

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

Bulletin — Boletín

Vol. VIII, No. 8

**SOME FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION AND  
APPARENT ABUNDANCE OF YELLOWFIN AND  
SKIPJACK TUNA IN THE EASTERN  
PACIFIC OCEAN**

**ALGUNOS FACTORES QUE AFECTAN LA DISTRIBUCION Y  
LA ABUNDANCIA APARENTE DEL ATUN ALETA AMARILLA  
Y DEL BARRILETE EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by — por

**GORDON C. BROADHEAD and/e IZADORE BARRETT**

La Jolla, California

1964

**CONTENTS — INDICE**  
**ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLÉS**

	Page
INTRODUCTION.....	419
METHODS.....	420
RESULTS.....	422
Distribution in relation to sea surface temperature.....	422
Yellowfin tuna.....	422
Skipjack tuna.....	423
Northern grounds.....	424
Southern grounds.....	425
Distribution of yellowfin tuna in relation to thermocline topography.....	426
Apparent abundance.....	426
Yellowfin tuna.....	426
Skipjack tuna.....	429
Northern grounds.....	430
Southern grounds.....	431
—————	
FIGURES — FIGURAS.....	433
—————	
TABLES — TABLAS.....	451
—————	

**SPANISH VERSION — VERSION EN ESPAÑOL**

	Página
INTRODUCCION.....	454
METODOS.....	455
RESULTADOS.....	457
Distribución con relación a la temperatura de la superficie del mar.....	457
Atún aleta amarilla.....	457
Atún barrilete.....	459
Localidades del norte.....	460
Localidades del sur.....	461
Distribución del atún aleta amarilla en relación a la topografía de la termoclina.....	462
Abundancia aparente.....	462
Atún aleta amarilla.....	462
Atún barrilete.....	466
Localidades del norte.....	467
Localidades del sur.....	468
—————	
LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA.....	470

**SOME FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION AND APPARENT  
ABUNDANCE OF YELLOWFIN AND SKIPJACK TUNA  
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

by

**Gordon C. Broadhead<sup>1</sup> and Izadore Barrett**

**INTRODUCTION**

Since 1951, the Inter-American Tropical Tuna Commission has been investigating the biology, ecology and population dynamics of the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Eastern Pacific Ocean. Of particular importance has been the study of the effects of fishing and of fishery-independent factors on the abundance and distribution of these tunas. For yellowfin tuna there is, on the average, an inverse relationship between total fishing effort and apparent abundance (Schaefer, 1957a). For skipjack there is no evidence to suggest that fishing effort has ever been sufficiently intense to affect measurably the abundance (Schaefer, 1961). Rather, it appears that the year-to-year fluctuations in apparent abundance are independent of the activities of the fishing fleets.

Schaefer (1957b), Shimada (1958), Blackburn and associates (1962) and Radovich (1962) have observed that high and low extremes of sea surface temperature affect the distribution and availability of the tropical tunas. Howard (1962) notes that definitive studies of the effects of temperature and other environmental factors on tuna populations have been hampered by a lack of synoptic data for both the physical properties of the ocean and for the distribution and abundance of the tunas.

Good statistics of total catch, effort expended in obtaining this catch, and the apparent abundance of yellowfin and skipjack tunas are available for the Eastern Pacific for all years since 1934. Detailed information on the geographical distribution of fishing effort and catch is available, for a large share of the fishing vessels, for all years since 1951, through log-book records. Some data on ocean climate are available for the Eastern Pacific Ocean. Renner (1963) has summarized, from U. S. Weather Bureau records, the sea surface temperature information for this region for the period 1947-1958. The most recent temperature data were obtained, in unpublished form, through the courtesy of the Stanford Biological Laboratory of the U. S. Bureau of Commercial Fisheries. A synopsis of the available information on thermocline topography for the Eastern Pacific was published by Cromwell (1958). Data for the individual

---

<sup>1</sup> Present address, Van Camp Sea Food Co., Long Beach, California.

bathythermograph casts are on file at the Scripps Institution of Oceanography. There is at hand, therefore, sufficient information to permit a preliminary examination of the effects of ocean climate on the abundance and distribution of yellowfin and skipjack tunas in the Eastern Pacific Ocean.

