

## MIGRATIONS OF YELLOWFIN TUNA TAGGED OFF THE SOUTHERN COAST OF MEXICO IN 1960 AND 1969

by

William H. Bayliff and Brian J. Rothschild<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The map method, the Jones method, the variance-covariance method, and the Skellam method were used to study the migrations of tagged yellowfin tuna released off the southern coast of Mexico in 1960 and 1969. The first three methods are all useful, and each presents information which is complementary to that presented by the others. The Skellam method, as used in this report, is less useful.

The movements of the tagged fish released in 1960 appeared to have been strongly directed, but this was probably caused principally by the distribution of the fishing effort. The effort was much more widely distributed in 1970, and the movements of the fish released in 1969 appeared to have been much less directed. The correlation coefficients derived from the variance-covariance method showed that it was not random, however.

The small fish released in the Acapulco and 10°N-100°W areas in 1969 migrated to the Manzanillo area near the beginning of February 1970. The medium and large fish released in the same areas in the same year tended to migrate to the southeast throughout the first half of 1970, however.

### INTRODUCTION

The migrations of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean have been studied by Blunt and Messersmith (1960), Schaefer, Chatwin, and Broadhead (1961), and Fink and Bayliff (1970), the last report including data on all tagged fish released prior to 1965. Almost all the tagging of yellowfin off the southern Mexico coast up to that time was accomplished on two cruises conducted in 1960. During the middle and late 1960's the fishery expanded offshore, particularly between the equator and 15°N (Calkins and Chatwin, 1967 and 1971), and during the periods of restricted fishing for yellowfin inside the Tuna Commission's yellowfin regulatory area (CYRA) (Figure 1) fishing has been conducted to the west of this area. For this reason additional tagging was conducted off the southern Mexico coast during 1969, both near the coast and far offshore. This report constitutes an analysis of the 1960 and 1969 experiments, using some new techniques in addition to those employed in the previous reports.

<sup>1</sup>National Marine Fisheries Service, La Jolla, California

### ACKNOWLEDGMENTS

Acknowledgment is extended to the following members of the Commission's staff for their participation in the tagging of the fish: Franklin G. Alverson, Gordon C. Broadhead, Clinton M. DeWitt, David R. Dugan, Bernard D. Fink, John E. Kinnear, Craig J. Orange, Vaughn M. Silva, and Robert T. Umlor. Appreciation is likewise expressed to Captains Eugene M. Cabral, Ralph Madruga, and Frank Valin, Jr., and to the crews of the three vessels which were used in the tagging experiments.

The indispensable cooperation of the fishing vessel captains and fishermen, and of cannery workers, in returning the tags when the fish were recovered, together with pertinent information, is also acknowledged with gratitude.

The computer programs used in this report were written or modified by Dr. Robert C. Francis, Miss JoAnne Levatin, and Messrs. Christopher T. Psaropulos and Donald L. Whitt. The manuscript was reviewed by Drs. James Joseph, Robert C. Francis, and Jerome J. Pella.

### MATERIALS AND METHODS

The methods of tagging the fish and handling the tag return data are described by Fink (1965), Fink and Bayliff (1970), and Bayliff (1973). The methods of collecting and handling the catch and effort statistics are discussed by Shimada and Schaefer (1956), Joseph and Calkins (1969), and Bayliff (1971).

Most of the calculations were performed on the CDC 3600 and Burroughs 6700 computers at the University of California at San Diego. Programs CIAT F04 (Psaropulos, 1966) and two unpublished programs were employed for this purpose.

### DATA EMPLOYED

#### Tag releases and returns

The data for only three cruises are used in this report, as no more than nine tag returns have resulted from any other cruises conducted in this area. The release and return data for these cruises are listed in Table 1. Not all of the return data were used, as some were unsuitable because the area or date of recapture was unknown or for some other reason. Some tagging has been conducted near the Revillagigedo Islands and near Clipperton Island, but these fish behave differently from those tagged further away from the islands, many of them apparently staying near the islands for considerable lengths of time (Fink and Bayliff, 1970). Since most of the catch off the southern Mexico coast is made in areas not in the vicinity of these islands, the data for the tagging experiments conducted near these

---

islands are not considered in this report. The areas where the tagged fish were released are shown in Figure 2.

### Statistics of the fishery

The statistical data routinely collected by the Tuna Commission include the logged catches in short tons of yellowfin by 1-degree and 5-degree areas, by months, quarters, and years, by types of gear (purse seine and baitboat), and by size classes of vessels, and the corresponding effort in days of fishing, both unstandardized and standardized to Class-3 purse-seine (vessels of 101-200 short tons capacity) days and Class-4 baitboat (vessels of 201-300 short tons capacity) days (Shimada and Schaefer, 1956; Joseph and Calkins, 1969). The effort data obtained by the Tuna Commission represent about 90 percent of the total effort for the periods in question, and are assumed to have the same distribution by area and time as the total effort. In each year since 1966 there has been a quota on the catch of yellowfin in the CYRA, and most of the vessels which leave port after the closure date each year are restricted as to the portion of the fish landed from their catches made inside the CYRA which can be yellowfin. The effort exerted inside the CYRA by vessels which leave port after the closure date is termed "regulated effort," and these data are kept separately from the "unregulated effort" data. All unregulated effort is assumed to be directed toward yellowfin (and also toward skipjack) except that for the few trips for which species other than yellowfin or skipjack make up more than one third of the total weight of the catch. The regulated effort data are not used in this study.

It is necessary to obtain estimates of the fishing effort in each 5-degree area-month stratum in which tagged fish were recaptured. The effort data were all converted to Class-3 purse-seine units by the method of Bayliff (1971), using separate baitboat catch-per-unit-of-effort data for 0°-15°N and north of 15°N. The monthly effort for purse seiners and baitboats, and for both gears combined, for the areas where tagged fish were recaptured are shown for March 1960-May 1961 in Table 2 and January-December 1970 in Table 3. The 5-degree areas are coded by the latitudes and longitudes at their southeast corners, preceded by 0's for areas north of the equator or 2's for areas south of the equator (Shimada and Schaefer, 1956). There was no unregulated effort inside the CYRA during October-December 1969, and all but one of the tag returns for this period were from fish recaptured by the tagging vessel.

### RESULTS

The area-time strata in which tagged fish are recaptured depend not only upon the migrations of the fish, but also upon the distribution of the fishing effort. If a tagged fish is released in one area the probability of its being recaptured in another depends not only upon the fishing effort

---

in the second area, but also upon that in the first area and in all the areas through which the fish passes while traveling from the first to the second area. Most of the analyses of migrations of the tagged fish in this report are performed two ways, without and with adjustments for the differences in the amounts of fishing effort in the different 5-degree area-month strata of recapture. These adjustments were accomplished by dividing the number of returns for each 5-degree area-month stratum by the corresponding effort and then multiplying it by a factor to get an adjusted number of returns. The calculations are explained in detail in later sections of this report.

The method of adjustment is inadequate, as no allowance is made for the amounts of fishing effort in the area-time strata through which the fish passed prior to their recapture. Such adjustments could probably be accomplished only by computer simulation. In the meantime, however, the adjustment just described is probably better than none at all.

#### Methods involving maps

The locations of recapture of the fish from each group of releases are shown in Figure 2. These maps give a useful impression of the distances and directions traveled, but do not express these parameters in quantitative terms. Furthermore, there is no provision for indicating the dates of recapture or times at liberty, and this could be done only by substituting several maps for each of the present maps.

In Figure 3 and Table 4 are shown the adjusted numbers of returns in eight arbitrarily-chosen areas for fish released in a 15-degree area (Area A in the figure) in 1969. These were calculated by

$$N_{ij} = \left( \frac{n_{ii}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j n_{ij}}{\sum_i \sum_j \frac{n_{ii}}{f_{ij}}} \right) \quad (1)$$

where

- $N_{ij}$  = adjusted number of returns in area  $i$  during month  $j$ ,
- $n_{ij}$  = actual number of returns in area  $i$  during month  $j$ , and
- $f_{ij}$  = effort in area  $i$  during month  $j$ .

The four returns of fish released north of 20°N were not used for these calculations, but six returns for which the 5-degree areas of recapture, but not the 1-degree areas of recapture, were known were used. It is clear that relatively few tagged fish released in the 15-degree area in question migrated to the areas west of Baja California, outside the CYRA, or south of 5°N. For these data it appears that tagged fish released in Area A moved from Area A to Area 2 near the beginning of February and back to

Area A near the end of that month. The incidence of tagged fish released in Area A increased in Area B from January to May, indicating movement of fish released in Area A to Area B during this period.

### Skellam method

The averages of the squared distances of movement are calculated by

$$\overline{r_j^2} = \left( \sum^{n_j} r_j^2 \right) / n_j \quad (2)$$

where

$\overline{r_j^2}$  = average of the squared distances of movement by fish recaptured in month  $j$ ,

$r_j$  = distance of movement by fish recaptured in month  $j$ , and

$n_j$  = number of returns for fish recaptured in month  $j$ .

The adjusted averages of the squared distances of movement are calculated by

$$\overline{R_j^2} = \sum^{n_j} \left( \frac{r_{ij}^2}{f_{ij}} \right) / \sum^{n_j} \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (3)$$

$\overline{R_j^2}$  = adjusted average of the squared distances of movement by fish recaptured in month  $j$ ,

$r_{ij}$  = distance of movement by fish recaptured in area  $i$  during month  $j$ , and

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

Skellam (1951) pointed out that if the dispersion is random the averages of the squared distances of movement increase linearly with time. If the point of release is near the coast, however, the fish can go only a short distance in that direction, and the rate of dispersion will appear to decrease with time even if such is not the case.

The unadjusted averages of the squared distances of movement for the six groups of releases in question are shown on the left side of Figure 4. The points are plotted only for the months which include at least five returns. The numbers near the points indicate the numbers of returns in each month. These data indicate that the dispersion is roughly random. For the Manzanillo area the number of returns was relatively high and the  $\overline{r_j^2}$  value was relatively low for February 1970, whereas the reverse was true for the Acapulco and 10°N-100°W areas. This is probably because the effort was relatively high in the 0-15-105 and 0-20-105 areas and relatively low in 0-10-095, 0-10-100, and 0-10-105 areas during that month (Table 4).

The adjusted averages of the squared distances of movement are shown on the right side of Figure 4. These graphs are quite similar to those on the left side of the figure. The  $\bar{R}_j^2$  values for February 1970 for the Acapulco and 10°N-100°W areas are relatively high, which indicates that on the average the fish were further away from the areas of release during February than during January or March. The data indicate the presence of fish from those two areas in the Manzanillo area during February, so it is logical to assume that the high effort exerted in that area during that month was due at least partly to an influx of fish from the Acapulco and 10°N-100°W areas.

If the movement is mostly or entirely in one direction and at a constant rate the average distances of movement increase linearly with time, and the averages of the squared distances of movement increase exponentially. It will be shown in the next section that the fish of the 1960 releases which were recaptured moved mostly in one direction, and it can be seen that the graphs for the fish released in the Acapulco area in 1960 are concave upward and thus roughly exponential.

#### Jones method

This method, devised by Jones (1959 and 1966), has been used previously in a slightly different form for yellowfin by Fink and Bayliff (1970).

The dispersion of the fish is analyzed from data on the months of recapture, days at liberty, distances of movement, and directions of movement. Eight directions of movement, 0°-45° true = 0, 45°-90° true = 1, . . . , and 315°-360° true = 7, are used.

For the unadjusted data the following calculations are made by month of recapture, by all months of recapture combined, by direction of movement, and by all directions of movement combined

$$\bar{t}_{jk} = \sum \frac{n_{jk} t_{jk}}{n_{jk}} \quad (4)$$

where

$\bar{t}_{jk}$  = average time at liberty for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$t_{jk}$  = time at liberty for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ , and

$n_{jk}$  = number of fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$\bar{r}_{jk} = \sum \frac{n_{jk} r_{jk}}{n_{jk}} \quad (5)$$

where

$\overline{r_{jk}}$  = average distance of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and

$r_{jk}$  = distance of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$v_{jk} = \frac{\sqrt{\left(\sum^{n_{jk}} r_{jk} \sin \Theta_k\right)^2 + \left(\sum^{n_{jk}} r_{jk} \cos \Theta_k\right)^2}}{\sum^{n_{jk}} t_{jk}} \quad (6)$$

where

$v_{jk}$  = mean velocity of dislocation for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and

$\Theta_k$  = angle corresponding to direction of movement  $k$  (Direction 0 =  $67\frac{1}{2}^\circ$ , Direction 1 =  $22\frac{1}{2}^\circ$ , Direction 2 =  $337\frac{1}{2}^\circ$ , ..., and Direction 7 =  $112\frac{1}{2}^\circ$ ), and

$$a_{jk}^2 = \frac{1}{n_{jk}} \left[ \sum^{n_{jk}} \frac{r_{jk}^2}{t_{jk}} - \frac{\left(\sum^{n_{jk}} r_{jk} \sin \Theta_k\right)^2 + \left(\sum^{n_{jk}} r_{jk} \cos \Theta_k\right)^2}{\sum^{n_{jk}} t_{jk}} \right] \quad (7)$$

where

$a_{jk}^2$  = mean square dispersion coefficient for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ .

The adjusted number of returns in each month-direction of movement stratum is calculated by

$$N_{jk} = \left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j \sum_k n_{ijk}}{\sum_i \sum_j \sum_k \frac{n_{ijk}}{f_{ij}}} \right) \quad (8)$$

where

$N_{jk}$  = adjusted number of returns in month  $j$  for fish which had moved in direction  $k$ ,

$n_{ijk}$  = actual number of returns in area  $i$  during month  $j$  for fish which had moved in direction  $k$ , and

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

The calculations analogous to those performed by Formulae (4), (5), (6), and (7) are accomplished by

$$\overline{T}_{jk} = \sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{t_{ijk}}{f_{ij}} \right) \bigg/ \sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (9)$$

where

$\overline{T}_{jk}$  = adjusted average time at liberty for fish captured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and  
 $t_{ijk}$  = time at liberty for fish recaptured in area  $i$  during month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$\overline{R}_{jk} = \sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \right) \bigg/ \sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (10)$$

where

$\overline{R}_{jk}$  = adjusted average distance of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and  
 $r_{ijk}$  = distance of movement for fish recaptured in area  $i$  during month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$V_{jk} = \frac{\sqrt{\left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \sin \Theta_k \right)^2 + \left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \cos \Theta_k \right)^2}}{\sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{t_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \quad (11)$$

where

$V_{jk}$  = adjusted mean velocity of dislocation for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ , and

$$A_{jk}^2 = \frac{1}{\sum_i^{n_{jk}} (1/f_{ij})} \left[ \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}^2}{t_{ijk} f_{ij}} - \frac{\left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \sin \Theta_k \right)^2 + \left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \cos \Theta_k \right)^2}{\sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{t_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \right] \quad (12)$$

where



$A_{jk}^2$  = adjusted mean square dispersion coefficient for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ .

The significance of the mean velocity of dislocation and the mean square dispersion coefficient has been discussed by Jones (1959 and 1966). Briefly, the former pertains to directional movement and the latter to random movement. The latter is a measure of the average amount of deviation from the mean direction of movement. A high value of  $v_j$ . (or  $V_j$ .) and a low value of  $a_j$ . (or  $A_j$ .) would indicate directional movement with little dispersion, while a low value of  $v_j$ . (or  $V_j$ .) and a high value of  $a_j$ . (or  $A_j$ .) would indicate the reverse. Even if the movement is entirely random, the values of  $v_j$ . (or  $V_j$ .) would not be expected to equal 0 for most of the present groups of releases because they were made close to shore, and the fish were restricted in their movements toward shore.

The directions and average distances of movement, as calculated from the unadjusted return data, are shown on the left sides of Figure 5. The number in the center of the first diagram indicates the number of fish which did not move from the locations of release. (As explained by Schaefer, Chatwin, and Broadhead (1961), because of lack of precision in recording positions at sea, fish which moved 10 or 20 miles are often recorded as having been recaptured at the location of release.) The numbers near the heads of the arrows indicate the numbers of fish which moved in each direction and the average distances of movement, respectively. The widths of the circle and of the lines are proportional to the percentages of the fish which were recaptured in the locations of release and the percentages which moved in each direction. The lengths of the lines are proportional to the average distances of movement.

The fish released in the Acapulco area in 1960 were recaptured primarily to the northwest, while those released in the Manzanillo area in 1960 and in the Manzanillo and Acapulco areas in 1969 appear to have migrated mostly to the southeast. The fish released offshore were recaptured mainly to the east and northeast. The average distances of movement of the fish released in the Acapulco area in 1960 were less than those of the fish of the other groups of releases. It can be seen in Figure 4 that most of the former were recaptured shortly after release, whereas most of the latter were at liberty longer, so the mean velocities of dislocation are not necessarily less for the fish released in the Acapulco area in 1960.

Diagrams equivalent to those on the left sides of Figure 5 are shown on the right sides of that figure for the adjusted return data. The results are quite similar to those obtained for the unadjusted data. It appears that there was a considerable migration in Direction 6 from the 10°N-108°W area, but it can be seen on the left side of the figure that this is based upon only three returns, coupled with relatively little fishing effort in the corresponding 5-degree area-month strata.

---

The migrations appear to have been much more directed for the fish released in 1960 than for those released in 1969. To investigate this further the distributions of fishing effort and returns were plotted by 1-degree areas and months. These data showed more clearly than do those in Table 2 that there was relatively little effort to the southeast of the Acapulco area, and particularly to the northwest of the Manzanillo area, during the months when most of the tagged fish were recaptured. Thus there are two possibilities, (1) that the movement was strongly directed, which caused the effort to be distributed the way it was, or (2) that the distribution of the effort caused the movement to appear to be strongly directed, even though such was not the case. The former explanation is the more likely if the distributions of the tagged fish during the periods after release were about the same as those of most of the fish in the same general area and the weather permitted the vessels to fish where the fish were most concentrated. The latter explanation is more likely if the distribution of the fishing effort was the result of the distributions of fish other than those of the groups to which the tagged fish belonged or the result of weather conditions which caused the vessels to avoid some of the areas to which the tagged fish migrated. In general, the weather is poor between Acapulco and Manzanillo from about July through October, between Costa Rica and Manzanillo from about August through October, and in the Gulf of Tehuantepec from about November through March. The fishing effort has always been relatively low in the Gulf of Tehuantepec. The results of the 1969 experiments indicate that the movement was probably more nearly random for the fish of the 1960 experiments than the data indicate. This modifies the conclusion of Fink and Bayliff (1970), who on the basis of the results obtained with the Jones method with unadjusted data stated that the movements of the fish released in 1960 were strongly directed.

There is no provision in these diagrams for indicating the times at liberty or dates of recapture, and this could be done only by substituting several diagrams for each of the present ones.

The directions and average distances of movement by month of recapture, as calculated from the unadjusted return data, are shown on the left sides of Figure 6. The data for fish moving in different directions are shown in different panels within each graph. The points for consecutive months are joined by solid lines and those for non-consecutive months by dashed lines. The numbers near the points indicate the numbers of fish in each month. The values of  $v_{ik}$  appear in all the panels, and the values of  $a_{..}^2$  in the bottom panels. These diagrams are useful for detecting seasonal migrations. For instance, if the fish were at the southern end of their range in January and at the northern end of it in July, and they were tagged in January,  $\bar{r}_{j.}$  would increase for about 6 months and then decrease. Also, there would be many fish in the panels for Directions 0 and 7 and few in the panels for Directions 3 and 4 during February-June, whereas the

---

reverse would be true during August-December. Seasonal migrations are not apparent, the distances from the locations of release tending only to stay constant or increase with time. The velocities in each direction were roughly the same for all the experiments, but the velocities in the bottom panels for the 1960 experiments were greater because most of the fish which were recaptured had moved in the same directions.

