schaefer, 1960; Orange, 1961). Puede ser que los peces emigren hacia el sur cuando alcanzan tamaños mayores de los que tienen muchísimos de los peces que hemos marcado en dicha área y que en su mayoría son pequeños en el momento de la marcación.

En contraste, los atunes aleta amarilla marcados frente a la costa sur de México y en el Golfo de California parece que se dispersan muy rápidamente del punto de la marcación. Como puede apreciarse en la Tabla 13, los recobros de corta distancia decaen rápidamente y la distancia media de los movimientos aumenta continuamente durante todo el período (nueve meses) del que tenemos datos. Evidentemente hay una diferencia precisa entre los hábitos migratorios de los peces marcados en estas localidades y los de los peces marcados frente a Baja California.

En la Figura 14 hemos graficado la media del cuadrado de las distancias del punto de la marcación contra el tiempo en libertad, para los recobros a cada intervalo de 30 días después de la marcación, para estas dos áreas del norte. A pesar de que hay una considerable dispersión de los puntos, la media del cuadrado de las distancias parece aumentar proporcionalmente al tiempo durante los primeros 270 días más o menos, en cuanto a los atunes aleta amarilla marcados frente a Baja California, con un coeficiente de difusión de alrededor de $57 \text{ m}^2/\text{día}$. Sin embargo, después de este lapso disminuye la dispersión de los recobros de marcas, lo que, como se dijo anteriormente, puede ser debido a un patrón migratorio anual o bien a naturaleza cíclica estacional de la pesquería, o a ambos. De las liberaciones de peces marcados en la región del Golfo y frente a la costa sur de México, sólo tenemos recobros de los primeros 265 días en libertad. Como se puede ver en la Figura 14, la forma en que se ha graficado la media del cuadrado de las distancias contra el tiempo, durante este período, puede considerarse que refleja una dispersión al azar desde el punto de la marcación, con un coeficiente de difusión de alrededor de $530 \text{ m}^2/\text{día}$.

Las áreas de marcación que forman la región al sur de los 15° N. son las de la costa Centroamericana (5° N. a 15° N.), Islas Galápagos y la costa de Sudamérica (al sur de los 5° N.). A pesar de que los recobros de las liberaciones de atunes aleta amarilla frente a la costa de la América Central son muy pocos como para hacerlos figurar, la Tabla 13 muestra que la dispersión del punto de la marcación es similar a la de los peces marcados en la región del Golfo de California y frente al sur de México y que la distancia aumenta rápidamente con el tiempo. No hay recobros de corta distancia después de los dos primeros meses. La mayoría de los recobros en la región sur proviene de los grupos de peces marcados y liberados en las áreas al sur de los 5° N., y el grueso de éstos es de las liberaciones de atunes aleta amarilla al sur de los 2° S. (ver Tabla 5). La pesquería en esta región se concentra principalmente en dos áreas: la vecindad del Golfo de Guayaquil y el "área de las 14 brazas" en los 9° S. En consecuencia, como puede verse por la Tabla 13, los recobros se han clasificado en dos grupos, según la distancia recorrida por los peces: un grupo de los que han recorrido menos de 100 millas desde el punto en que fueron devueltos al agua, representando los recobros en las mismas áreas de su liberación, y un grupo con recorrido de 300 a 400 millas, que representa los recobros de peces que se han movido entre estas dos áreas principales de pesca. Las tabulaciones de tiempo y distancia para la región costera de Sudamérica en la Tabla 13 indican que los recobros de emigrantes entre estas áreas de pesca se hicieron todos dentro de los primeros 240 días.

En la Figura 15 se ha graficado la distancia media contra el tiempo en libertad (recuadro inferior) y la media del cuadrado de las distancias contra el tiempo en libertad (recuadro superior), para los atunes aleta amarilla marcados y liberados en esta región costera de Sudamérica. La distancia media y la media del cuadrado de las distancias aumentan con el tiempo hasta más o menos 150 días; luego tienden a disminuir, sin embargo, con una fluctuación considerable. Después de un año, todos los recobros fueron de distancias relativamente cortas. Otra vez resulta difícil decir cuánto de este ciclo anual aparente es debido a un patrón real de migración de los peces y cuánto es debido a la naturaleza estacional de la pesquería. Además, la disminución de los recobros de marcas es tan rápida que después de un año en libertad *cualquier* recobro es pequeño; de modo que la falta de recobros indicando movimiento entre áreas después de transcurrido largo tiempo podría ser simplemente un evento fortuito. Sin embargo, es de interés anotar la similitud del patrón tiempo-distancia de estos peces en el extremo sur de la pesquería con el de los peces en el extremo norte (frente a Baja California); no obstante, la distancia del punto de la marcación aumenta inicialmente con más rapidez, a pesar de que la mayor distancia media alcanzada por estos peces del sur no es superior a la alcanzada por los del norte (Figura 13). El recuadro superior de la Figura 15 indica que la dispersión de estos atunes aleta amarilla durante los primeros

150 días más o menos podría ser considerada como un hecho aleatorio, con un coeficiente de dispersión de más o menos 133 mi²/día.