Economic factors are also known to have a considerable effect on the evaluation of fishery statistics, a fact that many studies of the effects of ocean climate on fish abundance have failed to recognize. We have also attempted therefore, in a general manner, to relate changes in economic factors to changes in the apparent abundance of the tropical tunas in the Eastern Pacific Ocean.

### METHODS

The data for sea surface temperatures were available for months of the year, for Marsden sub-areas (blocks of four one-degree areas). It was convenient, therefore, to summarize the catch statistics by similar blocks. These areas, designed to cover a major portion of the tropical tuna fishing grounds, are shown in Figure 1. The blocks have been grouped into three series: 'A', which encompasses the coastal fishing areas from California to Chile, and 'B' and 'C', which include the inshore-offshore areas of the fishery near the Revillagigedo Islands and the Galapagos Islands, respectively.

Apparent abundance may be estimated from the catch-per-day's-fishing encountered, on the average, by a large sample of the fishing fleet. These statistics are compiled routinely for baitboats and purse-seiners but only the baitboat series has been used to study the dynamics of the yellowfin and skipjack stocks. Broadhead (1962) has discussed in detail the problems associated with combination of the data from both gears into a single representative series. He formulated a method, for yellowfin tuna, for the conversion of the purse-seine measure of apparent abundance to baitboat equivalent units. However, this technique is not practical for relating the baitboat and purse-seine measures of apparent abundance by small geographic and time strata. Further, it was not possible to compare the efficiency of the two gears for skipjack, as the purse-seine fleet fished selectively for yellowfin tuna during 1959 and 1960 (the years when most of the conversion took place). For this study, it was necessary, therefore, to compute the apparent abundance of yellowfin and skipjack using the baitboat data alone.

Summaries, by month, for the years 1951-1960, were obtained from computer runs as described by Martin (1962). These data were combined for the areas shown in Figure 1 by summing the catch and effort, for each species, for the four one-degree blocks within each of our areas. The catch-per-day's-fishing was then computed (in Class 4 baitboat units) for

all areas where there were six or more standard days' fishing effort during a month. Griffiths (1960) found, in examination of these data, that some editing was desirable to eliminate unreliable measures of apparent abundance often produced by small amounts of fishing effort.

The mean monthly sea surface temperatures were obtained from Renner (1963), who utilized the injection temperatures taken by merchant and naval ships cooperating with the U. S. Weather Bureau. Johnson (1961) discussed the various sources of error inherent in data of this type and cautioned that the unedited temperature records should be regarded as preliminary and subject to some refinement in the future. Saur (1963) studied the errors present in water temperature data taken by merchant and naval vessels and concluded that injection temperatures exceed sea surface temperatures by about one degree Fahrenheit, on the average, due mainly to warming, by the heat of the engine room, of the water at the intake. Despite these limitations, the temperature data are sufficiently reliable to permit comparison of the relative thermal structure of the sea surface in the Eastern Pacific with the apparent abundance of yellowfin and skipjack tunas.

For series 'A' (Areas 1-45), temperatures for each area and month were plotted on a preliminary chart with time on the abscissa and areas along the coast as the ordinate. Projection of data in this manner results in some distortion, which is most evident as a compression of the central portion of the fishery. The projection has the further limitation that east-west and north-south sequences are difficult to plot on the same diagram. However, the presentation has the advantage of permitting an examination of the data in a continuous time and area sequence. Isograms of temperature were constructed by intervals of six degrees, from 62° to 86°F. No corrections were made for the difference between injection temperatures and the actual sea surface temperatures, which probably averaged about one degree lower. Single values were never contoured, so that cells of warm and cold water were always based on two or more adjacent readings. The apparent abundance for each species has been plotted in a similar manner and contoured. Areas of moderate abundance, ranging from one to three tons per standard day's fishing have been lightly shaded. Areas of high abundance, where the catch exceeded three tons per standard day's fishing have been darkly shaded. The unshaded portions of the chart represent areas where no fishing was conducted or where fishing yielded less than one ton per standard day's fishing. Caution must be exercised in the interpretation of the apparent abundance of yellowfin and skipjack for these areas, because the fish could be present and remain undetected due to lack of fishing effort. The wide-ranging activities of the fleet during all months of the year suggest that this source of error is minimal.