Diagrams equivalent to those on the left sides of Figure 6 are shown on the right sides of that figure for the adjusted return data. These diagrams appear quite similar to the corresponding ones for the unadjusted data, the principal differences being in the numbers of fish. One notable example appears in the Direction-6 panel for the fish released in the Acapulco area in 1969; in this case a single return for October was adjusted to 34 returns because the effort in the 5-degree area-month stratum of recapture was low. The differences in the directions of movement for the unadjusted and adjusted returns for February from the fish released in the Acapulco area in 1969 are of interest. For the unadjusted data, 7 of the recaptures were made to the southeast (Directions 2 and 3) and 36 to the northwest (Directions 6 and 7); for the adjusted data 24 of the recaptures were made to the southeast and 12 to the northwest. This indicates that the fish released in the Acapulco area in 1969 tended to be distributed more to the southeast than to the northwest (*i.e.* in or near the Manzanillo area) in February 1970.

The mean square dispersion coefficients by months of recapture, as calculated from the unadjusted return data, are shown on the left side of Figure 7. The points are plotted only for the months which include at least five returns. The numbers near the points indicate the numbers of returns in each month. The  $a_{j,2}$  values are higher for the experiments initiated in 1969 because the effort was spread over a much greater area in 1970, which resulted in the recaptures also being spread over a much greater area. The trends are quite similar to those for the averages of the squared distances of movement (Figure 4). However, there is no tendency for the  $a_{j,2}$  values to increase with time, except possibly for the fish released in the Acapulco area in 1969. The  $a_{j,2}$  values for February are low for the fish released in the Manzanillo area in 1969 and high for the fish released in the Acapulco and 10°N-100°W areas in that year, this probably being due to the large amount of fishing effort exerted in the Manzanillo area and the low amount exerted in the Acapulco area in February 1970.

Diagrams equivalent to those on the left side of Figure 7 are shown on the right side of that figure for the adjusted return data. The results are quite similar to those obtained for the unadjusted data, the principal difference being that there does not appear to be an increasing trend for the fish released in the Acapulco area in 1969. For the reason given in the discussion of the Skellam method, it is logical to assume that the high effort

---

exerted in the Manzanillo area during 1970 was due at least partly to an influx of fish from the Acapulco and 10°N-100°W areas.

#### Variance-covariance method

With this method Cartesian coordinates, instead of the polar coordinates used in the Jones method, are employed. Each fish is assumed to have been released at point (0,0), and the location of recapture is expressed as distances east or west ( $X$ ) and north or south ( $Y$ ) of that point. The variance-covariance matrix for the recaptures in month  $j$  from a group of releases is calculated by

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j)^2 / n_j - 1 & \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j) (Y_j - \bar{Y}_j) / n_j - 1 \\ \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j) (Y_j - \bar{Y}_j) / n_j - 1 & \sum_{i=1}^{n_j} (Y_j - \bar{Y}_j)^2 / n_j - 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (13)$$

where

$n_j$  = number of returns during month  $j$ ,

$$\bar{X}_j = \sum_{i=1}^{n_j} X_j / n_j, \text{ and}$$

$$\bar{Y}_j = \sum_{i=1}^{n_j} Y_j / n_j.$$

The determinant of the variance-covariance is calculated by

$$(a_{11} \times a_{22}) - (a_{12} \times a_{21}) \quad (14)$$

and the coefficient of correlation by

$$[(a_{12} \times a_{21}) / (a_{11} \times a_{22})]^{1/2}. \quad (15)$$

It is apparent that if the movement of the group of fish was approximately at a 45-degree angle to the abscissa and ordinate, *viz* northeast, southeast, southwest, or northwest (or in two opposite directions), the correlation coefficient would be more likely to be significant than if it was approximately along one of the axes, *viz* north and/or south or east and/or west. To remedy this bias the axes were rotated, employing a method devised by Dr. Robert C. Francis. The transformed abscissa and ordinate were those axes through the origin which were at 45-degree angles to the direction of maximum variability in the original Cartesian coordinate system. That direction was determined by computing the first eigenvector of the original variance-covariance matrix. This procedure maximizes the correlation coefficients.

The adjusted variance-covariance matrix is calculated by

$$\begin{bmatrix} \left( \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2 / n_j - 1 \right) / \sum_i (1/f_{ij}) & \left( \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij}) (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij}) / n_j - 1 \right) / \sum_i (1/f_{ij}) \\ \left( \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij}) (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij}) / n_j - 1 \right) / \sum_i (1/f_{ij}) & \left( \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij})^2 / n_j - 1 \right) / \sum_i (1/f_{ij}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

where

$$\bar{X}_{ij} = \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (X_{ij}/f_{ij}) / \sum_i (1/f_{ij}) \quad \text{and}$$

$$\bar{Y}_{ij} = \sum_i \frac{n_j}{f_{ij}} (Y_{ij}/f_{ij}) / \sum_i (1/f_{ij}) .$$

The determinant of the variance-covariance matrix and the correlation coefficient are obviously closely related since the first is obtained by subtracting a smaller number from a larger one and the second is obtained by dividing the same smaller number by the same larger one and then taking the square root of the quotient. The determinant of the variance-covariance matrix is an index of the dispersion of the fish; when the distances of the fish from one another are large the determinant is large. Thus it is very similar to  $a_j$  of the Jones method. The correlation coefficient approaches 0 when the movement is random and approaches 1 when most of the movement is in only one direction or in two opposite directions.

The variance-covariance method is based on probabilities, so when the data are adjusted this invalidates the estimates of the determinant of the variance-covariance matrix and the correlation coefficient. Nevertheless, these estimates are shown in the figures for comparison with those obtained with the unadjusted data.

The average locations of recapture by months of recapture, as calculated from the unadjusted return data, are shown on the left sides of Figure 8. The points are plotted only for the months which include at least five returns. The numbers near the points indicate the months of recapture (1 = January, 2 = February, etc.). Again it is apparent that the fish re-

leased in the Acapulco area in 1960 were recaptured mostly to the northwest and that those released in the Manzanillo area in that year were recaptured mostly to the southeast. It is also again apparent that the fish released in the Manzanillo and Acapulco areas in 1969 were recaptured mostly to the southeast, while those released offshore were recaptured mostly to the east and northeast. However, the fish released in the Acapulco area in 1969 appeared mostly to the northwest of the area of release in February 1970, coincident with the large amount of fishing effort in the Manzanillo area during that month. Likewise, the fish released in the  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$  and  $10^{\circ}\text{N}$ - $108^{\circ}\text{W}$  areas in 1969 appeared more to the north of the area of release in February than in the other months of 1970.

Diagrams equivalent to those on the left sides of Figure 8 are shown on the right sides of that figure for the adjusted return data. The diagrams on the left and right sides of this figure differ more from one another than do those on the left and right sides of any other figure. It appears that the fish released in the Acapulco area in 1969 did not migrate in large numbers to the Manzanillo area near the beginning of February 1970; thus the total catch was large in that area during that month because the fish which were already there became more vulnerable to the fishery or because there was an ingress of fish of groups other than those to which the fish released in the Acapulco area in 1969 belonged. The same applies to the fish released at  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$  in 1969; their movement near the beginning of February 1970 was primarily to the east.

The unadjusted and adjusted determinants of the variance-covariance matrices by months of recapture are shown on the left and right sides of Figure 9. The results are similar to those shown in Figures 4 and 7, the principal difference being that the differences among the six groups of releases are greater for the ranges of the determinants than for the ranges of the parameters in the other two figures. The results were expected to be especially similar to those in Figure 7, but they indicate an increasing trend with time for the fish released in the Acapulco area in 1969, which is more similar to the trend in Figure 4 than to that in Figure 7.

The unadjusted and adjusted correlation coefficients by months of recapture are shown on the left and right sides of Figure 10. The results are similar to those shown in Figures 4, 7, and 9, particularly Figure 7. Only two unadjusted correlation coefficients for months with more than six returns were not significant at the 5-percent level; these were the correlation coefficients for the Manzanillo area for January 1970 (d. f. = 17,  $r = 0.217$ ) and the  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$  area for January 1970 (d. f. = 27,  $r = 0.356$ ). For both of these the adjusted correlation coefficients were significant, however ( $r = 0.669$ ,  $P < 0.01$  for the former and  $r = 0.649$ ,  $P < 0.01$  for the latter). For the adjusted data there was only one non-significant correlation coefficient for a month with more than six returns; in this case it was for the Acapulco area for March 1970 (d. f. = 67,  $r = 0.217$ ).

---

**Lengths of the fish and effect of length on direction of movement**

It is desirable to compare the distributions of the lengths at the times of release of the tagged fish which were returned to the length-frequency distributions of fish caught in the same areas at the same times to see if the former were representative of the latter. Also, it is desirable to compare the directions of movement of fish of different lengths.

Data on the length-frequency distributions of fish in the catches are obtained routinely from measurements of samples of 50 fish shortly after they are unloaded from the vessels at the canneries (Hennemuth, 1957). The pertinent data are shown in Figure 11. The length-frequency data for the Acapulco area in 1960 consist of nine samples of fish caught by baitboats in that area in March and April 1960. Those for the Manzanillo area in 1960 consist of one sample of fish caught by a baitboat in that area in August 1960; these data are not shown in the figure because the tagged fish released in August 1960 were not measured. The length-frequency data for 1969 consist of one sample of fish landed by the vessel which was used for tagging. (No other samples were obtained because, due to the regulation mentioned previously, there were no other vessels fishing in the area during the last quarter of 1969.) This sample included a mixture of fish caught in Acapulco and 10°N-108°W areas. It was biased because fish were removed from those caught for tagging and, as will be shown below, equal portions of fish of all sizes caught were not selected for this purpose.

Data on the distributions of the lengths at the times of release of the tagged fish which were returned are also shown in Figure 11.

The catch in the Acapulco area in 1960 appears to have consisted of three groups of fish, while almost all of the tagged fish which were returned appear to have belonged to the middle group. Thus the data presented in this report may be representative only of the migrations of the fish of the middle group.

The fish tagged in the Manzanillo area in 1960 were probably about 50-60 cm long (Fink and Bayliff, 1970: 57). The 50 fish of the corresponding sample of the catch were mostly 54 to 62 cm long, so the tagged fish were probably fairly representative of those caught in that area during that month.

The biased sample of the catch in the Acapulco and 10°N-108°W areas in 1969 indicates two groups of fish, one including fish less than 100 cm long and the other including fish more than 110 cm long. The great majority of the tagged fish which were returned were less than 100 cm long at the times of release. Thus in this case the data presented in this report may be representative only of the migrations of the smaller fish.

The fish of the largest group, those released in the Acapulco area in

---

1969, were selected for comparison of the directions of movement of fish of different lengths. A graph of the frequencies of the lengths of the tagged fish released in this area was prepared, and on the basis of this the fish which were returned were divided into the following categories: small 42-71 cm (62 fish); medium, 72-93 cm (294 fish); large, 94-126 cm (18 fish); unknown (5 fish). A preliminary examination of the data indicated that the small fish tended to migrate more to the northwest than to the southeast, whereas the reverse was true for the medium and large fish. It was observed that the portions of small and medium fish differed among sets made in different locations in the Acapulco area, so the differences in direction of movement might be due to the differences in location of release rather than to differences in length of the fish. To examine this the data were divided into five locations of release, three directions of movement, southeast (Directions 2 and 3), southwest (Directions 4 and 5), and northwest (Directions 6 and 7), and two lengths, small and medium. Fish had been released in seven 1-degree areas, but the data for two of them were combined with those of the nearest two 1-degree areas to avoid empty cells. The data for fish which moved in Directions 0 and 1 and those for large fish were not considered because there were so few in those categories. The results of *G* tests (Sokal and Rohlf, 1969: 601-607) are as follows:

Hypothesis	Degrees of freedom	<i>G</i>	Probability
Location $\times$ length independence	4	34.046	< 0.01
Location $\times$ direction independence	8	33.056	< 0.01
Length $\times$ direction independence	2	20.936	< 0.01
Location $\times$ length $\times$ direction interaction	8	2.798	> 0.05
Total	22	91.286	

The non-significance of the interaction indicates either that the difference in directions of movement of the small and medium fish was caused by differences in the portions of small and medium fish released in the different locations or that the difference in directions of movement of the fish released in the different locations was caused by differences in the portions of small and medium fish in those locations. Examination of the data reveals that the latter is the case; thus the small fish tended to migrate more to the northwest and the medium fish more to the southeast.

A Chi-square contingency test indicated no difference in the directions of movement for the medium and large fish ( $\chi^2 = 0.533$ , d.f. = 2,  $P > 0.05$ ). However, the number of large fish returned was limited, and most of these were smaller than the large fish of the sample (Figure 11). If equal portions of the catch of fish of all sizes had been tagged and returned there would probably have been more movement to the southeast and less to the northwest, but this is not certain because so few tagged fish larger than 100 cm were released.



### SUMMARY AND CONCLUSIONS

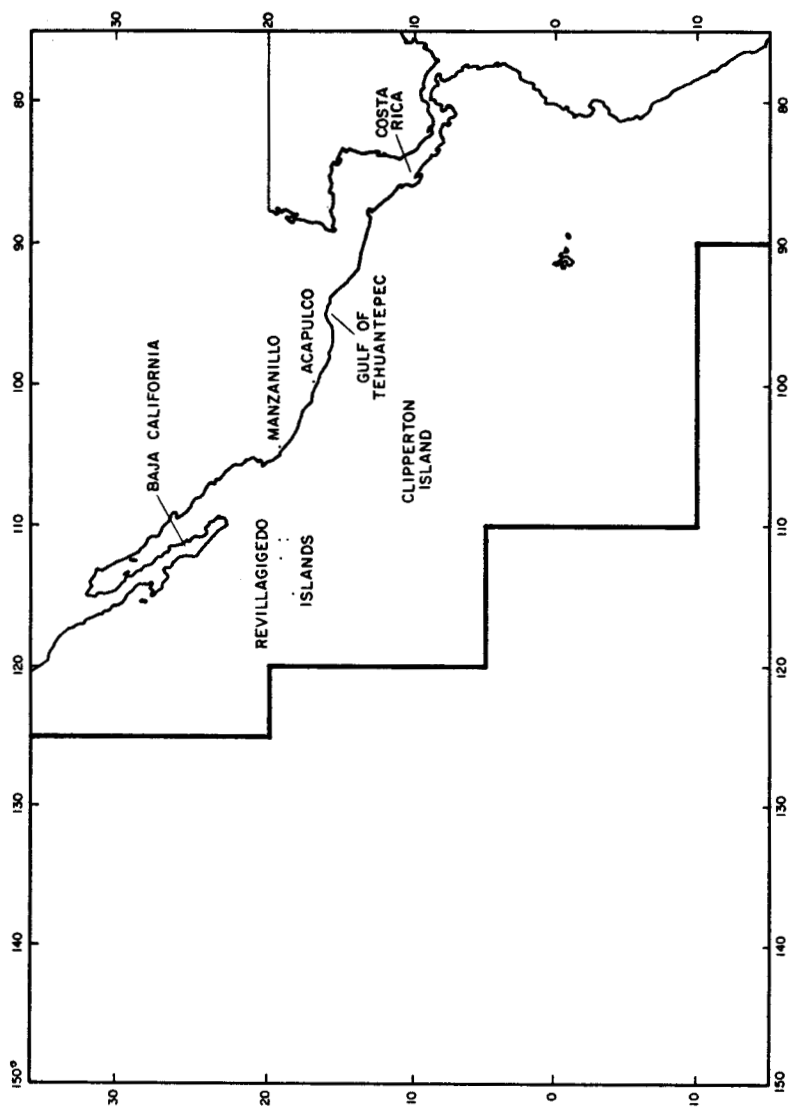
The map method, the Jones method, and the variance-covariance method are all useful for studying the migrations of yellowfin, and each presents information which is complementary to that presented by the others. The Skellam method, as used in this report, is less useful.

The movements of the tagged fish released in 1960 appeared to have been strongly directed, but it was shown that this was probably caused principally by the distribution of the fishing effort. The effort was much more widely distributed in 1970, and the movement of the fish appeared to have been much less directed. The correlation coefficients derived from the variance-covariance method showed that it was by no means random, however.

One of the most interesting questions is whether or not a major portion of the tagged fish released in the Acapulco and 10°N-100°W areas in 1969 migrated northwest to the Manzanillo area near the beginning of February 1970. If the data had been analyzed only by the Skellam method it would have been concluded that such was the case. However, employment of the map, Jones, and variance-covariance methods showed that when the data are adjusted the movement to the Manzanillo area was relatively unimportant. An analysis of the movement by length indicated that the small fish tended to move to the northwest and the medium and large fish tended to move to the southeast.

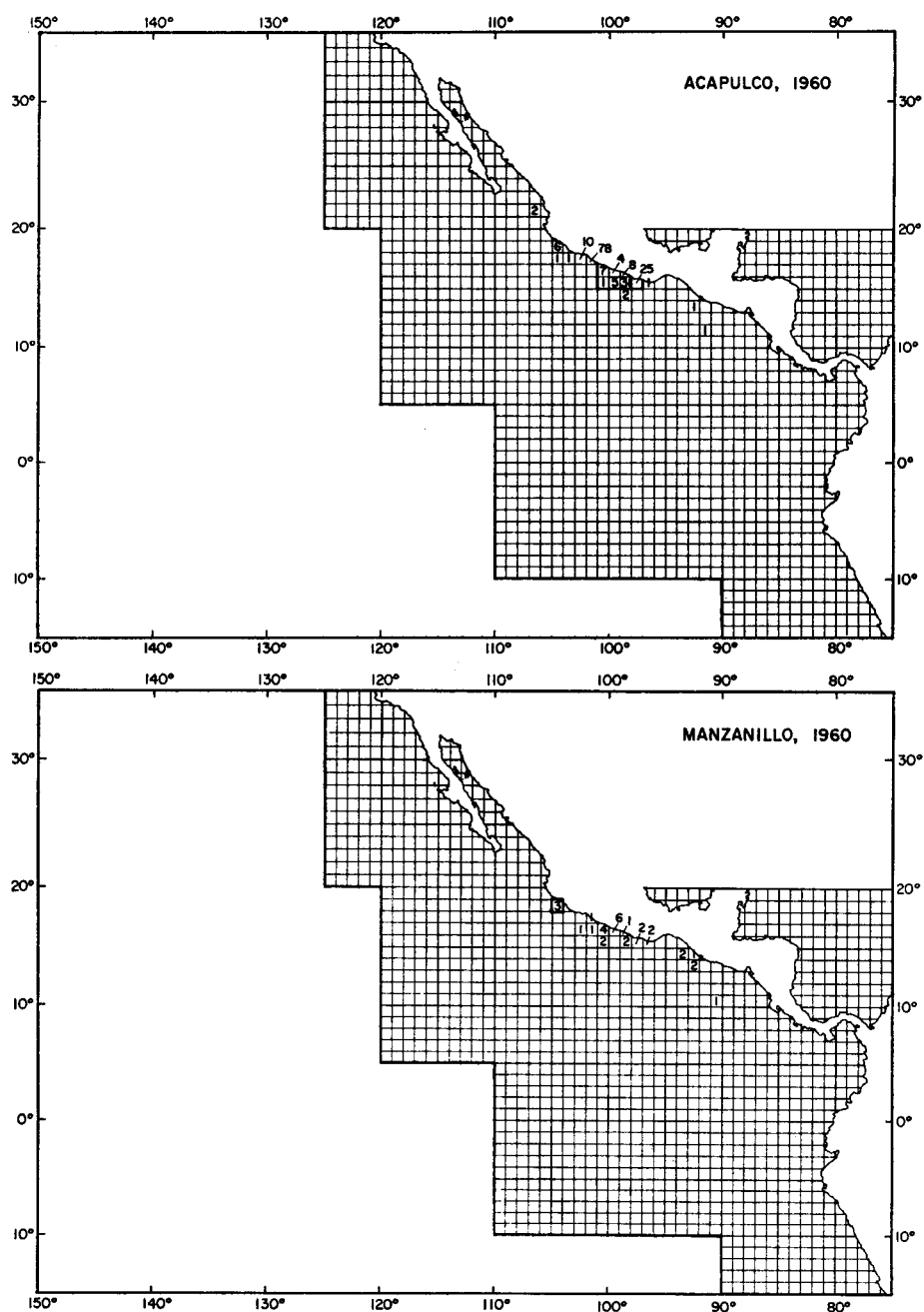
It would be desirable to compare data on tagged fish released in the same areas during the same months in other years to determine the extent of variation in the migrations in different years. Such experiments were initiated on a smaller scale in 1970, 1971, 1972, and 1973, and such comparisons will eventually be made. It would also be desirable to study the migrations of tagged fish released in other areas, particularly off Central America and outside the CYRA. Tagged fish were released in these areas in 1970 and 1971, but on a much smaller scale than necessary. The experiments off Central America were initiated during April, May, and June, but they should also be initiated during October, November, or December to take advantage of the peak period of fishing in that area during January through May. Finally, it would be desirable to tag and release more large fish. Unfortunately, however, these fish are so difficult to handle that this would be almost impossible to do.