Barrilete

Con la excepción de ocho recobros de corto término hechos en las Islas Revillagigedo, que no demuestran un movimiento neto, y de trece recobros de peces liberados en el Golfo de California y frente al sur de México, todos los barriletes recobrados de la marcación al norte de los 15° N. fueron de especímenes marcados en los "bancos locales" frente a Baja California. Todos estos recobros de la marcación de Baja California fueron hechos en la misma región general pero, como puede verse en la Tabla 14 y en la Figura 16, los barriletes se dispersaron mucho más ampliamente que los atunes aleta amarilla recuperados de los especímenes que se marcaron en esta área. Hay también poco evidencia de un ciclo estacional de distancia de un movimiento promedio neto, a pesar de que la naturaleza estacional de la intensidad de la pesquería se refleja en la escasez relativa de recobros entre los 121 y los 210 días en libertad. (Esto puede verse también en los recobros de atunes aleta amarilla, Tabla 13). Los barriletes marcados aquí parecen dispersarse más bien rápidamente del punto de la marcación, mucho más rápidamente que los atunes aleta amarilla; la distancia media fluctúa alrededor de un valor promedio de unas 75 millas para cierto número de meses y finalmente aumenta con rapidez después de 300 días en libertad. La amplia dispersión de los barriletes recobrados después de un año en libertad es de un sorprendente contraste con la de los atunes aleta amarilla, de los que todos los recobros después de ese período de tiempo fueron hechos más bien a cortas distancias del punto de la marcación. Como ambas especies son pescadas por los mismos barcos en la misma época, ésto refleja sin duda alguna una diferencia real en los hábitos de las dos especies.

Los trece barriletes marcados en el Golfo y frente al sur de México, recobrados hasta 136 días después de la marcación, exhiben aproximadamente el mismo tipo de dispersión, en promedio, que los de frente a Baja California, pero los datos son evidentemente muy escasos para un análisis.

El gráfico (Figura 17) de la media del cuadrado de las distancias contra el tiempo en libertad parece indicar que los barriletes marcados frente a Baja California mantuvieron más o menos una distribución constante del punto de la marcación durante casi un año; luego se dispersaron muy rápidamente. De nuevo debemos remarcar que estos datos solamente revelan la dispersión de los peces a lo largo de la costa; como los barcos no pescan en aguas muy alejadas de la costa, excepto en las vecindades de las Islas Revillagigedo, los peces que se dispersaran a aguas mar afuera se perderían para el alcance de la pesquería.

Los recobros de barriletes de la zona al sur de los 5° N. provienen de tres regiones de marcación: las Islas Galápagos, la costa de América Central y la costa de Sudamérica. Los recobros provenientes de la primera de estas regiones son muy pocos para un análisis.

Los barriletes recuperados de los especímenes que se marcaron frente a la costa centroamericana (15° N. a 5° N.) exhiben una dispersión muy rápida del punto de la marcación durante los primeros 240 días en libertad; los datos del tiempo y distancia aparecen en la Tabla 14 y en la Figura 18. El gráfico de la media del cuadrado de las distancias contra el tiempo en libertad (Figura 19) exhibe una enorme dispersión, pero podría considerarse que los datos representan una dispersión aleatoria, en cuyo caso el coeficiente de dispersión se estima en más o menos 1375 mi²/día. Sin embargo, la *dirección* del movimiento evidentemente no es aleatoria aún a lo largo de la costa porque, como hemos podido apreciar en las Figuras 10, 11 y 12, todos los movimientos a lugares distantes fueron hacia el sur.

Los barriletes en el área al sur de los 5° N. (costa de Sudamérica) fueron marcados y recapturados en cantidades bastante numerosas en la localidad de las "14 brazas" frente a la costa del Perú y en las vecindades del Golfo de Guayaquil, al norte. Se pesca en muy pequeña escala en la región intermedia. Como hay una considerable migración entre estas dos áreas (Figuras 9-12) hay un correspondiente "grupo modal" en los recobros de 300-400 millas que representa la distancia entre las dos áreas (Tabla 14), lo que también ha sido observado para el atún aleta amarilla. La región de marcación bajo consideración incluye también, sin embargo, las aguas frente a las costas de Colombia y del Ecuador al sur de los 5° N. En esta área se liberaron pocos atunes aleta amarilla, pero una gran cantidad de barriletes. De estos barriletes marcados se logró un número de recobros, algunos a distancias bastantes considerables del punto de la marcación.