Size frequencies, for skipjack tuna, by quarter of the year, for the northern areas of the fishery, were obtained through the market sampling

program of the Tuna Commission, as outlined by Hennemuth (1957).

The depths of the mixed layer, for selected one-degree areas, during the years 1951-1960, were determined from bathythermograms in the files of the B. T. Section at the Scripps Institution of Oceanography. Cromwell (1958) has noted the difficulties in developing completely objective criteria for the determination of depth of mixed layer. Our values for the depths of the mixed layer were to some extent subjective. Mixed layer depth, by one-degree area, was obtained by averaging the readings within each 24-hour period and then averaging the daily values for each month to obtain an estimated depth of mixed layer for each month and one-degree area studied. No monthly values were utilized when less than three readings were available for an area during the month.

## RESULTS

### Distribution in relation to sea surface temperature

#### Yellowfin tuna

The northward progression both of the isotherms and the contours of yellowfin abundance (Figure 2) during the spring and summer months and their retreat during the fall and winter months each year is particularly evident off the coast of Baja California. Areas of moderate abundance (lightly shaded) appear, in eight of the ten years, during May, June, or July, between the 68 and 74 degree isotherms. The subsequent northerly extension of these areas (and those of high abundance) suggests a movement of the yellowfin population northward during the summer months. Tagging information given by Blunt and Messersmith (1960) and Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961) confirm this migratory pattern. During the winters of 1952-1953 and 1957-1958, the areas of moderate yellowfin abundance move southward and remain intact. During all the other winter periods there is a distinct break in abundance contours off Baja California. Blackburn and associates (1962), using the occurrence of yellowfin, and Radovich (1962), using total catch by area, have pointed out that yellowfin tuna were found further to the north during the warm water years of 1957, 1958 and 1959. The positions of the contours of abundance shown in Figure 2 suggest that the bulk of the yellowfin tuna population remained south of Cedros Island even during these warm years, although some catches were made as far north as Southern California.

There is evidence of avoidance by the yellowfin of the extensive patches of very warm water (over 86°F) found off the Mexican and Central American coastline during the 1957-1959 period.

To the south, off Peru, the distribution of yellowfin tuna is generally limited by the northern boundary of the Peru current (Area 35). However, fishing expanded southward briefly during November and December, 1953

and January, 1954 and again during May through December, 1957 and July and August, 1958, when El Niño conditions were present. At these times fishing was excellent in the area around Chimbote Bank (Area 38), located about 350 miles south of the Gulf of Guayaquil. Schaefer, Chatwin and Broadhead (1961) record a considerable interchange of tagged yellowfin between these two areas during the period 1957-1959. Still further south, in the region of the Peru-Chile border (Areas 44-45), yellowfin have been taken seasonally by the commercial fleet since December, 1957. However, it was only during February and March, 1960 that the abundance level was sufficiently high to be contoured in Figure 2.

Series 'B' comprises a continuous group of areas (46-51) along the line extending offshore from the Gulf of California through the Revillagigedo Islands to Shimada Bank. The contours of fish and temperature distribution shown in Figure 3 were prepared in the same manner as described for Series 'A'. The northern portion (Areas 1-9) of the latter series has been included for comparative purposes. Yellowfin tuna are captured in the vicinity of the Revillagigedo Islands at nearly all times of the year, although the area is lightly fished during the hurricane season in late summer and early fall. The discovery of Shimada Bank (Area 51) in 1957 extended the fishing grounds further offshore and some fish have been taken there each year since that time. No relationship was evident between the offshore abundance of yellowfin and the abundance along the coast of Baja California. However, tagging evidence indicates movement of yellowfin between these areas.

Series 'C' comprises a group of areas (52-55) which extends offshore from the Gulf of Guayaquil to the Galapagos Islands. Due to the paucity of temperature data and the diffuse pattern of yellowfin abundance around these islands, the contours of temperature and abundance are not shown. Our examination of the plots of these data revealed no information beyond the seasonal fluctuations in abundance shown by Martin (1962).