---



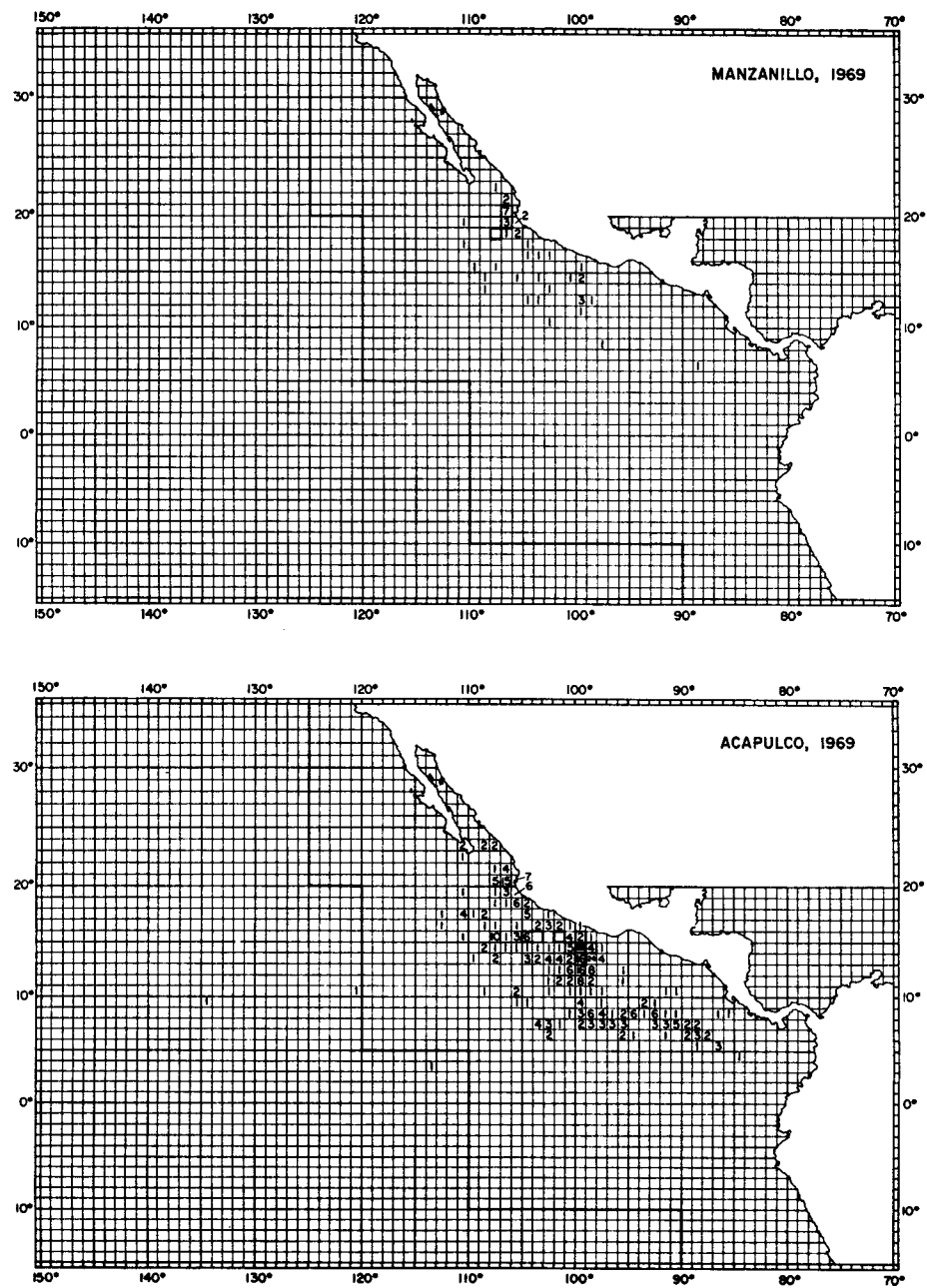
**FIGURE 1.** Map of the eastern Pacific Ocean, showing the areas mentioned in the text. The heavy line is the boundary of the Commission's yellowfin regulatory area.

**FIGURA 1.** Mapa del Océano Pacífico oriental, en el que se indican las áreas mencionadas en el texto. La línea gruesa es el límite del área reglamentaria de la Comisión de aleta amarilla.

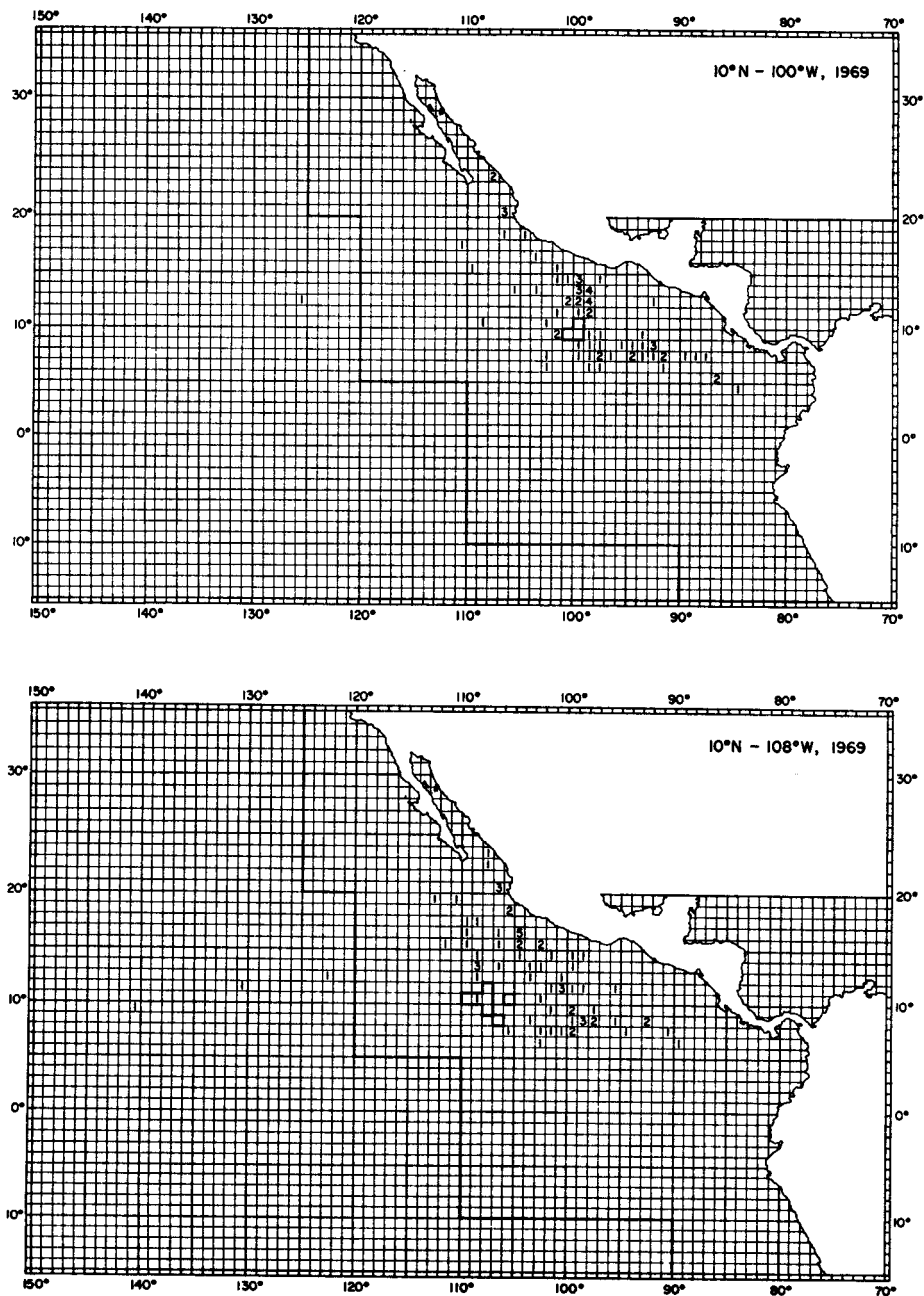


**FIGURE 2.** Areas of release (areas delineated by heavy lines) and areas of recapture (areas with numerals) for fish released off the southern coast of Mexico in 1960 and 1969.

**FIGURA 2.** Áreas de liberación (áreas delineadas por líneas gruesas) y áreas de recaptura (áreas con cifras) de peces liberados frente a la costa meridional de México en 1960 y 1969.

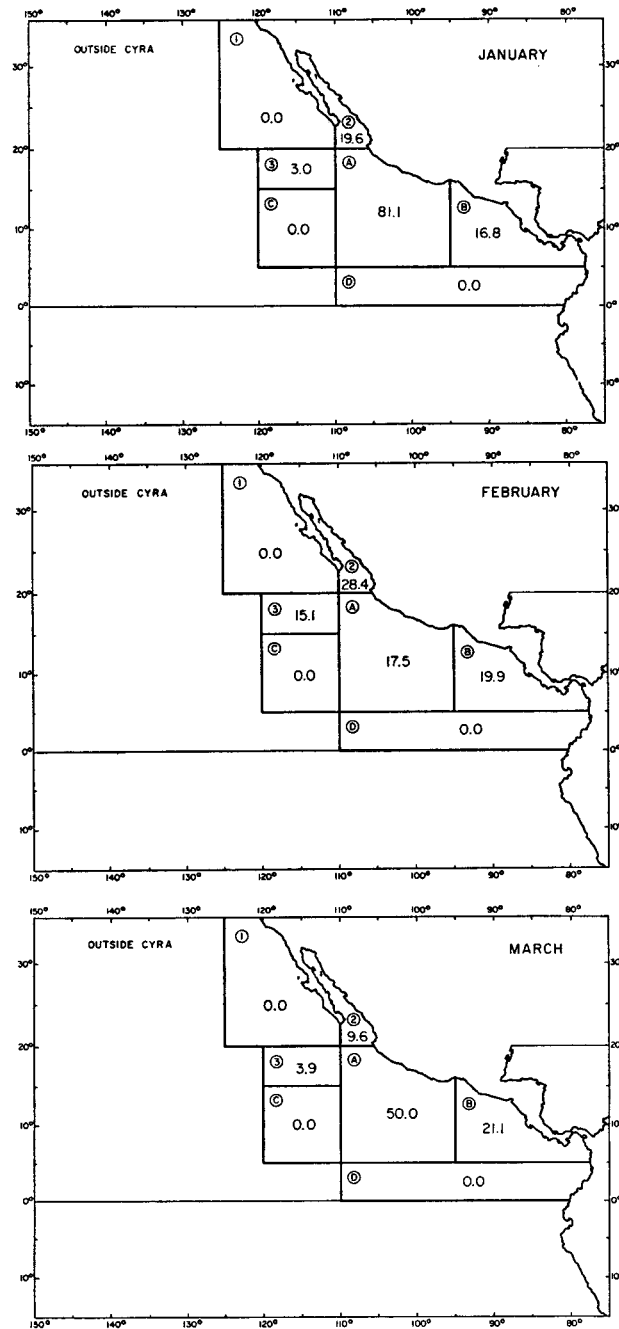


**FIGURE 2.** (Continued)  
**FIGURA 2.** (Continuación)



**FIGURE 2.** (Continued)  
**FIGURA 2.** (Continuación)

## BAYLIFF AND ROTHSCHILD

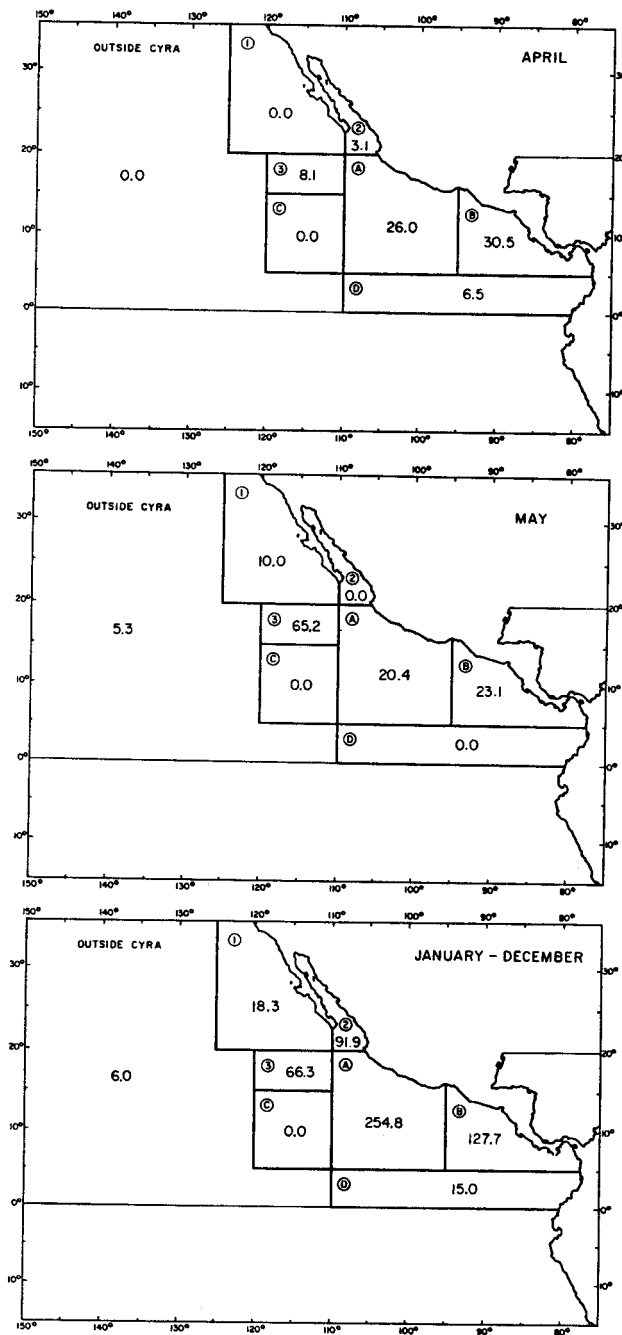


**FIGURE 3.** Adjusted tag returns during January-June 1970 of fish released off the southern Mexico coast during October-November 1969.

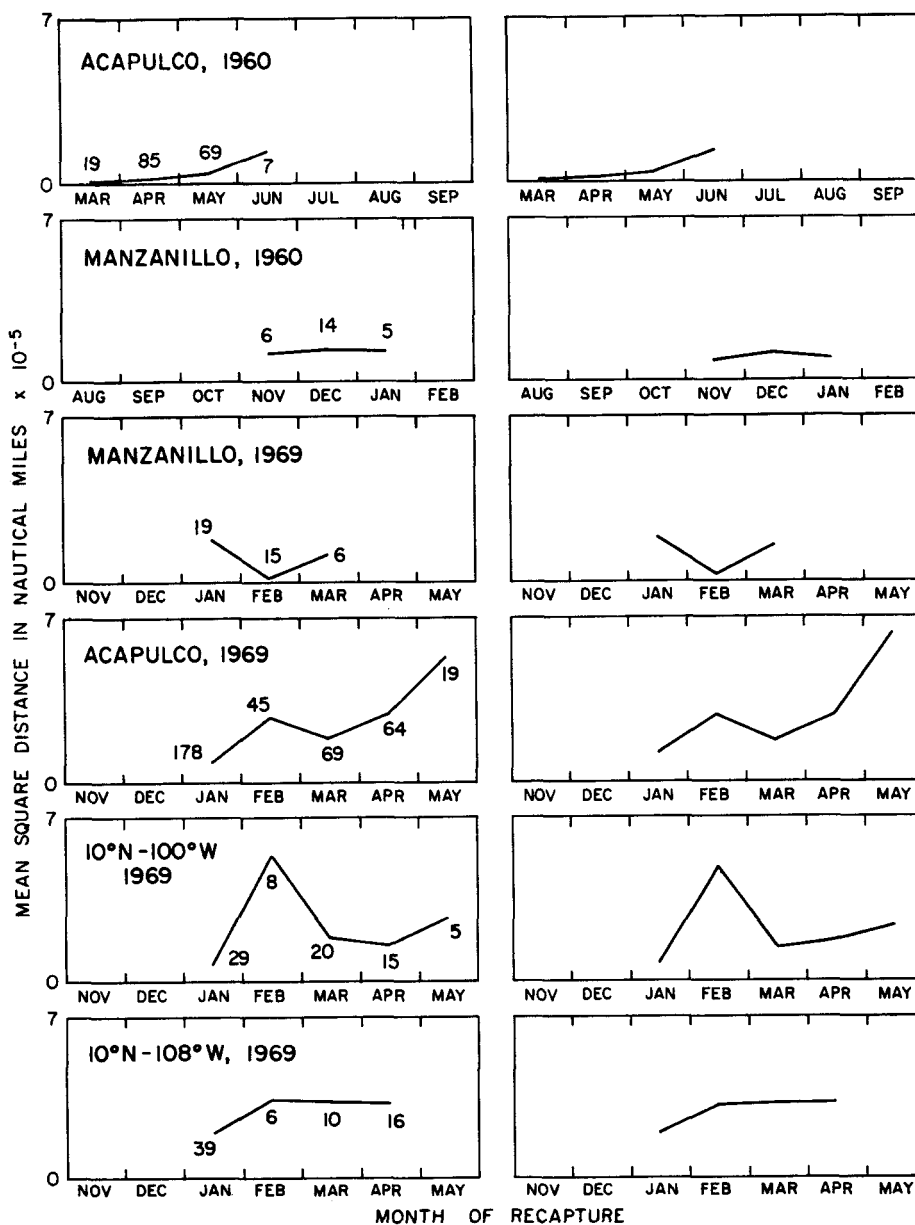
**FIGURA 3.** Devoluciones ajustadas de marcas durante enero-junio 1970 de peces liberados frente a la costa meridional de México durante octubre-noviembre 1969.

# MIGRATIONS OF YELLOWFIN

25



**FIGURE 3.** (Continued)  
**FIGURA 3.** (Continuación)



**FIGURE 4.** Unadjusted (left side of figure) and adjusted (right side of figure) averages of the squared distances of movement in nautical miles, by months of recapture.

**FIGURA 4.** Promedios sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustados (margen derecho de la figura) de las distancias cuadradas de desplazamiento en millas náuticas, por meses de recaptura.