La relación entre el tiempo en libertad y la distancia del movimiento neto del barrilete en esta región al sur de los 5° N. (Tabla 14 y Figuras 18 y 19) no es diferente de la del atún aleta amarilla en cuanto a que la distancia media y el movimiento más lejano registrado aumentan al principio, pero después disminuyen otra vez, habiéndose hecho solamente recobros a corta distancia, después de 300 días en libertad. Viene a ser de nuevo un punto de discusión cuánto de esto es debido a un ciclo estacional verdadero de migración y cuánto a la distribución del esfuerzo de pesca inducido por las estadísticas del corto número de recobros a largo plazo. De todos modos, es evidente que el barrilete en esta región, justamente lo mismo que en las aguas de frente a Baja California, se dispersa más rápidamente que el atún aleta amarilla marcado en el mismo lugar. El gráfico de la media del cuadrado de las distancias contra el tiempo (Figura 19) exhibe una variabilidad muy grande, pero los puntos corresponden razonablemente bien con los que se esperaban de un proceso de dispersión al azar hasta unos 270 días. El coeficiente de dispersión correspondiente a la línea dibujada en este gráfico es de 335 mi²/día.

Es obvio que se necesita mucho más información y un análisis de la misma más refinado para llegar a un buen entendimiento de la naturaleza

de la migración y dispersión de estos atunes tropicales. Sin embargo, del estudio a que nos hemos referido parecen emerger diversos principios: 1) tanto los atunes aleta amarilla como los barriletes se dispersan más rápidamente del punto de la marcación en las regiones centrales de la pesquería que en las regiones cerca de los extremos de la misma, 2) los barriletes se dispersan mucho más rápidamente que los atunes aleta amarilla, y 3) esta diferencia en el comportamiento de las dos especies se nota especialmente en la región cerca de los extremos del radio de acción de la pesquería.

DISMINUCION DE LOS RECOBROS DE MARCAS Y ESTIMACION DE LAS TASAS DE SUPERVIVENCIA

Si los atunes que sobreviven a la rápida mortalidad inicial debida a la marcación están sujetos a tasas constantes de mortalidad por la pesca y por muerte natural y a una tasa constante de pérdidas por desprendimiento de las marcas y por la mortalidad debida al hecho de llevar éstas, el número de marcas restantes a intervalos sucesivos de tiempo después de la marcación se estimará de acuerdo con la ecuación (7). En esta ecuación, F y M son las tasas de la pesca y de la mortalidad natural, respectivamente, y Q es la tasa de la pérdida debida a otras causas, tales como el desprendimiento de marcas. Si la tasa de la pesca es esencialmente constante, los recobros durante los sucesivos intervalos de tiempo serán, desde luego, proporcionales al número de marcas restantes y, por ende, la tasa de disminución del recobro de marcas puede ser usada para estimar la tasa de mortalidad debida a todas las causas juntas o, por el contrario, para estimar la tasa de supervivencia.

A fin de examinar los datos sobre el recobro de marcas con respecto a este modelo, hemos tabulado los recobros de cada especie en las Tablas 15 y 16, por intervalos de 30 días después de la marcación. Los datos correspondientes a la región al norte de los 10° N. y al sur de esa latitud han sido tabulados tanto separadamente como en conjunto para toda la región de la pesca. Esta es una línea de separación de las regiones "norte" y "sur" que difiere ligeramente de la empleada (15° N.) en la sección de migración y dispersión, pero como los recobros de las liberaciones hechas entre esas latitudes fueron pocos, la diferencia es insignificante.

Hemos empleado todos los recobros hasta diciembre de 1959 de las marcas en peces liberados hasta diciembre de 1958. Los recobros han sido hechos hasta dos años después de la marcación. En consecuencia, no podemos reunir simplemente todos los recobros en intervalos sucesivos de tiempo porque a fines de 1959 los peces marcados y liberados en 1958 no habían estado en libertad por dos años. Por esta razón hemos tabulado separadamente los recobros correspondientes a las liberaciones hasta 1957 y los recobros durante el primero año en libertad de los peces marcados y devueltos al agua durante 1958. Por supuesto, los recobros durante el primer

año en libertad de todos los peces marcados pueden combinarse, lo que también se ha hecho en las Tablas 15 y 16.