In general we may say that the relationship between yellowfin tuna distribution and sea surface temperature is not close; substantial quantities of yellowfin are taken at all temperatures between 68° and 86°F. However, seasonal patterns of abundance are evident, particularly for the fishery off Baja California. The abundance patterns are modified, particularly at the northern and southern extremes of the fishery, during periods of major change in the sea surface temperature.

### **Skipjack tuna**

The contours of apparent abundance of skipjack tuna and of sea surface temperature for Series 'A' are shown in Figure 5, for the years 1951-1960. Some aspects of the pattern of distribution of these catches of skipjack have been discussed by Schaefer (1959), Alverson (1960), Blackburn (1962) and Radovich (1962). However, it is useful to examine the

changes in apparent abundance in the form of a continuous time series. The distribution of skipjack abundance along the inshore fishing areas may be divided into two distinct components for each year in the series, except 1956. With this exception, there is an almost complete absence of skipjack for a distance of 500-1000 miles along the Mexican coast from the Las Tres Marias Islands to the Gulf of Tehuantepec. The northern group is generally present north of 20°N latitude and the southern group present south of the Gulf of Tehuantepec to the coastal waters off Chile. The division of the catches of skipjack into these two groups is most marked during the warm-water years, 1957-1959. This separation is not the result of shifts in fishing effort since there is considerable fishing effort for yellowfin tuna in a nearly continuous band from California to Chile (Figure 2).

#### *Northern grounds*

The northward progression of both the isotherms and the contours of skipjack abundance (Figure 5) during the spring and summer months and their retreat during the fall and winter months each year is particularly evident off the coast of Baja California. Skipjack are taken each year beginning in April, May or June in the waters off Cape San Lucas, at sea surface temperatures between 68° and 74°F. Catches terminate abruptly each year in October, November or December and skipjack are seldom taken in any quantity along the coast during January, February or March, although the waters off the Las Tres Marias Islands and Cape Corrientes are within the temperature range where skipjack are usually taken. The unusual distribution of skipjack abundance during 1956 will be discussed below. In most years skipjack are taken in quantity only as far north as Cedros Island, but during the warm-water period, 1957-1959, substantial catches were made several hundred miles to the north, in the vicinity of the United States-Mexico border. This period was also characterized by an almost complete absence of skipjack along the coast from the Gulf of California to the Gulf of Panama.

The contours of fish and temperature distribution for Series 'B' are shown in Figure 4, together with the northern portion (Areas 1-9) of Series 'A' for comparison. The appearance each year of areas of moderate abundance and good abundance on the offshore grounds precedes, by several months, the appearance of these areas on the grounds off Baja California. The pattern suggests the appearance of the fish at the offshore islands during the winter and early spring months and the subsequent northeasterly movement of these skipjack to the areas off Cape San Lucas and thence northward along the coast during the summer and early fall. These patterns of abundance correlate well with the results of tagging. Schaefer (1961) reports that 34 skipjack (of 2364 releases) tagged during April 1960 near Roca Partida, one of the

Revillagigedo Islands, were recovered along the coast of Baja California during the summer and fall of 1960. Subsequently one skipjack, released in this same group, was recovered during the summer of 1962, in the live-bait fishery off Hawaii (B. D. Fink, personal communication). A second skipjack, tagged during 1960 off Baja California, was recovered in the Hawaiian fishery during 1962.

The distribution of skipjack on the northern grounds was quite unusual during late 1955 and throughout 1956 (Figures 4 and 5). During this period considerable quantities of skipjack were taken around the Las Tres Marias Islands and along the central Mexican coast. Many of these skipjack were large (Figure 6—shaded areas) and contributed a substantial tonnage to the skipjack landings during this period. At the same time catches of skipjack at the Revillagigedo Islands were excellent and these fish were also unusually large (Figure 7—shaded areas). The skipjack catches from these areas in the Eastern Pacific during 1956 contained many large fish of the size commonly taken in the live-bait fishery off Hawaii in contrast to the small skipjack generally taken off the coast of Baja California each year (Figure 8). Studies of the distribution of larval skipjack (Matsumoto, 1958; Strasburg, 1960; and Klawe, 1963) and of gonad development of the adults (Orange, 1961), in the Central and Eastern Pacific, indicate that the major portion of skipjack spawning is in offshore waters. The geographic range of the population is obviously more extensive than the area fished by the commercial vessels. The data suggest, therefore, that the excellent fishing for skipjack in the northern areas of the Eastern Pacific during 1956 may have been due to an influx of a considerable quantity of large skipjack normally inhabiting the areas to the westward of the usual fishing grounds.