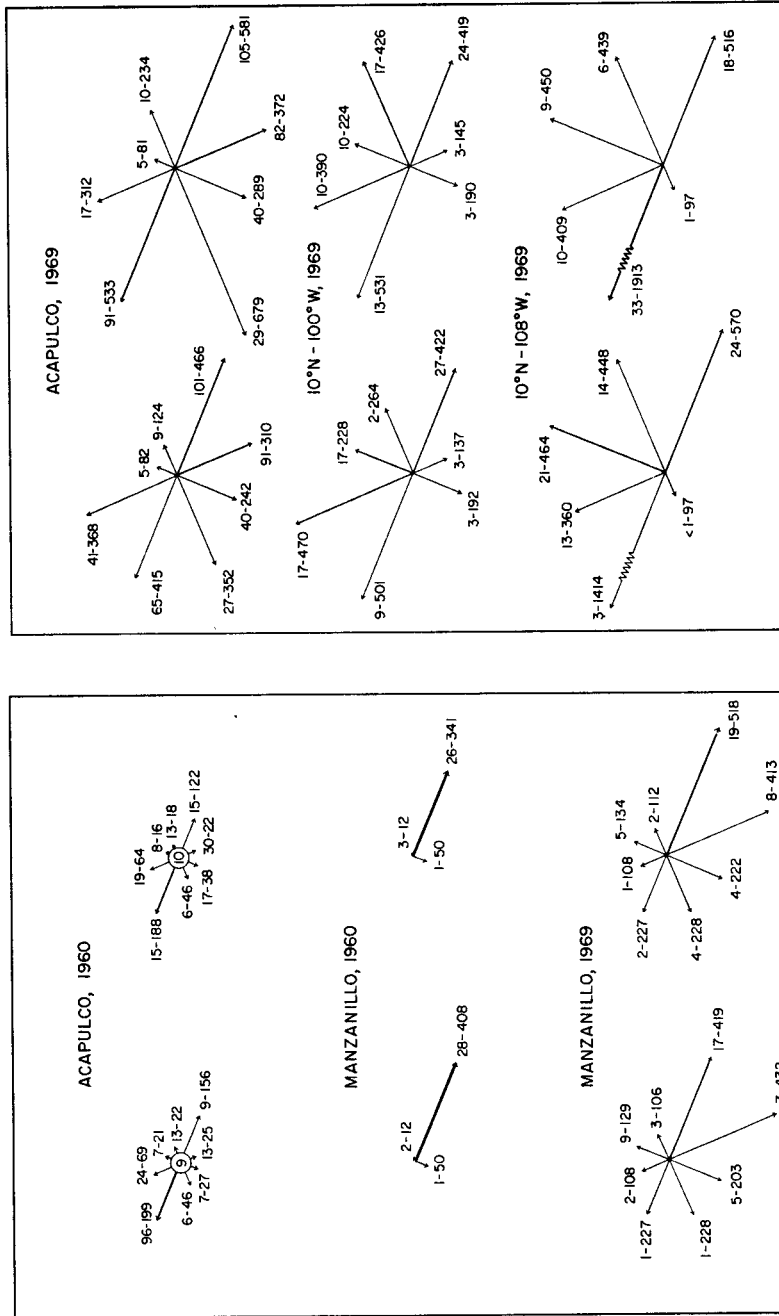
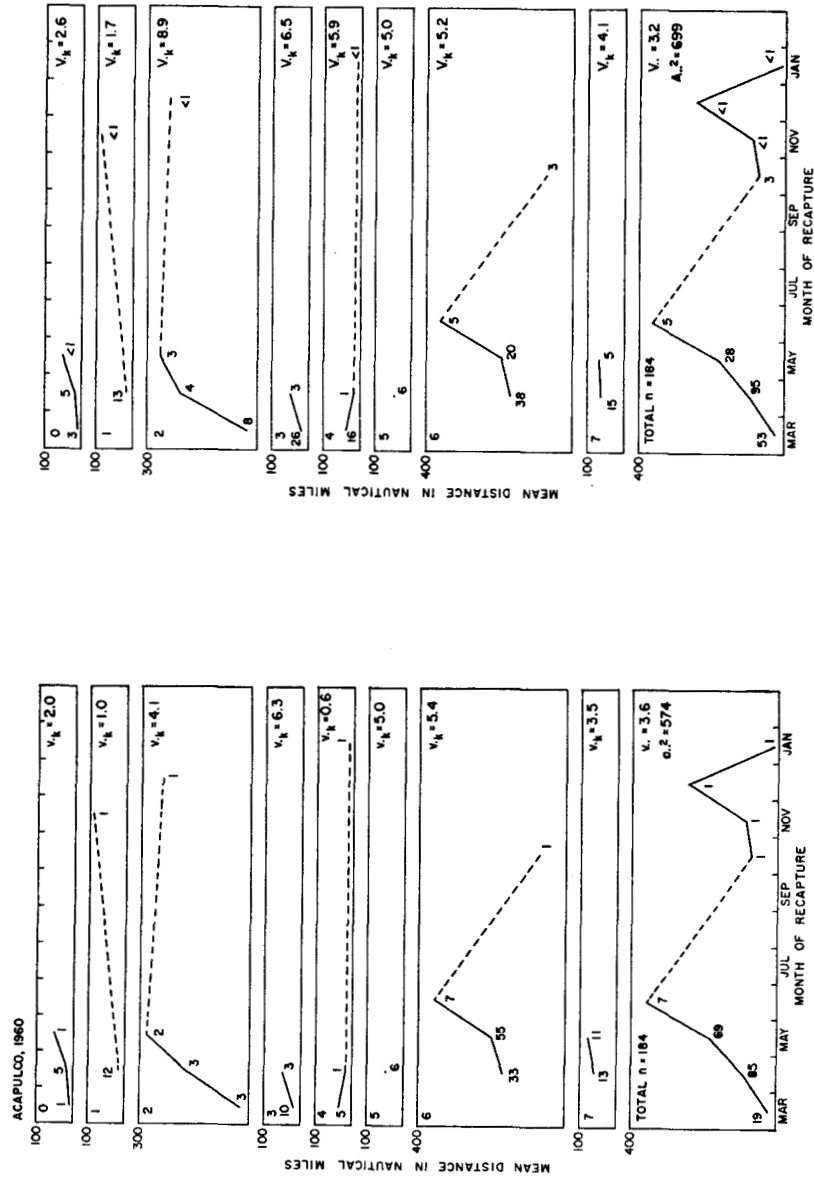


FIGURE 5. Unadjusted (left sides of figure) and adjusted (right sides of figure) directions and mean distances of movement. The diagrams are explained in the text.

FIGURA 5. Direcciones y promedios de las distancias de desplazamiento sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustadas (margen derecho de la figura). Los diagramas se encuentran explicados en el texto.



**FIGURE 6.** Unadjusted (left sides of figure) and adjusted (right sides of figure) dispersion, by months of recapture. The numbers in the upper left corners of the panels indicate the directions of movement.

**FIGURA 6.** Dispersión sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustada (margen derecho de la figura), por meses de recaptura. Las cifras en la esquina superior izquierda de los recuadros indican la dirección del desplazamiento.

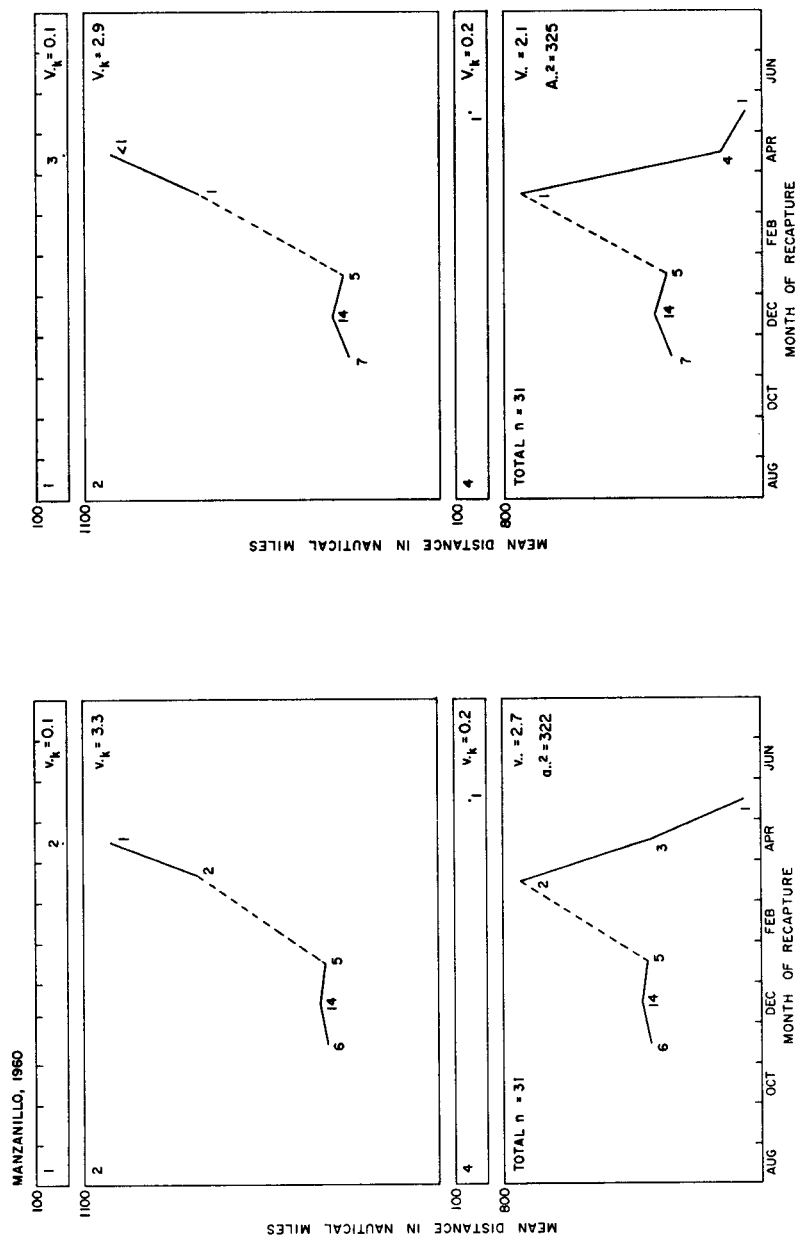
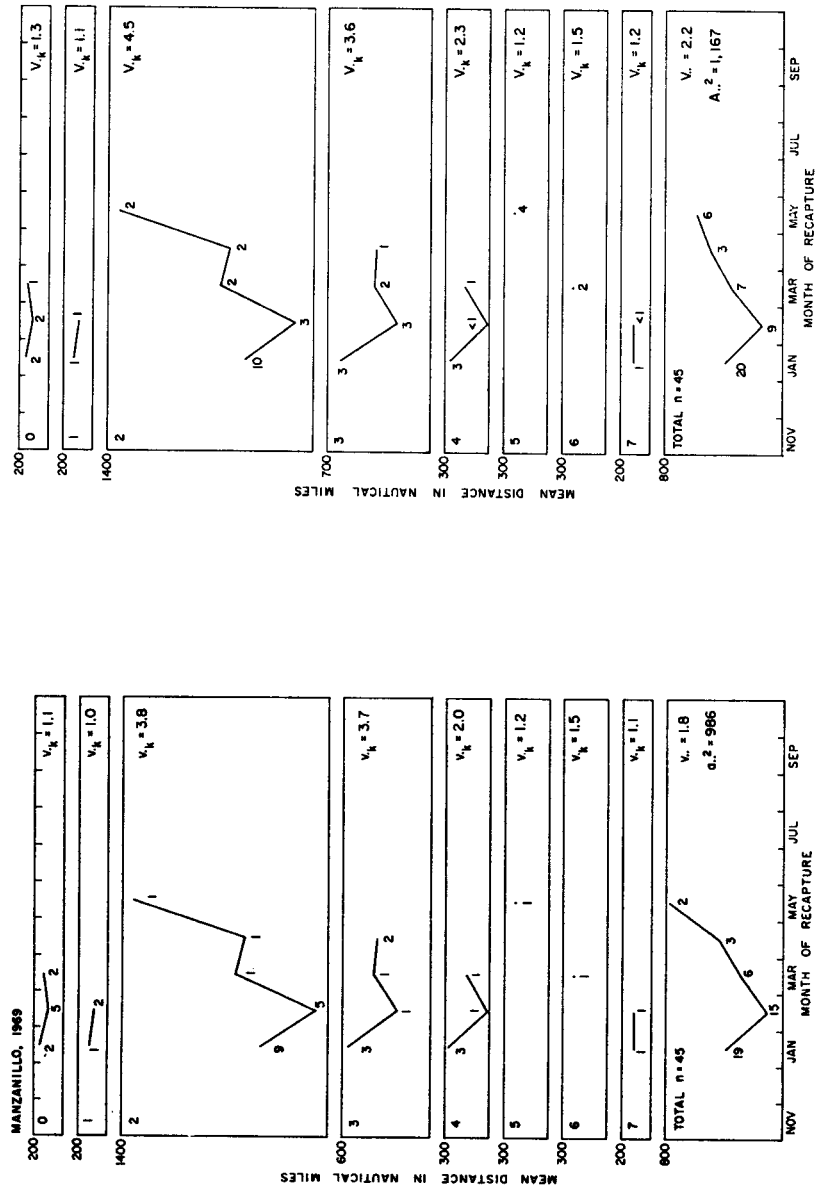


FIGURE 6. (Continued)

FIGURA 6. (Continuación)



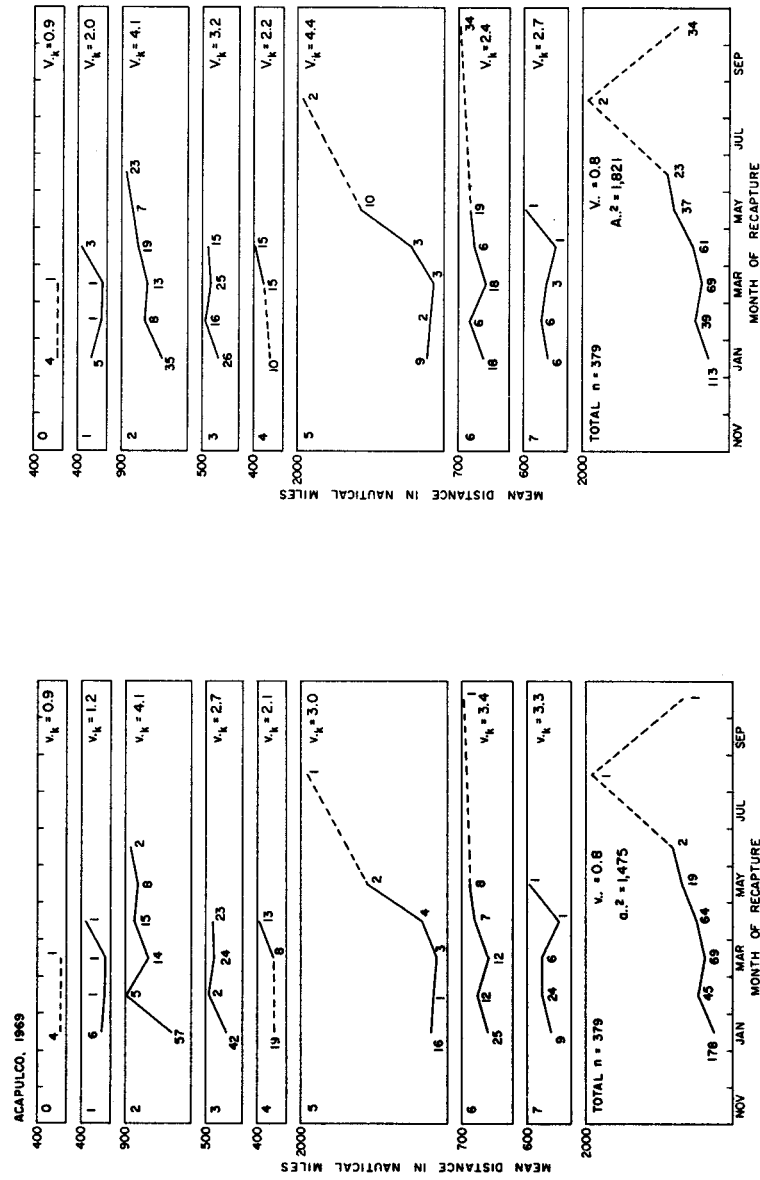


FIGURE 6. (Continued)

FIGURA 6. (Continuación)

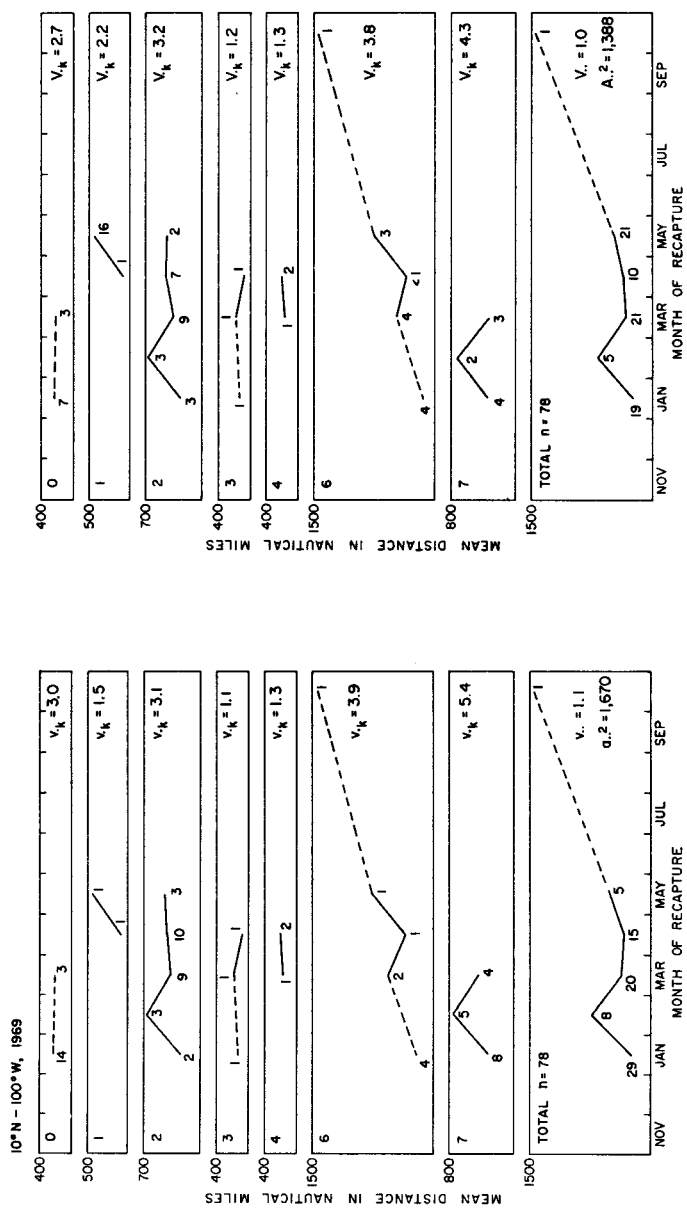


FIGURE 6. (Continued)

FIGURA 6. (Continuación)