Atún aleta amarilla

Primero necesitamos ver si los recobros de marcas se ajustan al modelo de la ecuación (7). Esto puede saberse al graficar los logaritmos del número de recobros contra el tiempo, ya que el número de recobros de marcas R_t en el tiempo t será entonces.

$$\begin{aligned}
 & R_t = FT_t = FKT_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots\dots\dots (11) \\
 \text{o,} & R_t = R_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots\dots\dots (12) \\
 \text{y,} & \log_e R_t = \log_e R_0 - (F+M+Q)t \dots\dots\dots (13)
 \end{aligned}$$

Si los datos se ajustan al modelo, la relación tiene que ser lineal y la tasa de supervivencia puede ser estimada por la pendiente de la línea de regresión. En las Figuras 20, 21 y 22 se han graficado, respectivamente, los datos correspondientes a (1) todos los recobros de los peces marcados y liberados hasta 1957, (2) los recobros durante los primeros 360 días en libertad de los peces marcados y devueltos al agua durante 1958, y (3) los recobros durante los primeros 360 días en libertad de todos los peces liberados hasta 1958. A pesar de que en cada caso hay una gran dispersión de los puntos en el gráfico, las regresiones parecen ser aproximadamente lineales. Debe anotarse, sin embargo, que el punto correspondiente al primer intervalo de 30 días para los recobros al norte de los 10° N. de las marcas de peces liberados durante 1958 cae muy arriba, como puede verse directamente por la Tabla 15. Los puntos iniciales en los otros gráficos, de los cuales los recobros a que nos hemos referido en particular son un componente, también caen más arriba de lo que podía esperarse.

Si aceptamos ahora que los datos se ajustan suficientemente al modelo, podemos proceder a estimar la tasa de supervivencia de las marcas. Esto puede ser expresado de varios modos (ver Ricker, 1958). Hemos escogido expresarlo aquí como la tasa de supervivencia anual que es la parte de las marcas que existen al comenzar el año y que persisten un año más tarde. Este valor, que designamos s está relacionado con las tasas en la ecuación (12), por

$$s = e^{-(F+M+Q)} \dots\dots\dots (14)$$

en donde la unidad de tiempo es un año.

La tasa de mortalidad total anual es

$$1 - s = 1 - e^{-(F+M+Q)} \dots\dots\dots (15)$$

Dos métodos han sido empleados para estimar la tasa de supervivencia:

- (1) La estimación de "Jackson" (Ricker, 1958, pag. 111).

Si $R_1, R_2, \dots R_i \dots R_n$ son los recobros de marcas en intervalos sucesivos de tiempo (i), sobre n intervalos,

$$s' = \frac{R_2 + R_3 + \dots + R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}}$$

o,

$$s' = \frac{\sum_i R_i - R_1}{\sum_i R_i - R_n} \dots \dots \dots (16)$$

s' es la tasa de supervivencia por intervalo (30 días) de la cual se calcula fácilmente la tasa de supervivencia anual (s).

Por la estimación de "Jackson", los puntos de las Figuras 20 y 21 son ponderados por el número de recobros. De este modo los datos correspondientes a los intervalos anteriores, cuando la mayoría de los recobros se ha logrado, tienen la mayor influencia.

(2) La regresión del logaritmo del número de recobros en el tiempo.

En la ecuación (13) puede verse que la pendiente de la regresión de $\log_e R_t$ sobre t es una estimación de s' , de la cual el valor de s puede ser computado. (Por ser más conveniente en los cálculos se emplean logaritmos con la base 10 en vez de logaritmos con la base e , dividiendo la pendiente resultante entre $\log_{10} e$ para obtener la estimación de s').

Las regresiones fueron ajustadas a los datos de las Figuras 20 a 22 por los cuadrados mínimos, dando a cada punto igual ponderación y las líneas resultantes se muestran en dichas figuras. Como se ignoran los recobros cuando su valor es cero, hay una tendencia en estos casos a que el valor estimado de s sea algo alto.

En la parte inferior de la Tabla 15 las estimaciones de "Jackson" de la tasa de supervivencia anual han sido tabuladas como S_1 , habiéndose utilizado todos los datos en cada caso. Puede observarse que aquellas estimaciones que incluyen los datos de recobros correspondientes a las liberaciones al norte de los 10° N. durante 1958 indican una tasa de supervivencia baja en extremo. Creemos que esto es debido al anormal número elevado de recobros (anotado anteriormente) durante el primer período de 30 días correspondiente a aquel grupo de peces marcados. En consecuencia, hemos calculado también, para cada grupo de datos, un valor de "Jackson" usando solamente los recobros *después* de los primeros 30 días en libertad; éstos han sido tabulados como S_2 . En las Figuras 20 a 22 se han designado como S_3 las estimaciones derivadas de la pendiente de las líneas de regresión.

Las diversas estimaciones de la tasa de supervivencia correspondiente a la región norte, después de la eliminación de S_1 para los recobros de las liberaciones hechas durante 1958, son todas más bien similares oscilando entre 0.103 y 0.169. Las estimaciones correspondientes a la región del sur varían muchísimo más, tanto entre los diferentes clases de estimaciones para el mismo grupo de datos como entre los diferentes grupos de datos.