#### *Southern grounds*

Off Ecuador and Peru, the seasonal warming and cooling does not have as pronounced an effect on the distribution of the skipjack as it does off Baja California (Figure 5). Catches are made during most months on the southern grounds, although the best fishing occurs off Ecuador, in most years, during April, May and June. To the south, in the Gulf of Guayaquil, near the boundary of the Peru Current, fishing for skipjack is best from September to December and poorest during the warm months of February, March and April. Two occurrences of the "El Niño" phenomenon were reported during the period 1951-1960; the first, of short duration, occurred in 1953 and the second extended from late 1957 through early 1959. These periods of warm water off the coast of Peru coincide with the appearance of substantial quantities of skipjack at Chimbote Bank (Area 38). No catches of any magnitude were made in this area during the "normal" or cold-water periods. Most

catches of skipjack on the southern grounds are from waters between 68° and 74°F, although some fish are taken in considerably cooler water. These latter catches generally occur when the water temperature drops rapidly during a period of high skipjack abundance.

During December 1957 large schools of skipjack were located near the Peru-Chile border (Areas 43, 44 and 45) and, each year since, skipjack have been taken there during the periods of warm water in December, January or February. It is evident that this fishery is not dependent on the warming of the water during the "El Niño" period, but rather is more likely dependent on the warming associated with the tongues of warm water which sporadically enter that area from the west (Wooster, 1960; Sund, 1964).

Examination of the plot for Series 'C,' showing the offshore distribution of skipjack catches around the Galapagos Islands, revealed no new information. The reader is referred to Martin (1962) and Alverson (1963) for a graphic presentation of these data.

### **Distribution of yellowfin tuna in relation to thermocline topography**

The relationship between apparent abundance of yellowfin tuna and the depth of the mixed layer was examined for a region of the Eastern Pacific off Central America (Areas 19-25). This region was selected for study because of the considerable variation, during the year, in depth of the mixed layer and in the catches of yellowfin tuna. In Figure 9 we have plotted the apparent abundance of yellowfin tuna against the depth of the mixed layer, by month and one-degree area strata. The same data were also examined by plotting the apparent abundance for each one-degree area as a percentage of the average abundance for the entire region (Areas 19-25) against the depth of the mixed layer (figure not shown). No relationship between the two parameters was noted in either case.

### **Apparent abundance**

#### **Yellowfin tuna**

Schaefer (1957a), in his study of the effects of the fishery on the stocks of yellowfin tuna in the Eastern Pacific, presented a model to describe the relationship among fishing effort, average abundance and average catch, when the annual catch is in equilibrium with the rate of natural increase of the population. The model assumes that the effects of environmental factors on recruitment, survival and growth are random and will, therefore, average out to zero (along with measurement error) when a long-term series of data is analyzed. Sette (1960) pointed out that the yearly deviations of the actual values of catch-per-day's-fishing from the expected values under equilibrium conditions at that level of fishing

effort should measure the effects of fishery-independent factors (measurement error is again assumed to average zero) on the apparent abundance.

The functional relationship between total effort and apparent abundance of yellowfin tuna was computed by Schaefer (1957a) using catch data for the period 1935-1954. We have added the data for the recent years (1955-1960) to this series and recomputed the relationship between the two variables, using the technique of Bartlett (1949). The individual points and the average relationship between population density ( $\bar{U}$ ) and related total fishing effort ( $Ce/\bar{U}$ ) are shown in Figure 10, together with the fit to the data for the earlier period shown by Schaefer (1957a, Fig. 3). The slightly steeper slope of the line fitted to the complete series (1935-1960) results in an estimate of maximum equilibrium yield of 183 million pounds at 32,349 days of fishing effort. There is no significant difference between these values and those based on the earlier series (1935-1954).