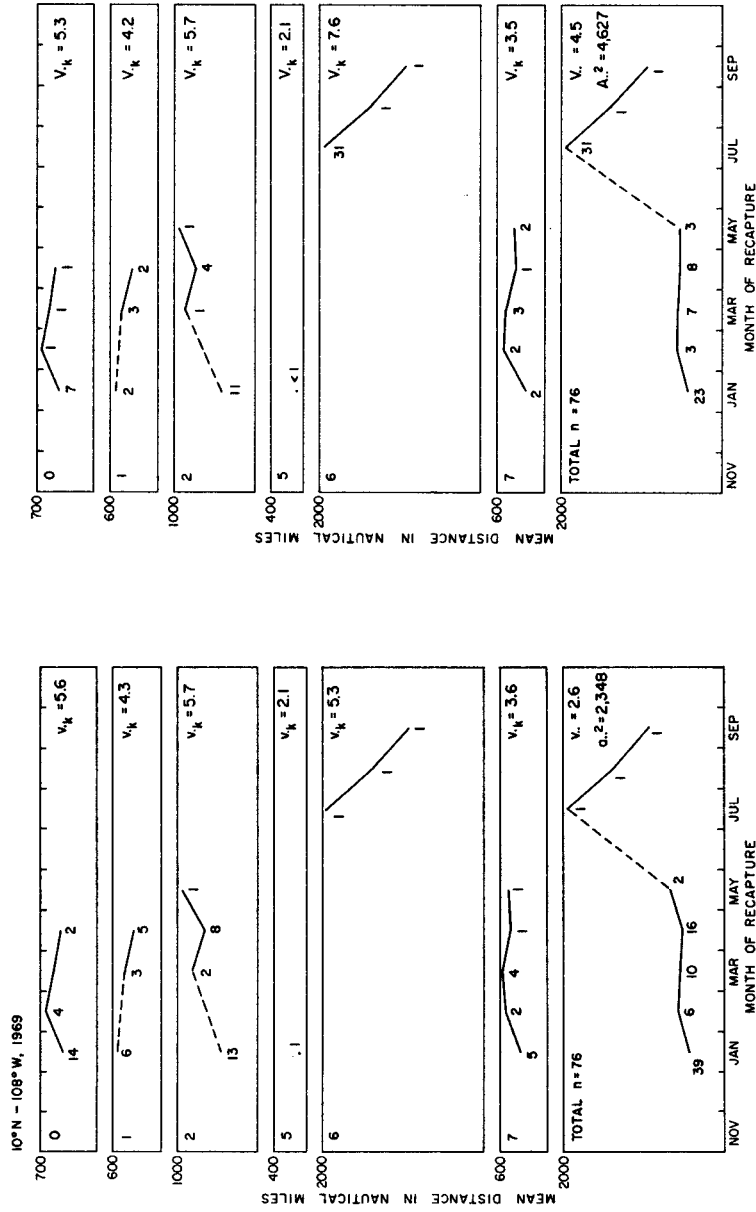
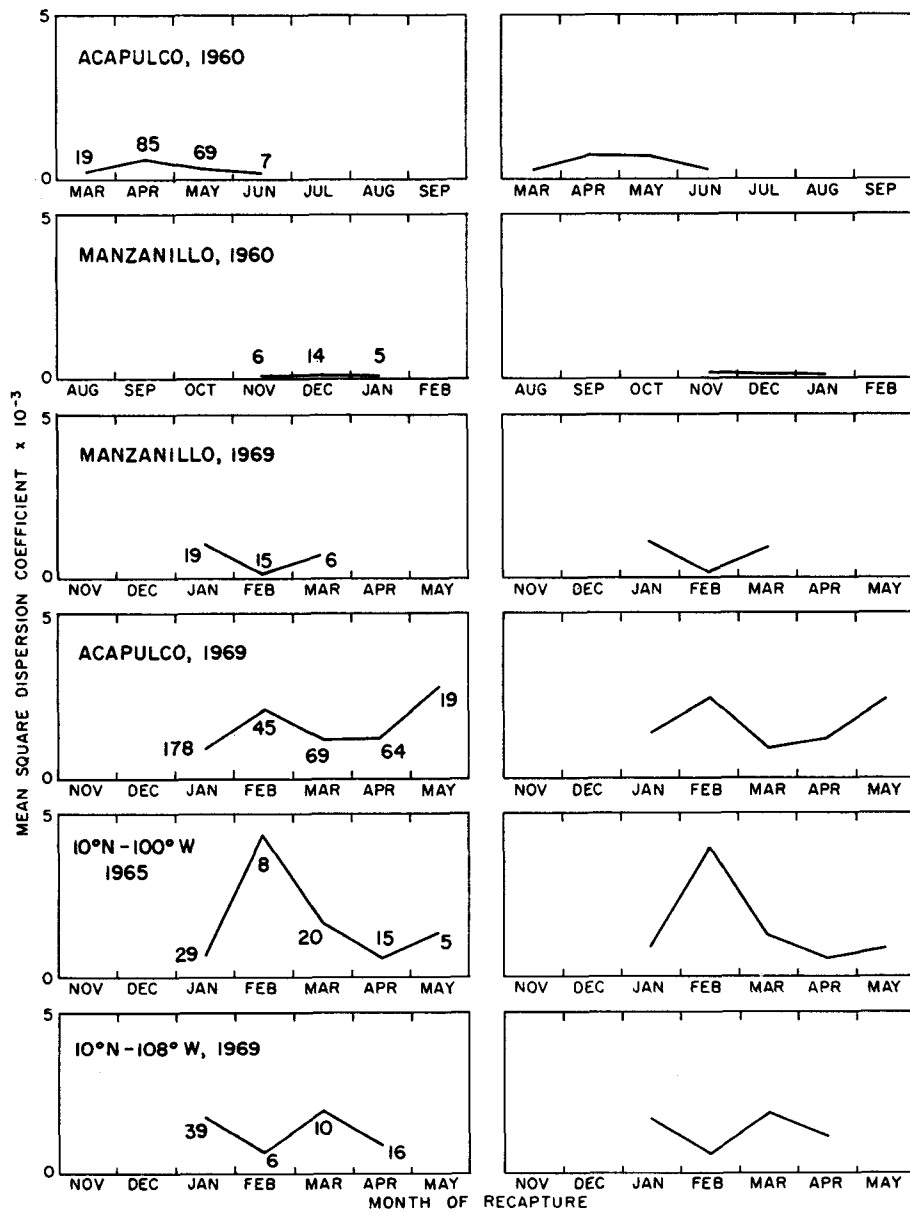


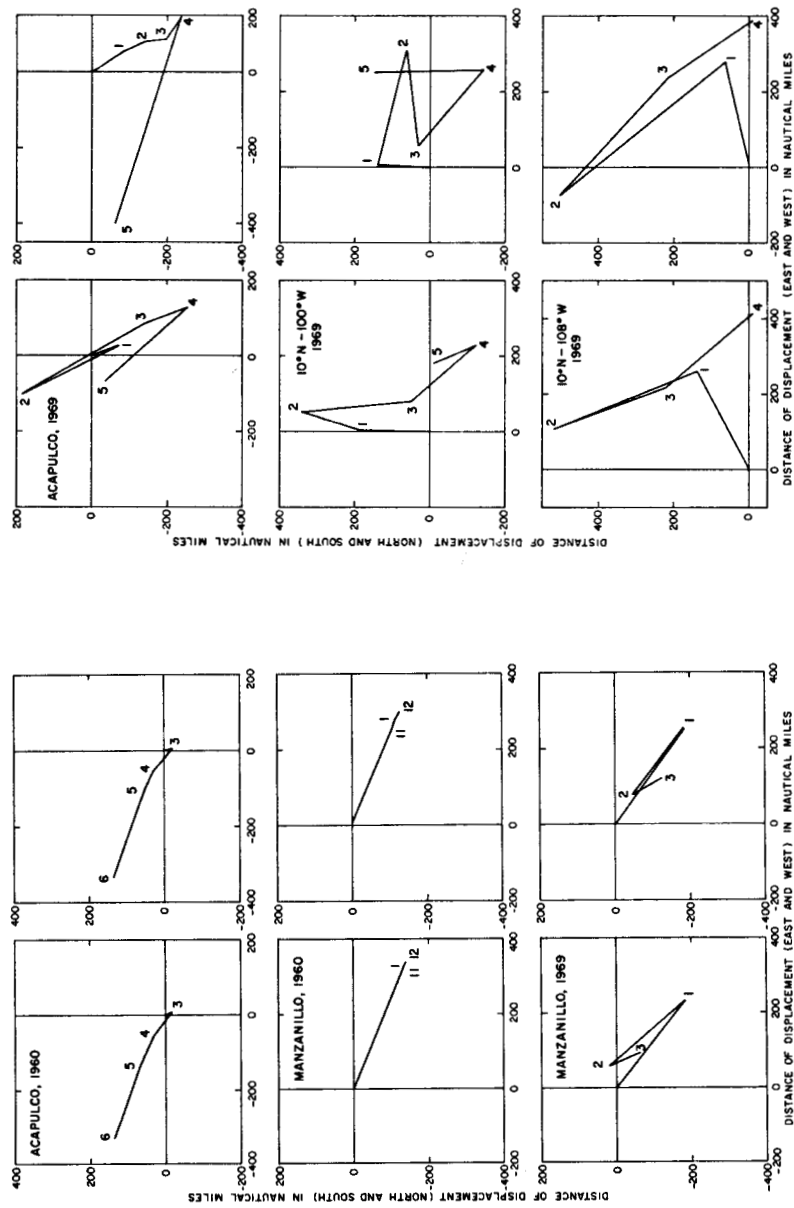
FIGURE 6. (Continued)  
FIGURA 6. (Continuación)



**FIGURE 7.** Unadjusted (left side of figure) and adjusted (right side of figure) mean square dispersion coefficients, by months of recapture.

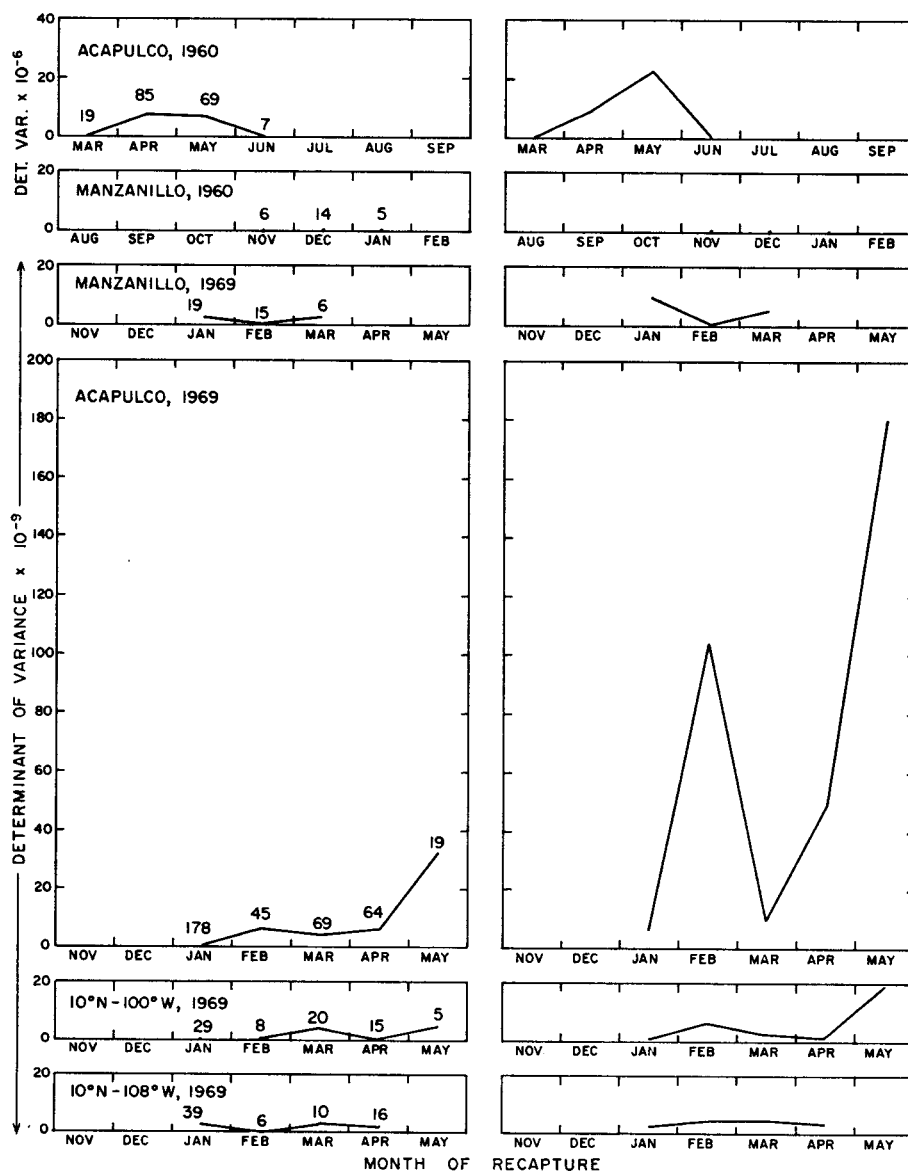
**FIGURA 7.** Medias cuadradas del coeficiente de dispersión sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustada (margen derecho de la figura), por meses de recaptura.





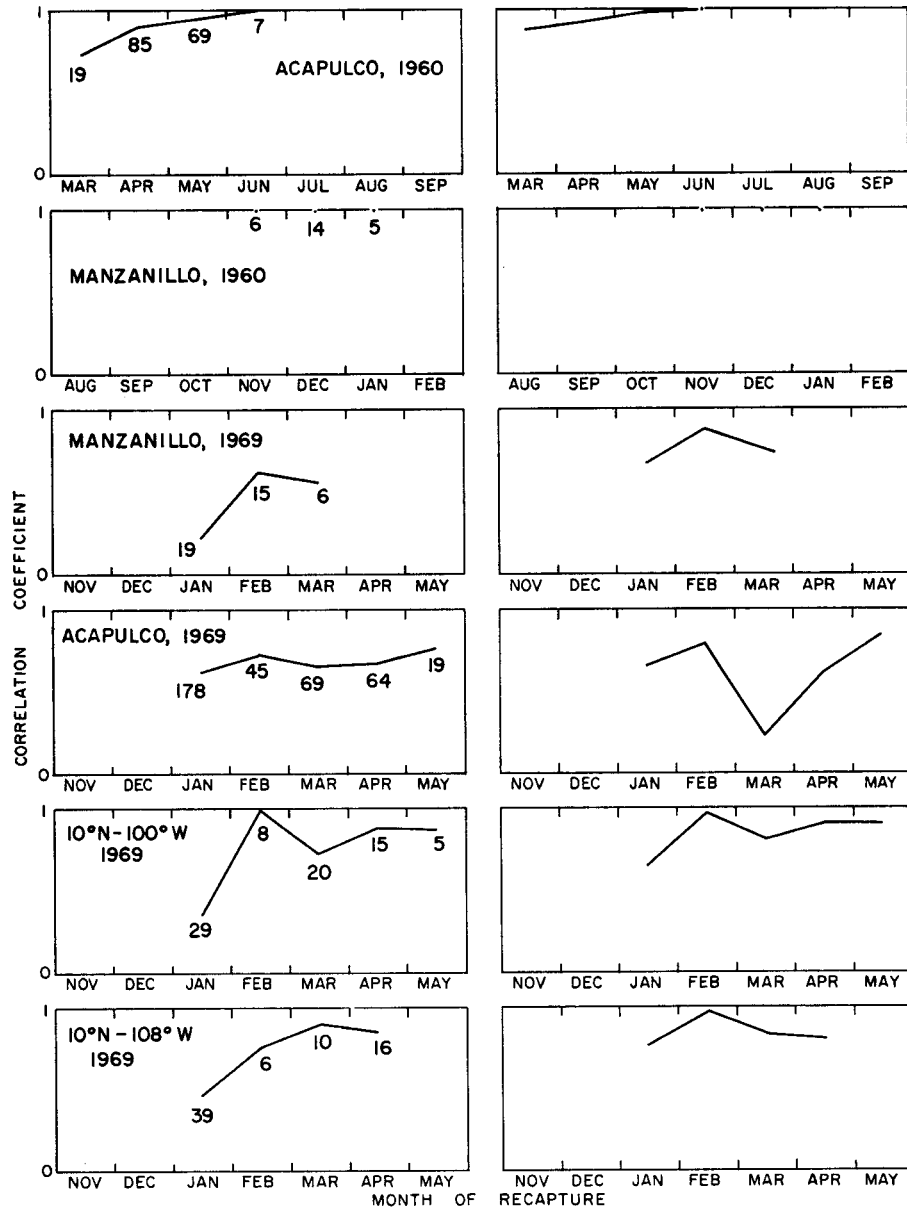
**FIGURE 8.** Unadjusted (left sides of figure) and adjusted (right sides of figure) average locations of recapture, by months of recapture.

**FIGURA 8.** Promedios de las localidades de recaptura sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustado (margen derecho de la figura), por meses de recaptura.



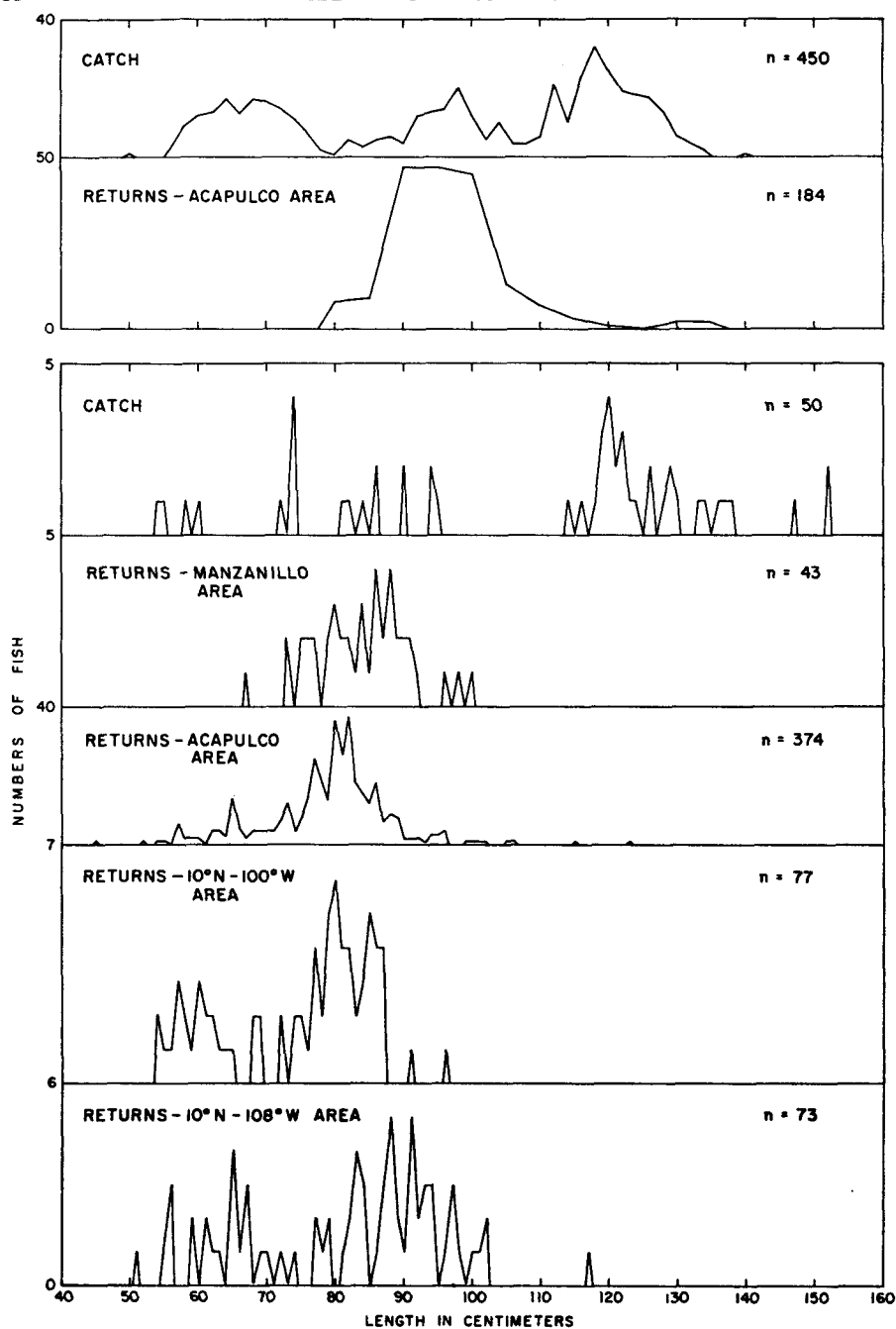
**FIGURE 9.** Unadjusted (left side of figure) and adjusted (right side of figure) determinants of variance-covariance matrices, by months of recapture.

**FIGURA 9.** Determinantes de las matrices variancia-covariancia sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustados (margen derecho de la figura), por meses de recaptura.



**FIGURE 10.** Unadjusted (left side of figure) and adjusted (right side of figure) correlation coefficients, by months of recapture.

**FIGURA 10.** Coeficientes de correlación sin ajustar (margen izquierdo de la figura) y ajustados (margen derecho de la figura), por meses de recaptura.



**FIGURE 11.** Distributions of the lengths of samples of fish in the catches and of the lengths at the times of release of the tagged fish which were returned.