Hay alguna indicación de que, en la región sur, la tasa de supervivencia fue más baja en 1958-1959 que en el año anterior; ésto corresponde a una intensiva concentración del esfuerzo de pesca frente a la parte norte de Sudamérica en 1958. Combinado los datos correspondientes a ambas regiones, las estimaciones de la tasa de supervivencia (omitiendo S_i para las liberaciones durante 1958) varían entre 0.032 a 0.169.

La tasas de supervivencia correspondientes al atún aleta amarilla han sido también estimadas (Hennemuth, 1961b) a través de la tasa de disminución en la abundancia aparente de las clases anuales de 1953, 1954 y 1955 que han pasado por la pesquería durante el período 1955-1959. Con respecto a los datos combinados de las tres clases anuales, las estimaciones de la tasa de supervivencia anual varían entre 0.99 y 0.19, siendo 0.18 aparentemente el "mejor" valor. La tasa más baja de supervivencia promedio aparente correspondiente a los peces marcados se puede atribuir desde luego a Q en la ecuación (11), que es la pérdida de marcas por causas ajenas a la mortalidad natural y a la pesca.

Barrilete

Los datos correspondientes a los recobros de barriletes marcados han sido tabulados en la Tabla 16 por las mismas regiones y períodos de tiempo descritos anteriormente para el atún aleta amarilla.

En las Figuras 23, 24 y 25 se han graficado, respectivamente, los logaritmos del número de recobros contra el tiempo en libertad correspondientes a (1) las liberaciones hasta 1957 (todos los recobros), (2) las liberaciones durante 1958 (sólo los recobros durante los primeros 360 días en libertad), y (3) todas las liberaciones hasta 1958 (solamente los recobros durante los primeros 360 días en libertad). Puede observarse que los recobros correspondientes a la región al norte de los 10° N. no indican una disminución regular con el tiempo, pero sufren un rápido descenso hasta un mínimo después de unos seis meses y luego aumentan otra vez. Esto ocurre porque los barriletes en esta área "del norte" fueron marcados en su mayoría frente a Baja California (ver Tabla 6) en donde la pesquería tiene un ciclo estacional pronunciado, como se ha dicho anteriormente. En la región "del sur", en donde la pesca está distribuída en forma más pareja durante todo el año, los recobros disminuyen en forma más bien pareja con el tiempo, aunque con considerable dispersión alrededor de esa tendencia. Los datos combinados para todas las áreas también disminuyen con el tiempo con moderada regularidad; el gran número de recobros de la región del sur opaca el ciclo estacional de los recobros del norte.

Por las Figuras 23 a 25 se puede ver inmediatamente que ni los recobros de la región del sur ni los de todos los datos combinados puede considerarse que corresponden al modelo de la ecuación (7) ni de la (11) hasta la (13), ya que la regresión de los logaritmos del número de recobros definitivamente no es lineal; la tasa de declinación disminuye con el tiempo. La

no linealidad de la relación se ilustra aún mejor en la Figura 26 en donde se han combinado los recobros de todas las liberaciones hasta 1958 y graficado a intervalos de 90 días.

Una posible explicación de la falla del modelo simple es la de que los barriletes marcados se dispersan no solamente a lo largo de la costa sino también hacia mar afuera, más allá del radio de operaciones de la pesquería. El modelo simple asume que la tasa de mortalidad por la pesca es constante sobre la población de peces marcados. Sin embargo, si algunos de los peces marcados se movilizan más allá del radio de la pesquería, la tasa de mortalidad por la pesca de los peces *marcados* disminuirá, aún cuando éstos puedan ser reemplazados por peces no marcados que entran en el área de la pesquería. Para examinar cuantitativamente esta posibilidad, necesitamos un modelo que incluya el factor de dispersión de los peces marcados fuera de la zona de pesca. Un modelo simple de esta clase puede formularse asumiendo que los peces se dispersan al azar, de modo que el área que éstos ocupan aumenta proporcionalmente con el tiempo, y que la probabilidad de captura está en razón inversa al área sobre la que se han dispersado. En este caso, la recuperación de marcas, en el tiempo t se ajustará a la siguiente ecuación que reemplaza a la (12):

$$R_t = R_0 e^{-(F+M+Q)t} \cdot \frac{k}{t} \dots \dots \dots (17)$$

en la que k es una constante.

Ahora, en este caso, también

$$tR_t = kR_0 e^{-(F+M+Q)t} \dots \dots \dots (18)$$

y

$$\log_e (tR_t) = \log_e kR_0 - (F+M+Q)t \quad (19)$$

En esta forma tiene que haber una relación lineal entre t y el logaritmo de tR_t . En la Tabla 17 se han tabulado los valores de tR_t y de t (a intervalos de 30 días) correspondientes a los datos de la Tabla 16. Los logaritmos de tR_t se han graficado contra t en las Figuras 27, 28 y 29. Puede observarse que esta transformación ha resultado en una relación lineal aproximada, por lo menos con respecto a los recobros de las liberaciones en la región del sur y para las dos regiones en conjunto, de modo que podemos considerar que el modelo de las ecuaciones (17)-(19) es consistente con las observaciones.