The functional relationship is expressed by the equation,  $\bar{U} = 0.17478(64,704 - Ce/\bar{U})$ , where  $\bar{U}$  is apparent abundance and  $Ce/\bar{U}$  is total effort. The yearly values for  $Ce/\bar{U}$  have been substituted in the equation to obtain corresponding values for  $\bar{U}$ . These have been subtracted from the observed values for  $\bar{U}$ , to estimate the effect of fishery-independent factors on the measure of apparent abundance for each year of the series. These yearly anomalies are listed in Table 1. The effects of the fishery-independent factors, as measured by the anomalies of yellowfin abundance, were then compared to the sea surface temperature anomalies for the Eastern Pacific as follows:

Sea surface temperatures for three widely separated areas, 10, 26 and 37 (Figure 1), were utilized. The temperature data for Areas 10 and 26 were obtained by editing the listings of injection temperatures taken by the merchant and naval vessels cooperating with the U.S. Weather Bureau. Suspect temperatures were eliminated by the rejection of all readings which deviated more than 5°F from the particular mean for that month. Mean values for each month were subtracted from the long-term means for corresponding months to obtain monthly anomalies for each area (10 and 26). These monthly anomalies were smoothed by a running average of three for the 21-year period (1935-1941 and 1947-1960). Anomalies of sea surface temperature for Area 37 were estimated from the shore station readings taken at Puerto Chicama as given by Rodewald (1959) for the data to May, 1957 and from the Consejo de Investigaciones Hidrobiológicas (personal communication) for the period June, 1957 to December, 1960. The smoothed monthly anomalies for the three areas (10, 26 and 37) have been plotted in Figure 11. The agreement (using yearly values) between the data for Areas 26 and 37 is excellent ( $r = +0.82$ , 19 D. F., for yearly anomalies) and the agreement between the data for Areas 10 and 37 is good ( $r = +0.50$ , 19 D. F., for yearly anomalies), despite some years of poor agreement during the 1935-1941 period. The water temperature data

for these early years are probably less reliable than are the data for the more recent years. Certainly for the 1947-1960 period, the correlation among the sea surface temperatures from these three widely separated areas within the Eastern Pacific is remarkably good.

The water temperature data for Area 37 are complete for the entire 1935-1960 period, while there is a five-year gap (1942-1946) in the data for Areas 10 and 26. We have used, therefore, the Puerto Chicama series (Area 37) to provide a complete (although somewhat crude) representation of the sea surface temperature regime throughout the Eastern Pacific for the period 1935-1960, for which we have useful catch statistics for yellowfin tuna. The yearly anomalies of yellowfin tuna abundance are plotted against the yearly anomalies of sea surface temperature at Puerto Chicama in Figure 12. The correlation between the two parameters is significant ( $r = -0.44$ , 24 D.F.); the years of below average water temperature are associated with the positive anomalies of yellowfin abundance and the years of above average temperature are characterized by below average values for yellowfin tuna abundance. There is no measurable lag in the effect of temperature on apparent abundance. This suggests, therefore, that the ocean climate influences the catch rate of yellowfin tuna through factors of availability of the stock to capture by the commercial fishery.

In Figure 10 (Schaefer, 1957a, Fig. 3), the scatter of the individual yearly values for population density and related total fishing effort about the line of equilibrium conditions is great. Confidence limits on the regression line are similarly broad. This dispersion is due, in part, to the effects of ocean climate on the measure of apparent abundance and it is possible to adjust the yearly values for population density using the average relationship between water temperature and apparent abundance of yellowfin tuna shown in Figure 12. The mean square linear regression of apparent abundance on total fishing effort has been computed for the adjusted data and the results compared with those of Schaefer (1957a, page 259). There was no significant difference between the lines for the unadjusted and the adjusted data. However, the scatter of the individual points about the regression line was reduced in the adjusted series. The standard error of the estimate for the original series (1935-1954) was 1,477 pounds, while that for the new series (1935-1960), adjusted by means of the water temperature data, was 1,249 pounds. About one third of this improvement was due to the increase in the number of points available for analysis (26 vs. 20) and the remainder of the improvement in fit due to the adjustment of the data on the basis of the relationship between water temperature and apparent abundance.