**FIGURA 11.** Distribución de tallas de las muestras de peces en las capturas y de las tallas a tiempo de liberación de los peces marcados que fueron devueltos.

**TABLE 1.** Tagged fish release and return data used for studies of the migrations of yellowfin off the southern coast of Mexico.**TABLA 1.** Datos de liberación y de devolución de peces marcados usados para estudiar las migraciones de aleta amarilla frente a la costa meridional de México.

Cruise	Dates of release	Vessel	Vessel type	Region	Number released	Number returned
Crucero	Fechas de liberación	Barco	Tipo de barco	Región	Cantidad liberada	Cantidad devuelta
1033	Mar. 26-Apr. 9, 1960	<i>Julia B.</i>	chartered baitboat cliper fletado	Acapulco	1,141	190
1035	Aug. 24-27, 1960	<i>Westport</i>	baitboat	Manzanillo	345	32
1055	Oct. 25-27, 1969	<i>Connie Jean</i>	chartered	Manzanillo	436	49
	Oct. 28-Nov. 4, 1969		purse seiner cerquero	Acapulco	4,734 <sup>1</sup>	430
	Nov. 12-14, 1969		fletado	10°N-100°W	1,714 <sup>2</sup>	107
	Nov. 7-9 and 16-19, 1969			10°N-100°W	1,636	89

<sup>1</sup> includes six re-releases — incluye seis reliberaciones<sup>2</sup> includes five re-releases — incluye cinco reliberaciones

**TABLE 2.** Effort data for the 5-degree areas in which fish of the 1960 releases were recaptured. The notation is as follows:  $f_{PSPS}$ , purse-seine effort in Class-3 purse-seine days;  $f_{BBBB}$ , baitboat effort in Class-4 baitboat days;  $f_{BBPS}$ , baitboat effort converted to Class-3 purse-seine days;  $f_{(PS+BB)PS}$ , total effort in Class-3 purse-seine days.

**TABLA 2.** Datos del esfuerzo por áreas de 5 grados en las que los peces liberados en 1960 fueron recapturados. La anotación es la siguiente:  $f_{PSPS}$ , esfuerzo por cerqueros en días de la clase 3 de cerqueros;  $f_{BBBB}$ , esfuerzo de clipers en días de la clase 4 de clipers;  $f_{BBPS}$ , esfuerzo de clipers convertido en días de la clase 3 de cerqueros;  $f_{(PS+BB)PS}$ , esfuerzo total en días de la clase 3 de cerqueros.

5-degree area		1960										1961				
Area de 5 grados		Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
0-10-090	f <sub>PSPS</sub>		74.8	78.0	110.5	61.7	235.6	79.6	89.7	408.5	49.1	4.0	819.1	445.4	550.9	340.3
	f <sub>BBBB</sub>	99.5	6.3	18.4	37.4	26.9	23.1	11.0	2.5	8.4	7.6	46.1	39.8	8.6	0.8	
	f <sub>BBPS</sub>	55.7	3.0	10.1	20.6	14.3	11.8	6.3	1.4	3.8	3.5	22.1	20.7	3.6	0.4	
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	55.7	77.8	88.1	131.1	76.0	247.4	85.9	91.1	412.3	52.6	26.1	839.8	449.0	551.3	340.3
0-10-095	f <sub>PSPS</sub>	22.6	7.4	1.4	6.2				3.7	23.2	160.4	377.8	24.5	3.3	10.4	41.0
	f <sub>BBBB</sub>	12.2	19.8	28.7	11.3	1.3				2.5	2.3	13.0	4.6	2.4	1.6	
	f <sub>BBPS</sub>	6.8	9.3	15.8	6.2	0.7				1.1	1.1	6.2	2.4	1.0	0.9	
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	29.4	16.7	17.2	12.4	0.7			3.7	24.3	161.5	384.0	26.9	4.3	11.3	41.0
0-15-095	f <sub>PSPS</sub>	36.1	90.2	39.1	128.3	14.5	19.8	13.7	46.8	336.8	475.3	681.9	241.5	79.5	76.9	61.1
	f <sub>BBBB</sub>	18.5	40.5	65.4	15.4	3.8	4.4	2.5		12.6	10.2	13.0	9.5	2.4	0.8	
	f <sub>BBPS</sub>	8.7	20.3	25.3	8.5	1.7	2.1	1.2		6.2	4.7	6.0	4.3	1.2	0.4	
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	44.8	110.5	74.4	136.8	16.2	21.9	14.9	46.8	343.0	480.0	687.9	245.8	80.7	77.3	61.1
0-15-100	f <sub>PSPS</sub>	204.3	91.5	330.2	160.2	18.6	21.9	10.9	60.5	63.3	150.6	158.2	155.2	77.8	143.9	172.4
	f <sub>BBBB</sub>	26.4	20.9	52.5	11.8	3.8	6.9	3.8		20.8	21.1	2.4	22.5	1.7		
	f <sub>BBPS</sub>	12.4	10.4	28.4	6.5	1.7	3.3	1.7		10.2	9.7	1.1	10.1	0.8		
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	216.7	101.9	358.6	166.7	20.3	25.2	12.6	60.5	73.5	160.3	159.3	165.3	78.6	143.9	172.4
0-20-105	f <sub>PSPS</sub>	459.1	515.7	261.3	144.7	23.3	21.4	6.8	18.9	11.7	6.9	39.0	35.6	369.7	556.6	160.4
	f <sub>BBBB</sub>	1.3	8.0	12.4	7.1	2.5	4.4	3.3	7.9	2.8	20.7	64.9	59.9	52.9	7.2	5.6
	f <sub>BBPS</sub>	0.6	4.0	6.7	3.9	1.1	2.1	1.5	3.5	1.4	9.5	29.9	27.0	26.5	3.2	2.2
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	459.7	519.7	268.0	148.6	24.4	23.5	8.3	22.4	13.1	16.4	68.9	62.6	396.2	559.8	162.6

TABLE 3. Effort data for the 5-degree areas in which fish of the 1969 releases were recaptured. The notation is defined in Table 2.

TABLA 3. Datos del esfuerzo por áreas de 5 grados en las que los peces liberados en 1969 fueron recapturados. La anotación se explica en la Tabla 2.

5-degree area		1970											
Area de 5 grados		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
0-00-080	f <sub>PSPS</sub>	34.1	31.5	10.8	156.6	33.2	23.2	5.8					
0-00-110	f <sub>PSPS</sub>				22.4	112.9	0.8				8.3	79.7	11.6
0-05-085	f <sub>PSPS</sub>	82.4	173.9	224.8	181.4	120.9	14.9	9.1					
	f <sub>BBBB</sub>	3.5	10.6	2.4									
	f <sub>BBFS</sub>	1.2	5.5	1.6									
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	83.6	179.4	226.4	181.4	120.9	14.9	9.1					
0-05-090	f <sub>PSPS</sub>	109.2	23.5	187.3	283.4	220.5		0.8					
0-05-095	f <sub>PSPS</sub>	179.7	18.8	162.0	257.5	6.6		5.0					
0-05-100	f <sub>PSPS</sub>	105.6	16.6	21.5	217.1		1.2					16.6	
0-05-105	f <sub>PSPS</sub>	91.4	15.3	8.3	27.3		0.8					10.0	
0-05-130	f <sub>PSPS</sub>						81.3	48.1	81.0	93.6	93.2	126.8	16.6
0-05-140	f <sub>PSPS</sub>						11.6	4.2	5.0	3.3			
0-10-090	f <sub>PSPS</sub>	68.9	21.1	14.0	19.9	11.1	1.1						
0-10-095	f <sub>PSPS</sub>	379.4	36.2	156.7	152.3		1.2						
0-10-100	f <sub>PSPS</sub>	323.0	69.7	157.9	476.5	1.7						10.0	
0-10-105	f <sub>PSPS</sub>	322.2	95.3	61.1	156.8	4.0					0.8	10.0	
	f <sub>BBBB</sub>	17.0		2.0									
	f <sub>BBFS</sub>	5.8		1.3									
	f <sub>(PS+BB)PS</sub>	328.0	95.3	62.4	156.8	4.0					0.8	10.0	
0-10-120	f <sub>PSPS</sub>					19.1	24.1	5.0	45.7	244.9	433.7	276.1	
0-10-125	f <sub>PSPS</sub>					1.7	6.6	1.7	298.8	231.4	121.9	69.6	
0-10-130	f <sub>PSPS</sub>						1.7	31.5	123.6	74.9	47.2	8.3	
0-15-095	f <sub>PSPS</sub>	57.7	21.3	8.6	50.4	8.5	2.2						
0-15-100	f <sub>PSPS</sub>	294.7	223.4	185.9	124.2	12.9	2.1					1.7	

1970

[illegible]



TABLE 4. Tag return ( $n_{ij}$ ), total logged effort ( $f_{ij}$ ), and adjusted tag return ( $N_{ij}$ ) data for 1970 for eight areas of the eastern Pacific Ocean. The areas are shown in Figure 3.

TABLA 4. Devolución de marcas ( $n_{ij}$ ), esfuerzo total registrado ( $f_{ij}$ ) y datos ajustados de la devolución de marcas ( $N_{ij}$ ) en 1970 correspondiente a ocho áreas del Océano Pacífico oriental. Las áreas se presentan en la Figura 3.

	Area 1			Area 2			Area 3			Area A			Area B			Area C			Area D			Outside CYRA			Total
	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	$n_{ij}$	$f_{ij}$	$N_{ij}$	
Jan.	0	85.0	0.0	9	297.1	19.6	1	212.9	3.0	247	1,970.1	81.1	8	308.9	16.8	0	64.7	0.0	0	71.8	0.0	0	0.0	—	—
Feb.	0	99.4	0.0	37	843.6	28.4	2	85.5	15.1	28	1,035.0	17.5	8	259.4	19.9	0	0.8	0.0	0	62.5	0.0	0	0.0	—	—
Mar.	0	130.3	0.0	9	604.7	9.6	1	166.1	3.9	78	1,010.0	50.0	16	491.5	21.1	0	14.5	0.0	0	19.9	0.0	0	0.0	—	—
Apr.	0	64.2	0.0	2	420.6	3.1	2	159.9	8.1	66	1,642.8	26.0	27	571.5	30.5	0	20.1	0.0	2	199.0	6.5	0	23.2	0.0	—
May	3	194.1	10.0	0	34.5	0.0	6	59.6	65.2	3	94.8	20.4	14	392.7	23.1	0	0.6	0.0	0	49.5	0.0	2	242.5	5.3	—
Jun.	0	0.0	—	1	14.5	44.6	0	0.0	—	0	8.7	0.0	2	28.8	44.9	0	5.9	0.0	0	55.5	0.0	0	308.0	0.0	—
Jul.	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	5.0	—	0	11.6	—	0	1.7	—	0	11.6	—	1	257.4	—	—
Aug.	0	0.8	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	2	701.2	—	—
Sep.	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	5.0	—	0	0.0	—	1	881.4	—	—
Oct.	0	0.0	—	0	0.0	—	1	5.0	—	0	0.8	—	0	0.0	—	0	27.4	—	0	0.0	—	1	902.1	—	—
Nov.	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	53.3	—	0	0.0	—	0	8.4	—	0	0.0	—	0	777.2	—	—
Dec.	0	1.7	0.0	0	3.3	0.0	0	0.0	—	0	1.7	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	0.0	—	0	41.5	—	—
Total	3	575.5	18.3	58	2,218.3	91.9	13	689.0	66.3	422	5,822.2	254.8	75	2,065.4	127.7	0	149.1	0.0	2	469.8	15.0	7	4,134.5	6.0	580

# MIGRACIONES DEL ATÚN ALETA AMARILLA MARCADO FRENTE A LA COSTA MERIDIONAL DE MÉXICO EN 1960 Y 1969

por

William H. Bayliff y Brian J. Rothschild<sup>1</sup>

## EXTRACTO

El método de mapas, el de Jones, el de la variancia-covariancia y el de Skellam fueron empleados para estudiar las migraciones del atún aleta amarilla marcado y liberado frente a la costa meridional de México en 1960 y 1969. Los tres primeros métodos son todos útiles, y cada uno presenta información que complementa la presentada por los otros. El método de Skellam, conforme se usa en este informe, es menos útil.

Parece que los desplazamientos de los peces marcados y liberados en 1960 hubieran sido fuertemente orientados, pero esto probablemente fue causado principalmente por la distribución del esfuerzo de pesca. El esfuerzo se distribuyó más extensamente en 1970, y parece que los desplazamientos de los peces liberados en 1969 fueran menos orientados. Los coeficientes de correlación derivados del método variancia-covariancia indicaron, sin embargo, que no eran aleatorios.

Los peces pequeños liberados en las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W en 1969 migraron al área de Manzanillo a principios de febrero 1970. Los peces medianos y grandes liberados en las mismas áreas en el mismo año tuvieron, sin embargo, la tendencia a desplazarse al sudeste durante el primer semestre de 1970.

## INTRODUCCION

Las migraciones de atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico oriental han sido estudiadas por Blunt y Messersmith (1960), Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) y Fink y Bayliff (1970); el último informe incluye los datos de todos los peces marcados y liberados antes de 1965. Casi todo el marcado de aleta amarilla frente a la costa meridional de México hasta esa época se realizó en dos cruceros conducidos en 1960. A mediados y a fines del decenio de 1960 la pesca se extendió mar adentro, especialmente entre el ecuador y los 15°N (Calkins y Chatwin, 1967 y 1971), y durante los periodos de veda de la pesca de aleta amarilla en el área reglamentaria de la Comisión de aleta amarilla (ARCAA) (Figura 1) la pesca se había realizado al oeste de esta área. Por esta razón se llevó a cabo otro marcado en 1969 frente a la costa meridional de México, tanto cerca de la costa como mar adentro. Este informe es un análisis de los experimentos de 1960 y 1969, en el que se emplean nuevos métodos además de los usados en informes previos.

<sup>1</sup>National Marine Fisheries Service, La Jolla, California

### RECONOCIMIENTO

Se agradece a los siguientes miembros del personal de la Comisión por su participación en el marcado de los peces: Franklin G. Alverson, Gordon C. Broadhead, Clinton M. DeWitt, David R. Dugan, Bernard D. Fink, John E. Kinnear, Craig J. Orange, Vaughn M. Silva y Robert T. Umlor. Asimismo agradecemos a los Capitanes Eugene M. Cabral, Ralph Madruga y Frank Valin, Jr., y a las tripulaciones de los tres barcos que usamos en los experimentos de marcado.

Se reconoce además la indispensable colaboración prestada por los capitanes de los barcos pesqueros, los pescadores y los trabajadores de las enlatadoras, al devolver las marcas junto con la información pertinente cuando se recobraron los peces.

Los programas computadores usados en este informe fueron escritos o modificados por el Dr. Robert C. Francis, la Srta. JoAnne Levatin y los Sres. Christopher T. Psaropulos y Donald L. Whitt. El manuscrito fue examinado por los Dres. James Joseph, Robert C. Francis y Jerome J. Pella.

### MATERIALES Y METODOS

Los métodos de marcado de los peces y el empleo de los datos de la devolución de marcas son descritos por Fink (1965), Fink y Bayliff (1970) y Bayliff (1973). (Las palabras "devolver" y "devolución" (Jones, 1966: xiii) en este informe substituyen "retornar" y "retorno" definidas por Fink y Bayliff (1970: 155). Los métodos de coleccionar y utilizar las estadísticas de captura y esfuerzo son discutidos por Shimada y Schaefer (1956), Joseph y Calkins (1969) y Bayliff (1971).

La mayoría de los cálculos se realizó en las computadoras CDC 3600 y Burroughs 6700 en la Universidad de California en San Diego. Se emplearon para este propósito los Programas CIAT F04 (Psaropulos, 1966) y otros dos inéditos.

### DATOS USADOS

#### Liberaciones y devoluciones de marcas

Se usan en este informe los datos solamente de tres cruceros, ya que no se han obtenido más de nueve devoluciones de marcas de cualquier otro crucero conducido en esta área. Los datos de liberación y devolución de estos cruceros se enumeran en la Tabla 1. No se emplearon todos los datos de devoluciones, ya que algunos fueron inapropiados debido a que no se conocía el área o la fecha de recaptura o por cualquiera otra razón. Se ha llevado a cabo algún marcado cerca a las Islas Revillagigedo y cerca a la Isla Clipperton, pero estos peces se comportaron diferentemente a los marcados más lejos de las islas, ya que muchos de ellos permanecen

---

aparentemente cerca de las islas por períodos considerables de tiempo (Fink y Bayliff, 1970). Como la mayoría de la captura frente a la costa meridional de México se obtiene en áreas que no están en la vecindad de estas islas, no se consideran en este informe los datos de los experimentos del marcado conducidos cerca a estas islas. Las áreas en las que se liberaron los peces marcados se presentan en la Figura 2.

#### **Estadísticas de pesca**

Los datos estadísticos obtenidos rutinariamente por la Comisión del Atún incluyen las capturas registradas en toneladas americanas (cortas) de atún aleta amarilla por áreas de 1 grado y 5 grados, por meses, trimestres y años, por tipo de arte (cerqueros y clípers) y por la clase de capacidad de los barcos, y el esfuerzo correspondiente en días de pesca, no normalizado y normalizado a días de la Clase 3 de barcos cerqueros (barcos de 101-200 toneladas americanas de capacidad) y a días de la Clase 4 de clípers (barcos de carnada de 201-300 toneladas americanas de capacidad) (Shimada y Schaefer, 1956; Joseph y Calkins, 1969). Los datos del esfuerzo obtenidos por la Comisión del Atún representan aproximadamente el 90 por ciento del esfuerzo total correspondiente a los períodos de referencia y se supone que tengan la misma distribución por área y tiempo que el esfuerzo total. En cada año desde 1966 ha existido una cuota de captura de aleta amarilla en el ARCAA, y la mayoría de los barcos que zarpan cada año después de la fecha de clausura tienen un límite respecto a la porción de aleta amarilla de los peces desembarcados por las capturas obtenidas en el ARCAA. El esfuerzo ejercido en el ARCAA por barcos que zarparon después de la fecha de veda se denomina "esfuerzo reglamentado", y estos datos se mantienen aparte de los datos del "esfuerzo no reglamentado". Se supone que todo el esfuerzo no reglamentado se dirige hacia el aleta amarilla (y también hacia el barrilete) excepto en unos pocos viajes en que otras especies que no fueron aleta amarilla o barrilete formaron más de un tercio del peso total de la captura. No se emplean en este estudio los datos del esfuerzo reglamentado.

Es necesario obtener estimaciones del esfuerzo de pesca en cada estrato de área de 5 grados y mes en que se han recapturado peces marcados. Los datos del esfuerzo se convirtieron todos a unidades de la Clase 3 de cerqueros por el método de Bayliff (1971), usando datos separados para la captura por unidad de esfuerzo de los clípers correspondiente a los 0°-15°N y norte de los 15°N. El esfuerzo mensual de cerqueros y clípers, y de ambas artes combinadas, en las áreas donde se recapturaron peces marcados se presentan en la Tabla 2 para marzo 1960-mayo 1961 y en la Tabla 3 para enero-diciembre 1970. Las áreas de 5 grados se codifican por las latitudes y longitudes de sus márgenes sudestes, precedidas por 0's para áreas al norte del ecuador o 2's para áreas al sur del ecuador (Shimada y Schaefer, 1956). No hubo esfuerzo sin reglamentar en el

---

abre-diciembre 1969, y todas menos una de las marcas durante este período fueron de peces recapturados por el barco as durar marcado.

### RESULTADOS

Los estratos área-tiempo en los que los peces marcados son recapturados dependen no solamente en las migraciones de los peces, sino también en la distribución del esfuerzo de pesca. Si un pez marcado es liberado en un área la probabilidad de que sea recapturado en otra depende no solamente en el esfuerzo de pesca en la segunda área, pero también en el de la primera área y en todas las áreas por las que el pez pasó mientras viaja de la primera a la segunda área. La mayoría de los análisis en este informe de las migraciones de peces marcados se realiza de dos formas, sin ajustes y con ellos para encontrar las diferencias en las cantidades del esfuerzo de pesca en los diferentes estratos de área de 5 grados y mes donde se efectúa la recaptura. Estos ajustes se hicieron al dividir el número de devoluciones en cada estrato de área de 5 grados y mes por el correspondiente esfuerzo y luego multiplicándolo por un factor para obtener una cantidad ajustada de recapturas. Los cálculos se explican detalladamente en los últimos capítulos de este informe.