Por las ecuaciones (18) y (19) se puede ver que la tasa supervivencia puede ser estimada tanto mediante el método de "Jackson" como por el método de regresión, si se emplea tR_t en lugar de R_t . Esto se ha hecho y las tasas de supervivencia anual por los dos métodos se han tabulado en la Tabla 17. Las líneas de regresión también aparecen en las Figuras 27 a 29.

Debido a la naturaleza cíclica de los recobros en la región del norte, la estimación de s probablemente no es de confianza y, en el caso de las libera-

ciones durante 1958, ni siquiera ha sido calculada mediante el método de regresión por la escasez de datos. Con respecto a los diversos juegos de datos correspondientes a la región del sur, se han obtenido valores entre 0.071 y 0.161, y con relación a los datos de ambas regiones combinados los valores oscilan entre .006 a .221. En casi todos los casos el método de regresión da valores más altos de s que el método de "Jackson", pero éste es más pronunciado con respecto al área del norte y a los datos combinados, sin duda debido a la rápida disminución de los recobros durante los primeros meses en el área del norte por la naturaleza cíclica en el esfuerzo de pesca desarrollado allí. Esto afectará con más intensidad la estimación de "Jackson" que da mayor ponderación a los recobros más abundantes y más tempranos.

Las tasas de supervivencia para el barrilete, así estimadas, son similares a las estimadas para el atún aleta amarilla. Sin embargo, debe anotarse que la "tasa de supervivencia" computada aquí, es la *supervivencia del barrilete mientras se encuentra en el área de la pesquería*, que tiene que ser substancialmente *más baja* que la supervivencia en toda la población.

ESTIMACION DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO

Es posible estimar directamente la tasa de crecimiento de los atunes marcados por los aumentos del tamaño entre el momento de la marcación y el momento de la recaptura. Sin embargo, el método que hemos empleado no es preciso porque los peces no han sido medidos con precisión en el momento de marcarlos. Como se cree que la rapidez en el manipuleo es esencial para que la mortalidad causada por la marcación no sea excesiva, nos hemos conformado con hacer estimaciones rápidas, a los 50 mm. más próximos, de la longitud total de los ejemplares con la ayuda de marcas de referencia en la "cuna" en que se colocan los peces para su marcación. La longitud inicial de todos los atunes aleta amarilla recobrados a que se refiere este capítulo fué estimada de esta manera. La mayoría de los barriletes tomados en cuenta en este estudio se midió del mismo modo, pero, además, hemos usado también los datos correspondientes a algunos peces cuya longitud no se calculó al ser marcados. En estos casos, se estima como tamaño inicial la longitud media de los barriletes capturados en el mismo cardumen del que se tomaron los peces para su marcación. Casi todos los pescados usados fueron medidos cuidadosamente por nuestro personal después de su recuperación, pero algunas longitudes en el momento del recobro fueron proporcionadas por los pescadores que devolvieron solamente las marcas, y algunas fueron estimadas por el *peso* de los pescados según el informe de los pescadores.

Atún aleta amarilla

La relación del incremento de la longitud, en milímetros, y el tiempo en libertad, en días, correspondiente a 242 atunes aleta amarilla recobrados de

todas las áreas hasta octubre de 1959, se muestra en la Figura 30. Los puntos grandes indican los valores medios del incremento a cada intervalo de 90 días después de la marcación, mientras que los puntos pequeños representan los datos de cada recobro. La línea de regresión fué computada por los valores medios (puntos grandes) y su pendiente (256 mm./año) es similar, aunque algo más pronunciada que la computada por los puntos pequeños que aparece en la Tabla 18 (244 mm./año, ó 248 mm./año si la línea está restringida a pasar a través del origen). En la Figura 18 se notará que, a pesar de que hay una amplia dispersión de los puntos, la línea de regresión pasa muy cerca del origen, de modo que aunque hay una gran falta de precisión en la estimación del incremento en la longitud parece que no hay un bias sistemático.

En la Tabla 18 hemos separado los datos también en cuatro grupos de acuerdo con los tamaños en el momento de la marcación y hemos computado la pendiente de las correspondientes líneas de regresión. Al mismo tiempo hemos computado las pendientes de las regresiones para los datos reportados por Blunt y Messersmith (1960) por tres categorías de tamaños, lo mismo que para los datos combinados de todos los tamaños. Los datos de estos investigadores exhiben menos dispersión que los nuestros debido a una mayor precisión de las mediciones del tamaño inicial. Los resultados obtenidos por Blunt y Messersmith dan una tasa promedio de crecimiento algo más alta que la nuestra. Ambos juegos de datos indican una tasa de crecimiento considerablemente más baja que la obtenida mediante el análisis de las progresiones modales de las frecuencias de tamaños para los peces de longitudes similares (Hennemuth, 1961).