The deviations in yellowfin apparent abundance which remain after adjustment for water temperature are listed in Table 1 and plotted in Figure 13 as a continuous series for the period 1935-1961. The periods of

positive and negative anomalies appear in a regular fashion and form two complete periods of about 13 years duration. The general history of the fishery (Shimada and Schaefer, 1956) suggests that the fluctuations may be related to economic changes in the fishery.

To examine this thesis we have estimated the amount of fishing effort and resulting catch of yellowfin tuna for the two major areas, north of 15°N latitude and south of 15°N latitude. For the years 1935-1945 it has been necessary to approximate the effort expended north of 15°N latitude by computing the percentage of the total baitboat catch taken by the three smaller size classes of baitboats, which fish mainly these northern grounds. For the years 1946-1960 the Commission logbook coverage has provided steadily improving estimates of the areal distribution of the catch, and it has been possible to compute, with considerable accuracy, the percentage of the total catch of yellowfin taken from north of 15°N latitude for these years. The percentage of the baitboat catch taken north of 15°N during 1935-1945, the percentage of the total catch taken north of 15°N during 1946-1960, and the deviations of yellowfin abundance (after correction for the temperature effect) are graphed in Figure 13. The positive anomalies of yellowfin tuna abundance appear to be related to periods of economic expansion of the fishery into the southern areas of the Eastern Pacific. Just prior to World War II the fishery expanded to the south and a decreasing share of the total catch was taken on the northern grounds. However, the war restricted fishing to the northern grounds again by taking most of the long-range fishing vessels for military purposes. Shortly after the war, the expansion of the fishing fleet resumed and the southern stocks were again subjected to heavy fishing pressure from the growing fleet of large vessels. Fishing was once more curtailed during the 1950's due to economic pressures from the increasing quantity of imported tuna available to California canners.

The relationship between the changes in distribution of fishing effort due to economic factors and the measure of apparent abundance for yellowfin tuna emphasize the need for caution in the use of short-term trends in apparent abundance as a measure of change in population size. To avoid this bias it would be necessary to examine a series of at least 13 years of apparent abundance values, when the Eastern Pacific fishery is considered as a homogeneous unit.

### **Skipjack tuna**

Shimada and Schaefer (1956) and Schaefer (1954) suggest that the fishing effort for skipjack in the Eastern Pacific Ocean has not reached a sufficiently high intensity to measure any effect of the fishery on the stock size, in the presence of variability due to fishery-independent factors. These studies have considered the skipjack population to be a homogeneous

group of fish occupying the entire range of the fishery off the west coast of the Americas. Examination of Figure 4 shows that in all but one year (1956) of the 10-year series, the catches of skipjack are divided into two distinct components: those fish caught off Baja California and around the Revillagigedo Islands and those taken from south of the Gulf of Tehuantepec to northern Chile and offshore around the Galapagos Islands. We have examined separately, therefore, the changes in apparent abundance of skipjack for these two major areas, for the period 1946-1961. The problem is complicated by the fact that fishing for yellowfin tuna may, at times, affect the measure of apparent abundance of skipjack. Shimada and Schaefer (1956) note that for baitboat vessels of size class 4 (201-300 tons capacity), fishing for skipjack may have been affected somewhat by the abundance of yellowfin and, for size classes 5 and 6 (301 tons and greater capacity), it was fairly obvious that as the abundance of yellowfin dropped (about 1948), fishing became relatively more intense on skipjack.

#### *Northern grounds*

Figure 14 shows the measure of apparent abundance of skipjack plotted against that for yellowfin tuna for the area north of  $15^{\circ}\text{N}$  latitude, each year for the period 1946-1961, for three groups of baitboats, size classes 1 and 2, 3 and 4, and 5 and 6. For the first two groups there is no evidence that fishing for one species has been influenced by the abundance of the other. However, for the largest vessels (size classes 5 and 6) there is clear evidence, particularly during the early years of the series, that the years of high yellowfin abundance were associated with low skipjack abundance. Therefore, we have used only classes 1-4 to compute the measure of apparent abundance of skipjack for the northern component of the fishery.