El método de ajuste es inadecuado, ya que no se hace concesión alguna por las cantidades de esfuerzo de pesca en los estratos área-tiempo por el que pasan los peces antes de su recaptura. Tales ajustes pueden probablemente llevarse a cabo solo mediante la simulación computadora. Sin embargo, es probablemente mejor tener mientras tanto el ajuste que se acaba de describir a no tener ninguno.

#### Métodos incluyendo mapas

Las localidades de recaptura de los peces de cada grupo liberado se presentan en la Figura 2. Estos mapas ofrecen un indicio útil sobre las distancias y las direcciones recorridas, pero no definen estos parámetros en términos cuantitativos. Además, no existe ninguna medida para indicar las fechas de recaptura o los tiempos en libertad, y esto se puede obtener solo al substituir varios mapas por cada uno de los actuales.

En la Figura 3 y la Tabla 4 se indican los números ajustados de devoluciones en ocho áreas arbitrariamente seleccionadas de peces liberados en 1969 en un área de 15 grados (Area A en la figura). Los números se calcularon por

$$N_{ij} = \left( \frac{n_{ij}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j n_{ij}}{\sum_i \sum_j \frac{n_{ij}}{f_{ij}}} \right) \quad (1)$$

donde

$N_{ij}$  = cantidad ajustada de devoluciones en área  $i$  durante el mes  $j$ ,  
 $n_{ij}$  = cantidad actual de devoluciones en área  $i$  durante el mes  $j$ ,  
 $f_{ij}$  = esfuerzo en área  $i$  durante el mes  $j$ .

Las cuatro devoluciones de peces liberados al norte de los 20°N, para estos cálculos, pero se emplearon seis de las cuáles se usaron áreas de 5 grados de recaptura pero no las de 1 grado. Es evidente que relativamente pocos peces marcados y liberados en el área de referencia que 15 grados migraron a áreas al oeste de Baja California, fuera del ARCA o al de los 5°N. Parece según estos datos que los peces marcados y liberados en el Area A se desplazaron del Area A al Area 2 a principios de febrero y regresaron al Area A aproximadamente a fines del mes. La incidencia de los peces marcados y liberados en el Area A aumentó en el Area B de enero a mayo, indicando el desplazamiento de los peces liberados en el Area A al Area B durante este período.

#### Método de Skellam

Los promedios de las distancias cuadradas del desplazamiento se calculan mediante

$$\overline{r_j^2} = \left( \sum^{n_j} r_j^2 \right) / n_j \quad (2)$$

donde

$\overline{r_j^2}$  = promedio de las distancias cuadradas del desplazamiento de los peces recapturados en el mes  $j$ ,  
 $r_j$  = distancia del desplazamiento de un pez recapturado en el mes  $j$  y  
 $n_j$  = cantidad de devoluciones de peces en el mes  $j$ .

Los promedios ajustados de las distancias cuadradas del desplazamiento se calculan mediante

$$\overline{R_j^2} = \sum^{n_j} \left( \frac{r_{ij}^2}{f_{ij}} \right) / \sum^{n_j} \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (3)$$

donde

$\overline{R_j^2}$  = promedio ajustado de las distancias cuadradas del desplazamiento de los peces recapturados en el mes  $j$ ,  
 $r_{ij}$  = distancia del desplazamiento de un pez recapturado en el área  $i$  durante el mes  $j$  y  
 $f_{ij}$  = esfuerzo en el área  $i$  durante el mes  $j$ .

Skellam (1951) indicó que si la dispersión es aleatoria los promedios de las distancias cuadradas del desplazamiento aumentan linealmente con

el tiempo. Sin embargo, si el punto de liberación es cerca a la costa los peces irán solo por una corta distancia en esa dirección, y parece que el índice de dispersión disminuye con el tiempo aún si éste no es el caso.

Los promedios sin ajustar de las distancias cuadradas de desplazamiento de los seis grupos ya referidos de liberaciones se presentan en el margen izquierdo de la Figura 4. Los puntos se grafican solo para los meses que incluyen por lo menos cinco recapturas. Las cifras cerca a los puntos indican la cantidad de recapturas en cada mes. Estos datos indican que la dispersión es aproximadamente aleatoria. En el área de Manzanillo la cantidad de devoluciones fue relativamente alta y el valor de  $\overline{r_j^2}$  fue relativamente bajo en febrero 1970, siendo lo contrario para las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W. Esto se debe probablemente a que el esfuerzo durante ese mes fue relativamente alto en las áreas 0-15-105 y 0-20-105 y relativamente bajo en las áreas 0-10-095, 0-10-100 y 0-10-105 (Tabla 4).

Los promedios ajustados de las distancias cuadradas del desplazamiento se presentan en el margen derecho de la Figura 4. Estos gráficos son muy similares a los del margen izquierdo de la figura. Los valores  $\overline{R_j^2}$  de febrero 1970 de las áreas de Acapulco y 10°N-100°W son relativamente altos, lo cuál indica que en promedio los peces se encontraban más lejos de las áreas de liberación durante febrero que durante enero o marzo. Los datos indican la presencia de peces de esas dos áreas en el área de Manzanillo durante febrero, así que es lógico suponer que el alto esfuerzo ejercido en esa área durante ese mes se debió por lo menos parcialmente a una afluencia de peces de las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W.

Si el desplazamiento ocurre en su mayor parte o todo en una dirección y en base continua los promedios de los distancias del desplazamiento aumentarían linealmente con el tiempo, y los promedios de las distancias cuadradas del desplazamiento aumentarían exponencialmente. En la próxima sección se indicará que los peces de las liberaciones de 1960 fueron recapturados en su mayoría al desplazarse en una dirección, y puede verse que los gráficos de los peces liberados en el área de Acapulco en 1960 son cóncavos hacia arriba y por lo tanto aproximadamente exponenciales.

### Método de Jones

Este método, concebido por Jones (1959 y 1966), ha sido usado anteriormente en una forma ligeramente diferente para el aleta amarilla por Fink y Bayliff (1970).

La dispersión de los peces se analiza según los datos de los meses de recaptura, días en libertad, distancias de desplazamiento y direcciones de desplazamiento. Se emplean ocho direcciones de desplazamiento, 0°-45° real = 0, 45°-90° real = 1, ... y 315°-360° real = 7.

Se hacen los siguientes cálculos respecto a los datos no ajustados por

mes de recaptura, por todos los meses combinados de recaptura, por dirección de desplazamiento y por todas las direcciones combinadas de desplazamiento

$$\bar{t}_{jk} = \sum \frac{n_{ik} t_{jk}}{n_{jk}} \quad (4)$$

donde

$\bar{t}_{jk}$  = promedio del tiempo en libertad de los peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$ ,

$t_{jk}$  = tiempo en libertad de un pez recapturado en el mes  $j$  que se desplazó en dirección  $k$  y

$n_{jk}$  = cantidad de peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$ ,

$$\bar{r}_{jk} = \sum \frac{n_{ik} r_{jk}}{n_{jk}} \quad (5)$$

donde

$\bar{r}_{jk}$  = promedio de la distancia de desplazamiento de los peces recapturados en el mes  $j$  que se han movido en dirección  $k$  y

$r_{jk}$  = distancia de desplazamiento de un pez recapturado en el mes  $j$  que se desplazó en dirección  $k$ ,

$$v_{jk} = \frac{\sqrt{\left(\sum \frac{n_{ik} r_{jk} \sin \Theta_k}{t_{jk}}\right)^2 + \left(\sum \frac{n_{ik} r_{jk} \cos \Theta_k}{t_{jk}}\right)^2}}{\sum \frac{n_{ik}}{t_{jk}}} \quad (6)$$

donde

$v_{jk}$  = promedio de la velocidad de dislocación de peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$  y

$\Theta_k$  = ángulo correspondiente a la dirección de desplazamiento  $k$  (Dirección 0 =  $67\frac{1}{2}^\circ$ , Dirección 1 =  $22\frac{1}{2}^\circ$ , Dirección 2 =  $337\frac{1}{2}^\circ$ , ... y Dirección 7 =  $112\frac{1}{2}^\circ$  y

$$a_{jk}^2 = \frac{1}{n_{jk}} \left[ \sum \frac{n_{ik} r_{jk}^2}{t_{jk}} - \frac{\left(\sum \frac{n_{ik} r_{jk} \sin \Theta_k}{t_{jk}}\right)^2 + \left(\sum \frac{n_{ik} r_{jk} \cos \Theta_k}{t_{jk}}\right)^2}{\sum \frac{n_{ik}}{t_{jk}}} \right] \quad (7)$$

donde

$a_{jk}^2$  = media cuadrada del coeficiente de dispersión de los peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$ .



La cantidad ajustada de devoluciones en cada estrato de mes y dirección de desplazamiento se calcula mediante

$$N_{jk} = \left( \sum_i \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j \sum_k \frac{n_{ijk}}{f_{ij}}}{\sum_i \sum_j \sum_k \frac{n_{ijk}}{f_{ij}}} \right) \quad (8)$$

donde

$N_{jk}$  = cantidad ajustada de devoluciones en el mes  $j$  de peces que se desplazaron en dirección  $k$ ,

$n_{ijk}$  = cantidad actual de devoluciones en el área  $i$  durante el mes  $j$  de peces que se desplazaron en dirección  $k$  y

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

Los cálculos análogos a los ejecutados por las fórmulas (4), (5), (6) y (7) se realizan mediante

$$\overline{T}_{jk} = \sum_i \left( \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (9)$$

donde

$\overline{T}_{jk}$  = promedio ajustado del tiempo en libertad de los peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$  y

$t_{ijk}$  = tiempo en libertad de un pez recapturado en el área  $i$  durante el mes  $j$  que se desplazó en dirección  $k$ ,

$$\overline{R}_{jk} = \sum_i \left( \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \right) \left( \frac{1}{f_{ij}} \right) \quad (10)$$

donde

$\overline{R}_{jk}$  = promedio ajustado de la distancia de desplazamiento de los peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$  y

$r_{ijk}$  = distancia de desplazamiento de un pez recapturado en el área  $i$  durante el mes  $j$  que se desplazó en dirección  $k$ ,

$$V_{jk} = \frac{\sqrt{\left( \sum_i \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \sin \Theta_k \right)^2 + \left( \sum_i \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \cos \Theta_k \right)^2}}{\sum_i \left( \frac{n_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \quad (11)$$

donde

$V_{jk}$  = promedio ajustado de la velocidad de dislocación de peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$  y

$$A_{jk}^2 = \frac{1}{\sum_i^{n_{jk}} (1/f_{ij})} \left[ \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}^2}{t_{ijk} f_{ij}} - \frac{\left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \sin \Theta_k \right)^2 + \left( \sum_i^{n_{jk}} \frac{r_{ijk}}{f_{ij}} \cos \Theta_k \right)^2}{\sum_i^{n_{jk}} \left( \frac{t_{ijk}}{f_{ij}} \right)} \right] \quad (12)$$

donde

$A_{jk}^2$  = media cuadrada ajustada del coeficiente de dispersión de los peces recapturados en el mes  $j$  que se desplazaron en dirección  $k$ .

El significado del promedio de la velocidad de dislocación y de la media cuadrada del coeficiente de dispersión ha sido discutido por Jones (1959 y 1966). En resumen, la primera pertenece al desplazamiento direccional y la última al desplazamiento aleatorio. La última es una medida del promedio de la cantidad de desviación del promedio de dirección del desplazamiento. Un valor alto de  $v_j$  (o  $V_j$ ) y un valor bajo de  $a_j$  (o  $A_j$ ) indicarían desplazamiento direccional con poca dispersión, mientras un valor bajo de  $v_j$  (o  $V_j$ ) y un valor alto de  $a_j$  (o  $A_j$ ) indicarían lo contrario. Aún si el desplazamiento es completamente aleatorio, no se esperaría que los valores de  $v_j$  (o  $V_j$ ) fueran iguales a 0 en la mayoría de los grupos actuales de liberaciones porque se hicieron cerca al litoral, y los peces se encontraban limitados en sus movimientos hacia la costa.

Las direcciones y los promedios de las distancias de desplazamiento, según fueron calculadas por los datos no ajustados de devolución, se presentan en el margen izquierdo de los diagramas de la Figura 5. La cifra en el centro del primer diagrama indica la cantidad de peces que no se desplazaron de las localidades de liberación. (Como lo explicaron Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961), debido a la falta de precisión en anotar las posiciones en el mar, los peces que se desplazaron 10 o 20 millas se registran frecuentemente como si hubieran sido recapturados en la localidad de liberación). Las cifras cerca a las puntas de las flechas indican la cantidad de peces que se desplazaron en cada dirección y el promedio de las distancias

de desplazamiento, respectivamente. La anchura del círculo y de las líneas son proporcionales a los porcentajes de los peces que fueron recapturados en las localidades de liberación y a los porcentajes que se desplazaron en cada dirección. La longitud de las líneas es proporcional al promedio de las distancias de desplazamiento.

Los peces liberados en el área de Acapulco en 1960 se recapturaron principalmente al noroeste, mientras que los liberados en el área de Manzanillo en 1960 y en las áreas de Manzanillo y Acapulco en 1969 parece que hubieran migrado en su mayoría hacia el sudeste. Los peces liberados mar adentro fueron recapturados principalmente al este y nordeste. Los promedios de las distancias de desplazamiento de los peces liberados en el área de Acapulco en 1960 fueron inferiores a los de los peces de otros grupos de liberaciones. En la Figura 4 puede verse que la mayoría de los primeros fueron recapturados poco tiempo después de haber sido liberados, mientras que la mayoría de los últimos estuvieron más tiempo en libertad, así que el promedio de la velocidad de dislocación no es necesariamente inferior respecto a los peces liberados en 1960 en el área de Acapulco.

Los diagramas equivalentes a los que se encuentran en el margen izquierdo de la Figura 5 se presentan para los datos ajustados de devolución en el margen derecho de la figura. Los resultados son bastante similares a los obtenidos respecto a los datos no ajustados. Parece que hubo una migración considerable en Dirección 6 en el área de los  $10^{\circ}\text{N}$ - $108^{\circ}\text{W}$ , pero en el margen izquierdo de la figura puede verse que esto se basa en solo tres recapturas, junto con un esfuerzo relativamente pequeño de pesca en los estratos correspondientes de área de 5 grados y mes.

Parece que las migraciones estuvieron más orientadas para los peces liberados en 1960 que para aquellos liberados en 1969. Con el fin de investigar esto aún más se graficaron las distribuciones del esfuerzo de pesca y las devoluciones por áreas de 1 grado y meses. Estos datos indicaron más claramente que los de la Tabla 2 que hubo relativamente poco esfuerzo al sudeste del área de Acapulco, y especialmente al noroeste del área de Manzanillo, durante los meses en los que se recapturó la mayor parte de los peces marcados. Por lo consiguiente existen dos posibilidades, (1) que el desplazamiento estuvo fuertemente orientado, lo que causó que el esfuerzo fuera distribuido en la forma en que lo fue, o (2) que la distribución del esfuerzo fue la causa de que el desplazamiento pareciera fuertemente orientado, aunque éste no fue el caso. La primera explicación es la más probable si la distribución de los peces marcados durante los periodos después de la liberación fue aproximadamente igual a la de la mayoría de los peces en la misma área general y si el tiempo permitió que los barcos pescaran donde había más concentración de peces. La última explicación es más probable si la distribución del esfuerzo de pesca fue el resultado de distribuciones de peces distintos a aquellos de los grupos a los que per-

---

tenecían los peces marcados o el resultado de condiciones meteorológicas por las cuáles los barcos evitaron algunas de las áreas en las que se desplazaron los peces marcados. En general, el tiempo es bastante malo entre Acapulco y Manzanillo de julio a fines de octubre, entre Costa Rica y Manzanillo de agosto a fines de octubre y en el Golfo de Tehuantepec de noviembre a fines de marzo. El esfuerzo de pesca siempre ha sido relativamente bajo en el Golfo de Tehuantepec. Los resultados de los experimentos de 1969 indicaron que el desplazamiento fue probablemente más aleatorio de lo que indicaron los datos respecto a los peces de los experimentos de 1960. Esto modifica la conclusión de Fink y Bayliff (1970), quienes basados en los resultados obtenidos con datos sin ajustar por el método de Jones declararon que el desplazamiento de los peces liberados en 1960 estuvo fuertemente orientado.

No existe ninguna clave en estos diagramas que indiquen el tiempo en que estuvieron en libertad los peces o las fechas de recaptura, y esto puede obtenerse solo substituyendo varios diagramas por cada uno de los actuales.

Las direcciones y los promedios de las distancias de desplazamiento por mes de recaptura, según se calculan por los datos de devolución no ajustados, se presentan en el margen izquierdo de la Figura 6. Los datos de los peces que se desplazan en diferentes direcciones se muestran en distintos recuadros en cada gráfico. Los puntos de meses consecutivos se juntan por medio de líneas sólidas y aquellos de meses no consecutivos por líneas de trazos. Las cifras cerca a los puntos indican la cantidad de peces en cada mes. Los valores de  $v_{*k}$  aparecen en todos los recuadros, y los valores de  $a_{*}^2$  al pie de los recuadros. Estos diagramas son útiles para descubrir migraciones estacionales. Por ejemplo, si los peces estuvieran en el extremo meridional de su distribución en enero y en el extremo septentrional en julio, y hubieran sido marcados en enero,  $\bar{r}_j$  aumentaría por unos 6 meses y luego se reduciría. Además, habría muchos peces en los recuadros en las Direcciones 0 y 7 y pocos en los recuadros de las Direcciones 3 y 4 durante febrero-junio, mientras que lo contrario sería verdad durante agosto-diciembre. Las migraciones estacionales no son aparentes; las distancias desde las localidades de liberación solo tienen la tendencia a ser constantes o aumentar con el tiempo. Las velocidades en cada dirección fueron aproximadamente las mismas en todos los experimentos, pero las velocidades al pie de los recuadros en los experimentos de 1960 fueron superiores debido a que la mayoría de los peces que fueron recapturados se habían desplazado en las mismas direcciones.

Los diagramas equivalentes a los del margen izquierdo de la Figura 6 se presentan con respecto a los datos ajustados de devoluciones en el margen derecho de la figura. Estos diagramas parecen ser bastante similares a los datos no ajustados correspondientes, diferenciándose principalmente

---

por la cantidad de peces. Aparece un ejemplo notable en el recuadro de la Dirección 6 de los peces liberados en el área de Acapulco en 1969; en este caso se ajustó una devolución individual a 34 devoluciones en octubre debido a que el esfuerzo fue bajo en el estrato de área de 5 grados y mes. Son interesantes las diferencias en las direcciones de desplazamiento de las devoluciones no ajustadas y ajustadas del mes de febrero de peces liberados en el área de Acapulco en 1969. Respecto a los datos no ajustados, 7 de las recapturas se obtuvieron al sudeste (Direcciones 2 y 3) y 36 al noroeste (Direcciones 6 y 7); con relación a los datos ajustados 24 de las recapturas se lograron al sudeste y 12 al noroeste. Esto indica que los peces liberados en el área de Acapulco en 1969 tienen la tendencia a distribuirse más hacia el sudeste que al noroeste (*e.d.* en el área de Manzanillo o cerca de allí) en febrero 1970.