Barrilete

El incremento aparente de la longitud y el tiempo en libertad de 139 barriletes marcados, recobrados de todas las áreas hasta octubre de 1959, han sido graficados en el recuadro de la derecha de la Figura 30. También se indica el incremento medio para cada intervalo de 90 días de tiempo en libertad (puntos grandes). La línea de regresión ha sido ajustada a los valores medios. La pendiente de esta línea (121 mm./año) es bastante similar a la de la línea ajustada a los puntos individuales (124 mm./año) que aparece en la Tabla 19. Puede notarse también que la línea pasa muy cerca del origen, lo que indica que probablemente, en promedio, no hay bias en la estimación de las longitudes al momento de la marcación.

También puede verse en la Tabla 19 que la regresión para los 28 peces que midieron más de 600 mm. de longitud inicial tiene una pendiente mucho más baja que la correspondiente a peces de tamaños menores, y que la regresión a través del origen tiene una pendiente mucho más baja que la de la regresión calculada sin esta restricción. El examen del gráfico de los datos originales indica que ésto es debido a una gran porción de incrementos aparentes negativos durante los primeros 90 días en libertad; parece que

hubo, tal vez, una sobre estimación sistemática de la longitud inicial de los barriletes grandes.

Blunt y Messersmith (1960) proporcionan datos sobre el crecimiento de solamente 28 barriletes recobrados, todos ellos con menos de 90 días en libertad. Las regresiones correspondientes a estos datos aparecen también en la Tabla 19. La pendiente de la regresión irrestricta es mucho más alta que la de la regresión a través del origen debido, nuevamente, a una gran parte del incremento negativo en los primeros días. Estos datos no se extienden sobre un período de tiempo lo suficientemente largo después de la marcación como para ser considerados muy significativos.

La tasa de crecimiento de los barriletes marcados, más o menos 125 mm./año, comparada con los resultados del análisis de la progresión de los grupos modales en las frecuencias de tamaños (estudios en progreso no publicados) indica que, como en el caso del atún aleta amarilla, el crecimiento aparente de los peces marcados es significativamente menor que el de los peces de tamaños similares en la población no marcada.

Parece que la operación de marcar los peces afecta en forma adversa el crecimiento posterior tanto de los atunes aleta amarilla como de los barriletes. Este fenómeno no carece de precedente. Kenneth Waldron del Honolulu Biological Laboratory del U. S. Bureau of Commercial Fisheries nos ha dado a conocer que el crecimiento anual de los barriletes marcados cerca de las Islas Hawaianas es solamente de $2/3$ a $3/4$ del que indica el análisis de la frecuencia de las longitudes de las muestras de la pesca comercial. Sette (1950) comparó el crecimiento de macarelas marcadas y no marcadas en cautividad, y encontró que diversos tipos de marcas externas resultaban en un crecimiento de 21 a 60 por ciento más bajo que el de los especímenes no marcados, aunque las marcas internas no parecieron dar como resultado un crecimiento menor. Broadhead (1958), al comparar el aumento en los tamaños de mágiles ("mullet") marcados y recobrados en la pesquería de Florida con el crecimiento estimado del análisis de la frecuencia de tamaños, habiendo sido marcados esos peces con la marca conocida por "el disco de Petersen", demostró que los peces marcados presentaban un notorio retardo en el crecimiento durante el primer mes de ser devueltos al mar.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

Alverson, F. A.

- 1960 Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the Eastern Tropical Pacific by quarters of the year, 1951-1958. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. IV, No. 6, pp. 319-441 (English), pp. 442-446 (Spanish).

Black, E. C.

- 1957 Alterations in the blood level of lactic acid in certain salmonoid fishes following muscular activity. III. Sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. Jour. Fish. Res. Bd. Canada, Vol. 14, No. 6, pp. 807-814.

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

- 1960 Tuna tagging in the Eastern Pacific, 1952-1959. Calif. Fish and Game, Vol. 46, No. 3, pp. 301-340.

Broadhead, G. C.

- 1958 Growth of the black mullet (*Mugil cephalus* L.) in west and north-west Florida. Techn. Ser. Fla. Bd. Conserv., No. 25, 31 pp.
- 1959a 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, Nov. 1958, pp. 91-99.
- 1959b Morphometric comparisons among yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, from the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol III, No. 8, pp. 353-382 (English), pp. 383-391 (Spanish).

Chatwin, B. M. and C. J. Orange

- 1960 Recovery of tagged bluefin tuna (*Thunnus saliens*). Calif. Fish & Game, Vol. 46, No. 1, pp. 107-109.

Clemens, H. B.

- 1959 Status of the fishery for tunas of the temperate waters of the Eastern North Pacific (Abstract). In U. S. Fish and Wildlife Serv., Bur. Comm. Fish., Circular 65, pp. 41-42.

Godsil, H. C.

- 1938 Tuna tagging. Calif. Fish and Game, Vol. 24, No. 3, pp. 245-250.

Griffiths, R. C.

- 1960 A study of measures of population density and of concentration of fishing effort in the fishery for yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, in the Eastern Tropical Pacific Ocean, from 1951 to 1956.

Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. IV, No. 3, pp. 39-98 (English), pp. 99-136 (Spanish).

Hennemuth, R. C.

- 1959 Morphometric comparisons of skipjack from the Central and Eastern Pacific Ocean.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. III, No. 6, pp. 239-285 (English), pp. 286-304 (Spanish).
- 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.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. V, No. 1, pp. 1-82 (English), pp. 83-112 (Spanish).
- 1961b Year-class abundance, mortality, and yield-per-recruit of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean, 1954-59.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. VI, No. 1 (*In press*).

Holmes, R. W., *et al*

- 1958 Physical, chemical and biological oceanographic observations obtained on expedition *SCOPE* in the Eastern Tropical Pacific, November-December 1956.
U. S. Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rept., Fish. No. 279, pp. 1-117.

Jones, R.

- 1959 A method of analysis of some tagged haddock returns.
Jour. du Cons., Vol. 25, No. 1, pp. 58-72.

Kishinouye, K.

- 1923 Contributions to the comparative study of the so-called scombroid fishes.
Jour. College Agriculture, Imp. Univ. Tokyo, Vol. 8, No. 3, pp. 293-475, + XXIV plates.

Orange, C. J.

- 1961 Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the Eastern Tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. V, No. 6 (*In press*).

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

- 1959 Muscular fatigue and mortality in troll-caught chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*).
Jour. Fish. Res. Bd. Canada, Vol. 16, No. 1, pp. 95-106.

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

- 1959 Fatigue and mortality in troll-caught Pacific salmon (*Oncorhynchus*).
Jour. Fish. Res. Bd. Canada, Vol. 16, No. 4, pp. 429-448.

Ricker, W. E.

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

Royce, W. F.

- 1953 Preliminary report on a comparison of the stocks of yellowfin tuna.
Proc. Indo-Pac. Fish Council 1952, Sec. 2, pp. 130-145.

Schaefer, M. B.

- 1952 Comparison of yellowfin tuna of Hawaiian waters and of the American West Coast.
U. S. Fish and Wildlife Serv., Fish. Bull., Vol. 52, No. 72, pp. 353-373.
- 1955 Morphometric comparison of yellowfin tuna from Southeast Polynesia, Central America, and Hawaii.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. I, No. 4, pp. 61-116 (English), pp. 117-136 (Spanish).
- 1957 A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. II, No. 6, pp. 245-268 (English), pp. 269-285 (Spanish).
- 1960 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1959.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Ann. Rept. for 1959, pp. 39-94 (English), pp. 95-156 (Spanish).

Sette, O. E.

- 1950 Biology of the Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) of North America. Part II. Migrations and habits.
U. S. Fish and Wildlife Serv., Fish. Bull. 49, Vol. 51, pp. 251-358.

Shimada, B. M.

- 1958 Geographical distribution of the annual catches of yellowfin and skipjack tuna from the Eastern Tropical Pacific Ocean, 1952-1955.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. II, No. 7, pp. 287-354 (English), pp. 355-363 (Spanish).

Shimada, B. M. and M. B. Schaefer

- 1956 A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack in the Eastern Tropical Pacific Ocean.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. I, No. 7, pp. 347-421 (English), pp. 422-469 (Spanish).

Skellam, J. G.

- 1951 Random dispersal in theoretical populations.
Biometrika, Vol. 38, pp. 196-218.

- Snedecor, G. W.
1956 Statistical methods.
Iowa State Coll. Press, Ames, Iowa, 5th ed., 1956, 534 pp.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming
1942 The Oceans.
Prentice Hall, New York, 1942, 1060 pp.
- Wilson, R. C.
1953 Tuna marking, a progress report.
Calif. Fish and Game, Vol. 39, No. 4, pp. 429-442.
- Wood, N., B. B. Parrish and G. McPherson
1955 Review of Scottish herring tagging experiments, 1948-53.
Rapp. Proc. Verb. Int. Explor, Mer., Vol. 140, No. 2, pp. 35-54.
- Wooster, W. S. and T. Cromwell
1958 An oceanographic description of the Eastern Tropical Pacific Ocean.
Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Vol. 7, No. 3, pp. 169-282.
- Yamashita, D. T. and K. D. Waldron
1958 An all-plastic dart-type fish tag.
Calif. Fish and Game, Vol. 44, No. 4, pp. 311-317.