Las medias cuadradas de los coeficientes de dispersión por meses de recaptura, según fueron calculadas por los datos de devolución no ajustados, se presentan en el margen izquierdo de la Figura 7. Los puntos se grafican solamente para los meses que incluyen por lo menos cinco devoluciones. Las cifras cerca de los puntos indican las cantidades de devoluciones en cada mes. Los valores de  $a_{j,2}$  son superiores en los experimentos iniciados en 1969 ya que el esfuerzo se esparció en 1970 a un área mucho más grande, lo que dió como resultado que las recapturas se encontraron también diseminadas en un área mucho mayor. Las tendencias son muy similares a aquellas de los promedios de las distancias cuadradas de desplazamiento (Figura 4). Sin embargo, no existe la tendencia de que los valores de  $a_{j,2}$  aumenten con el tiempo, posiblemente con la excepción de aquellos peces liberados en el área de Acapulco en 1969. Los valores en febrero de  $a_{j,2}$  son bajos para los peces liberados en el área de Manzanillo en 1969 y altos en ese año respecto a los peces liberados en las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W, ésto debido probablemente a la gran cantidad de esfuerzo de pesca ejercido en el área de Manzanillo y a la poca cantidad ejercida en el área de Acapulco en febrero 1970.

Los diagramas equivalentes a los del margen izquierdo de la Figura 7 se presentan en el margen derecho de esa figura respecto a los datos ajustados de recaptura. Los resultados son bastante similares a los obtenidos por los datos no ajustados, siendo la diferencia principal que no parece que exista una tendencia progresiva para los peces liberados en el área de Acapulco en 1969. Por la razón dada en la discusión del método de Skellam, es lógico suponer que el alto esfuerzo ejercido en el área de Manzanillo durante febrero de 1970 se debió por lo menos en parte a una afluencia de peces de las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W.

#### **Método variancia-covariancia**

Se usan en este método las coordenadas cartesianas, en lugar de las

---

coordenadas polares empleadas en el método de Jones. Se supone que cada pez ha sido liberado en el punto (0,0), y la localidad de recaptura se expresa como la distancia este o oeste (X) y norte o sur (Y) de este punto. La matriz variancia-covariancia de las recapturas en el mes  $j$  de un grupo de liberaciones se calcula mediante

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j)^2 / n_j - 1 & \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j) (Y_j - \bar{Y}_j) / n_j - 1 \\ \sum_{i=1}^{n_j} (X_j - \bar{X}_j) (Y_j - \bar{Y}_j) / n_j - 1 & \sum_{i=1}^{n_j} (Y_j - \bar{Y}_j)^2 / n_j - 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (13)$$

donde

$n_j$  = cantidad de devoluciones durante el mes  $j$ ,

$$\bar{X}_j = \sum_{i=1}^{n_j} X_j / n_j \quad y$$

$$\bar{Y}_j = \sum_{i=1}^{n_j} Y_j / n_j .$$

El determinante de la matriz variancia-covariancia se calcula mediante

$$(a_{11} \times a_{22}) - (a_{12} \times a_{21}) \quad (14)$$

y el coeficiente de correlación por

$$[(a_{12} \times a_{21}) / (a_{11} \times a_{22})]^{1/2} . \quad (15)$$

Es evidente que si el desplazamiento de un grupo de peces fue aproximadamente en un ángulo de 45 grados con relación a la abscisa a la ordenada, o sea nordeste, sudeste, sudoeste o noroeste (o en dos direcciones opuestas), sería más probable que el coeficiente de correlación sea significativo que si lo fuera aproximadamente a lo largo de uno de los ejes, o sea norte y/o sur o este y/o oeste. Con el fin de remediar este sesgo se giraron los ejes, empleando un método concebido por el Dr. Robert C. Francis. La abscisa y la ordenada transformadas fueron aquellos ejes a través del origen que estaban en ángulos de 45 grados respecto a la dirección de máxima variabilidad en el sistema original de las coordenadas cartesianas. Esa dirección fue determinada al computar el primer vector característico de la matriz original variancia-covariancia. Este procedimiento pone al máximo los coeficientes de correlación.

Se calcula la matriz ajustada variancia-covariancia mediante

$$\begin{bmatrix} \left( \sum_i^{n_j} \frac{1}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2 / n_j - 1 \right) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) & \left( \sum_i^{n_j} \frac{1}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij}) (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij}) / n_j - 1 \right) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) \\ \left( \sum_i^{n_j} \frac{1}{f_{ij}} (X_{ij} - \bar{X}_{ij}) (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij}) / n_j - 1 \right) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) & \left( \sum_i^{n_j} \frac{1}{f_{ij}} (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij})^2 / n_j - 1 \right) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

donde

$$\bar{X}_{ij} = \sum_i^{n_j} (X_{ij}/f_{ij}) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) \quad y$$

$$\bar{Y}_{ij} = \sum_i^{n_j} (Y_{ij}/f_{ij}) / \sum_i^{n_j} (1/f_{ij}) .$$

El determinante de la matriz variancia-covariancia y el coeficiente de correlación evidentemente se encuentran estrechamente relacionados ya que el primero se obtiene al substraer un número más pequeño de uno más grande y el segundo se obtiene al dividir el mismo número menor por el mismo número mayor y luego se saca la raíz cuadrada del cociente. El determinante de la matriz variancia-covariancia es un índice de la dispersión de los peces; cuando las distancias de los peces son grandes la una de la otra el determinante es grande. Por lo consiguiente es muy similar a los valores  $a_j^2$  del método de Jones. El coeficiente de correlación se aproxima a 0 cuando el desplazamiento es aleatorio y se aproxima a 1 cuando el desplazamiento es solamente en una dirección o en dos direcciones opuestas.

El método variancia-covariancia se basa en probabilidades, así que cuando se ajustan los datos ésto anula las estimaciones del determinante de la matriz variancia-covariancia y del coeficiente de correlación. No obstante, estas estimaciones se presentan en las figuras para compararlas con aquellas obtenidas por los datos no ajustados.

Los promedios de las localidades de recaptura por meses de recaptura, según se calcula de los datos de devolución no ajustados, se presentan en el margen izquierdo de la Figura 8. Los puntos se grafican solo respecto a los meses que incluyen por lo menos cinco devoluciones. Las cifras cerca de los puntos indican los meses de recaptura (1 = enero, 2 = febrero, etc.).

De nuevo es evidente que los peces liberados en el área de Acapulco en 1960 fueron recapturados en su mayoría al noroeste y que los liberados en ese año en el área de Manzanillo fueron recapturados en su mayoría al sudeste. Es además aparente que los peces liberados en las áreas de Manzanillo y Acapulco en 1969 fueron recapturados en su mayor parte al sudeste, mientras que los liberados mar adentro fueron recapturados en su mayoría al este y nordeste. Sin embargo, los peces liberados en el área de Acapulco en 1969 aparecieron en su mayoría hacia el noroeste del área de liberación en febrero 1970, coincidiendo con la gran cantidad de esfuerzo de pesca en el área de Manzanillo durante ese mes. Asimismo, los peces liberados en 1969 en las áreas de los  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$  y  $10^{\circ}\text{N}$ - $108^{\circ}\text{W}$  aparecieron más al norte del área de liberación en febrero que en cualquiera de los otros meses de 1970.

Los diagramas equivalentes a los del margen izquierdo de la Figura 8 se presentan para los datos ajustados de devolución en el margen derecho de la figura. Los diagramas en los márgenes izquierdo y derecho de esta figura se diferencian más los unos de los otros que los de los márgenes izquierdo y derecho de cualquiera otra figura. Parece que los peces liberados en 1969 en el área de Acapulco no emigraron en grandes cantidades al área de Manzanillo a principios de febrero de 1970; así que la captura total fue grande en esa área durante ese mes debido a que los peces que ya estaban allí fueron más vulnerables a la pesca o a causa de que hubo un ingreso de peces de grupos distintos a los que pertenecían los peces liberados en el área de Acapulco en 1969. Lo mismo puede aplicarse a los peces liberados en 1969 a los  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$ ; su desplazamiento a principios de febrero 1970 fue principalmente hacia el este.

Los determinantes no ajustados y ajustados de las matrices variancia-covariancia por meses de recaptura se presentan en los márgenes izquierdo y derecho de la Figura 9. Los resultados son similares a los presentados en las Figuras 4 y 7, siendo la disimilitud principal que las diferencias entre los seis grupos de liberaciones son mayores respecto a las extensiones (rangos) de las distribuciones de los determinantes que para las extensiones de las distribuciones de los parámetros en las otras dos figuras. Se esperaba que los resultados fueran particularmente similares a los de la Figura 7, pero indican una tendencia progresiva con el tiempo correspondiente a los peces liberados en 1969 en el área de Acapulco, que se parece más a la tendencia indicada en la Figura 4 que a la de la Figura 7.

Los coeficientes de correlación no ajustados y ajustados por meses de recaptura se presentan en los márgenes izquierdo y derecho de la Figura 10. Los resultados son similares a los indicados en las Figuras 4, 7 y 9, especialmente la Figura 7. Solo dos coeficientes de correlación no ajustados en meses con más de seis devoluciones no fueron significativos al nivel del 5 por ciento; éstos fueron los coeficientes de correlación del área de Manzanillo en enero 1970 (g. l. = 17,  $r = 0.217$ ) y el área de los  $10^{\circ}\text{N}$ - $100^{\circ}\text{W}$

---



en enero 1970 (g. l. = 27,  $r = 0.356$ ). Sin embargo, los coeficientes de correlación ajustados fueron significativos para ambas áreas ( $r = 0.669$ ,  $P < 0.01$  para el primero y  $r = 0.649$ ,  $P < 0.01$  para el último). Solo hubo un coeficiente de correlación no significativo para los datos ajustados en un mes con más de seis devoluciones; en este caso fue para el área de Acapulco en marzo 1970 (g. l. = 67,  $r = 0.217$ ).

#### **Talla de los peces y efecto de la talla sobre la dirección de desplazamiento**

Sería conveniente comparar la distribución de tallas al momento de liberación de los peces marcados que fueron devueltos con relación a la distribución de las frecuencias de talla de los peces capturados en las mismas áreas al mismo tiempo para ver si los primeros representan estos últimos. Además, es conveniente comparar las direcciones de desplazamiento de los peces de diferentes tallas.

Los datos sobre la distribución de las frecuencias de talla de los peces en las capturas se obtienen rutinariamente por mediciones de muestras de 50 peces poco tiempo después de que han sido desembarcados en los enlatadoras (Hennemuth, 1957). Los datos apropiados se presentan en la Figura 11. Los datos de las frecuencias de talla en 1960 del área de Acapulco consisten en nueve muestras de peces capturados por clípers en esa área en marzo y abril de 1960. Los del área de Manzanillo en 1960 consisten de una muestra de peces capturados por un clíper en esa área en agosto de 1960; estos datos no se presentan en la figura porque los peces marcados y liberados en agosto de 1960 no fueron medidos. Los datos de las frecuencias de talla en 1969 consisten en una muestra de peces descargados por el barco usado para el marcado. (No se obtuvieron otras muestras porque, debido a las regulaciones mencionadas antes, no había otros barcos pescando en el área durante el último trimestre de 1969). Esta muestra incluía una mezcla de peces capturados en las áreas de Acapulco y los  $10^{\circ}\text{N}$ - $108^{\circ}\text{W}$ . Estaba sesgada debido a que se sacaron los peces de los capturados para el marcado y, según se demostrará más adelante, no se seleccionaron porciones iguales de peces de todas las tallas con este propósito.

Los datos sobre la distribución de tallas a tiempo de liberación de los peces marcados que fueron devueltos se presentan también en la Figura 11.

La captura en 1960 en el área de Acapulco parece que consistió en tres grupos de peces, aunque la mayoría de los peces marcados que fueron devueltos parece que pertenecían al grupo del medio. Por lo consiguiente los datos presentados en este informe pueden representar solo las migraciones de los peces del grupo del medio.

Los peces marcados en el área de Manzanillo en 1960 tenían probablemente de unos 50 a 60 cm de longitud (Fink y Bayliff, 1970: 208). Los 50 peces de la muestra correspondiente a la captura tenían en su mayoría de

---

54 a 62 cm de longitud, así que los peces marcados representaban probablemente bastante bien aquellos capturados en esa área durante ese mes.

La muestra sesgada de la captura en 1969 de las áreas de Acapulco y los 10°N-108°W indica dos grupos de peces, uno con peces de una talla inferior a 100 cm y el otro con peces de más de 110 cm. La gran mayoría de los peces marcados que fueron recapturados tenían menos de 100 cm de longitud cuando fueron liberados. Así que en este caso los datos presentados en este informe pueden representar solo las migraciones de los peces más pequeños.

Los peces del grupo más grande, aquellos liberados en el área de Acapulco en 1969, fueron seleccionados para comparar las direcciones de desplazamiento de los peces de diferentes tallas. Se preparó un gráfico de las frecuencias de talla de los peces marcados y liberados en esta área, y basados en esto los peces que fueron devueltos se dividieron en las siguientes categorías: pequeños 42-71 cm (62 peces); medianos, 72-93 cm (294 peces); grandes, 94-126 cm (18 peces); desconocidos (5 peces). Un examen preliminar de los datos indicó que los peces pequeños tienden a migrar más hacia el noroeste que al sudeste, mientras sucede lo contrario con los peces medianos y grandes. Se observó que las porciones de los peces pequeños y medianos difieren entre las caladas realizadas en diferentes localidades en el área de Acapulco, así que las diferencias en dirección de desplazamiento pueden ser debidas a las diferencias en la localidad de liberación en lugar de a las diferencias de talla de los peces. Con el fin de examinar esto se dividieron los datos entre cinco localidades de liberación, tres direcciones de desplazamiento, sudeste (Direcciones 2 y 3), sudoeste (Direcciones 4 y 5) y noroeste (Direcciones 6 y 7) y dos tallas, pequeña y mediana. Los peces se habían liberado en siete áreas de 1 grado, pero se combinaron los datos de dos de ellas con las dos áreas más cercanas de 1 grado para evitar compartimentos vacíos. Los datos de los peces que se desplazaron en las Direcciones 0 y 1 y los de los peces grandes no se consideraron ya que había muy pocos en esas categorías. Los resultados de las pruebas de  $G$  (Sokal y Rohlf, 1969: 601-607) son los siguientes:

Hipótesis	Grados de libertad	$G$	Probabilidad
Independencia de localidad $\times$ talla	6	34.046	$< 0.01$
Independencia de localidad $\times$ dirección	8	33.056	$< 0.01$
Independencia de talla $\times$ dirección	2	20.936	$< 0.01$
Interacción de localidad $\times$ talla $\times$ dirección	8	2.798	$> 0.05$
Total	22	91.286	

La interacción no significativa indica ya sea que la diferencia en las direcciones de desplazamiento de los peces pequeños y medianos fue causada por diferencias en las porciones de los peces pequeños y medianos liberados en las diferentes localidades o que la diferencia en direcciones de desplazamiento de los peces liberados en las diferentes localidades fue causada por diferencias en las porciones de los peces pequeños y medianos en esas localidades. El examen de los datos revela que este último es el caso; por lo consiguiente los peces pequeños tienden a migrar más hacia el noroeste y los peces medianos más hacia el sudeste.

Una prueba de contingencia del ji-cuadrado indica que no hay diferencia en las direcciones de desplazamiento de los peces medianos y grandes ( $\chi^2 = 0.533$ , g. l. = 2,  $P > 0.05$ ). Sin embargo, la cantidad devuelta de peces grandes fue limitada, y la mayoría de éstos fueron más pequeños que los grandes peces de la muestra (Figura 11). Si se hubieran marcado y devuelto porciones iguales de peces capturados de todas las tallas, probablemente hubiera habido más desplazamiento hacia el sudeste y menos al noroeste, pero no se tiene seguridad sobre esto debido a que se liberaron tan pocos peces marcados de una talla superior a los 100 cm.

### SUMARIO Y CONCLUSIONES

El método de mapas, el de Jones y el de la variancia-covariancia son todos útiles para estudiar las migraciones de aleta amarilla, y cada uno presenta información que complementa la presentada por los otros. El método de Skellam, conforme se emplea en este informe, es menos útil.

Los desplazamientos de los peces marcados y liberados en 1960 parecen que hubieran sido fuertemente orientados, pero se indicó que esto probablemente fue causado principalmente por la distribución del esfuerzo de pesca. El esfuerzo se distribuyó más extensamente en 1970, y el desplazamiento de los peces parece que fue menos orientado. Los coeficientes de correlación derivados del método variancia-covariancia indicaron, sin embargo, que de ninguna manera fueron aleatorios.

Una de las cuestiones más interesantes es que si una porción principal de los peces marcados y liberados en las áreas de Acapulco y los 10°N-100°W en 1969 migraron sí o no al noroeste al área de Manzanillo a principios de febrero 1970. Si se hubieran analizado los datos solamente por el método de Skellam se hubiera determinado que este era el caso. Sin embargo, al emplear el método de los mapas, el de Jones y el de la variancia-covariancia se demostró que cuando se ajustan los datos el desplazamiento al área de Manzanillo no tuvo relativamente importancia. Un análisis del desplazamiento por talla indicó que los peces pequeños tienden a desplazarse al noroeste y los medianos y grandes tienden a desplazarse al sudeste.

Sería conveniente comparar los datos de los peces marcados liberados

---

en las mismas áreas durante los mismos meses en otros años para determinar el grado de variación de las migraciones en diferentes años. Estos experimentos fueron iniciados en pequeña escala en 1970, 1971, 1972 y 1973, y las comparaciones se harán eventualmente. Sería además conveniente estudiar las migraciones de los peces marcados liberados en otras áreas, especialmente frente a la América Central y fuera del ARCAA. Los peces marcados fueron liberados en estas áreas en 1970 y 1971, pero en una escala muy inferior a la necesaria. Los experimentos frente a la América Central se iniciaron durante abril, mayo y junio, pero deben iniciarse también durante octubre, noviembre o diciembre para obtener ventaja del período máximo de pesca en esa área durante enero a mayo. Finalmente, sería conveniente marcar y liberar más peces grandes. Desafortunadamente, sin embargo, estos peces son tan difíciles de manipular que ésto sería casi imposible de realizar.

---

## LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Bayliff, W. H. 1971. Estimates of the rates of mortality of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean derived from tagging experiments (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **15** (4): 379-436.
- \_\_\_\_\_. 1973. Materials and methods for tagging purse seine- and baitboat-caught tunas (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **15** (6): 463-503.
- Blunt, C. E., Jr., and J. C. Messersmith. 1960. Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959. *Calif. Fish Game*, **46** (3): 301-369.
- Calkins, T. P., and B. M. Chatwin. 1967. Geographical distribution of yellowfin tuna and skipjack catches in the eastern Pacific Ocean, by quarters of the year 1963-1966 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **12** (6): 433-508.
- \_\_\_\_\_. 1971. Geographical catch distribution of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970, and fleet and total catch statistics, 1962-1970 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **15** (3): 283-377.
- Fink, B. D. 1965. A technique, and the equipment used, for tagging tunas caught by the pole and line method (summary in Spanish). *Cons. Perm. Inter. Explor. Mer, Jour.*, **29** (3): 335-339.
- Fink, B. D., and W. H. Bayliff. 1970. Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **15** (1): 1-227.
- Hennemuth, R. C. 1957. An analysis of methods of sampling to determine the size composition of commercial landings of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **2** (5): 171-243.
- Jones, R. 1959. A method of analysis of some tagged haddock returns. *Cons. Perm. Inter. Explor. Mer, Jour.*, **25** (1): 58-72.
- \_\_\_\_\_. 1966. Manual of methods for fish stock assessment, Part IV—marking (in English, French, and Spanish). *FAO, Fish. Tech. Pap.*, **51**, Suppl. 1.
-

- Joseph, J., and T. P. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **13** (1): 1-273.
- Psaropulos, C. T. (editor). 1966. Computer program manual. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Rep., 1.
- Schaefer, M. B., B. M. Chatwin, and G. C. Broadhead. 1961. Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **5** (5): 341-455.
- Shimada, B. M., and M. B. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **1** (7): 347-469.
- Skellam, J. G. 1951. Random dispersal in theoretical populations. Biometrika, **38**: 196-218.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1969. Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research. W. H. Freeman and Company, San Francisco: xxi + 776 pp.
-