To examine the relationship between fishing effort and apparent abundance, it was necessary to estimate the total catch of skipjack each year from the northern and southern components of the fishery. Prior to 1946, the data respecting the areal distribution of the skipjack catch are not sufficiently reliable to permit a division of the total catch for the Eastern Pacific into its component parts. For the years 1946-1949, we have divided the total catch in the following manner. The catch of skipjack by the purse-seine fleet (Shimada and Schaefer, 1956, Table 2) each year was subtracted from the estimated total catch for the Eastern Pacific Ocean (Schaefer, 1962, Table 1), as most of the fishing by this fleet, during these years, was on the northern grounds. The remaining catch of skipjack was then prorated to the areas north and south of  $15^{\circ}\text{N}$  latitude on the basis of the baitboat logbook records available for these years. The purse-seine catch was then added to the prorated baitboat value to estimate the total catch of skipjack for the northern component. The re-

mainder of the skipjack catch for the Eastern Pacific was designated as originating from the southern component. For the years 1950-1961, more precise estimates of total catch were obtained by combining the catch of skipjack from north of  $16^{\circ}\text{N}$  latitude (Shimada and Schaefer, 1956, Table 7, and Broadhead, 1964, Table 5) with the imports to the United States from Mexico and Mexican domestic production. As few skipjack are caught from the area between  $15^{\circ}$  and  $16^{\circ}\text{N}$ , the data for the catch north of  $16^{\circ}$  can be utilized without appreciable error. Estimates of total catch of skipjack from the southern grounds were obtained by subtraction of the northern total from the catch of the Eastern Pacific (Schaefer, 1962, Table 1). These data are given in Table 3.

Figure 15 shows the relationships between apparent abundance and total effort, and total catch and total effort, for the northern grounds, for the period 1946-1961. Surprisingly, there is little year-to-year variation in the measure of apparent abundance of skipjack, the range being from 4039 to 6366 pounds per day's fishing. There is no correlation between apparent abundance and total effort. The plot of total catch against total fishing effort appears to be linear, with the total catch rising in proportion to the amount of fishing effort. The greatest total catch taken from the northern area occurred in 1956 when close to 60 million pounds were landed.

These data suggest that the fishing for skipjack in the northern region has not reached a sufficiently high intensity to measure any effect of the fishery on stock size. Therefore, variations in the values for apparent abundance over the 16-year period probably reflect the fluctuations in abundance due to fishery-independent factors. The apparent abundance of skipjack for the northern area was plotted against the yearly anomalies of sea surface temperature (figure not shown) for Area 10. No relationship between the two parameters was evident.

#### *Southern grounds*

Figure 16 shows the measure of apparent abundance of skipjack, plotted against that for yellowfin tuna for the area south of  $15^{\circ}\text{N}$  latitude, each year for the period 1946-1961, for two groups of baitboats, size classes 3 and 4, and 5 and 6. For the smaller vessels there is some evidence that fishing for yellowfin tuna may have affected the catches of skipjack for the years prior to 1952. For the largest vessels (classes 5 and 6) the values for skipjack abundance clearly fall low during the early years of the series and there is some evidence that this bias continued at a reduced rate up to 1953. We have used only the statistical data for classes 3 and 4 in computing the apparent abundance of skipjack for the southern region, with the realization that there is some selectivity against skipjack during the early years of the series.

Year-to-year variation in the apparent abundance of skipjack in the southern region is large; catch-per-day's-fishing ranges from 2731 to

19,132 pounds over the 16-year period. Figure 17 shows the relationships between apparent abundance and total effort, and total catch and total effort, for the southern grounds, for the period 1946-1961. The greatest total catch from this area was 142 million pounds during 1959. There is some suggestion of a limitation in total catch and a decrease in apparent abundance as total effort increases. However, there is considerable scatter in the data, they cover a relatively short period of time and the trends are greatly influenced by the 1960 and 1961 points.

We have plotted the apparent abundance of skipjack on the southern grounds against the yearly anomalies of sea surface temperature for Area 37 (figure not shown). No relationship between the two parameters was evident.

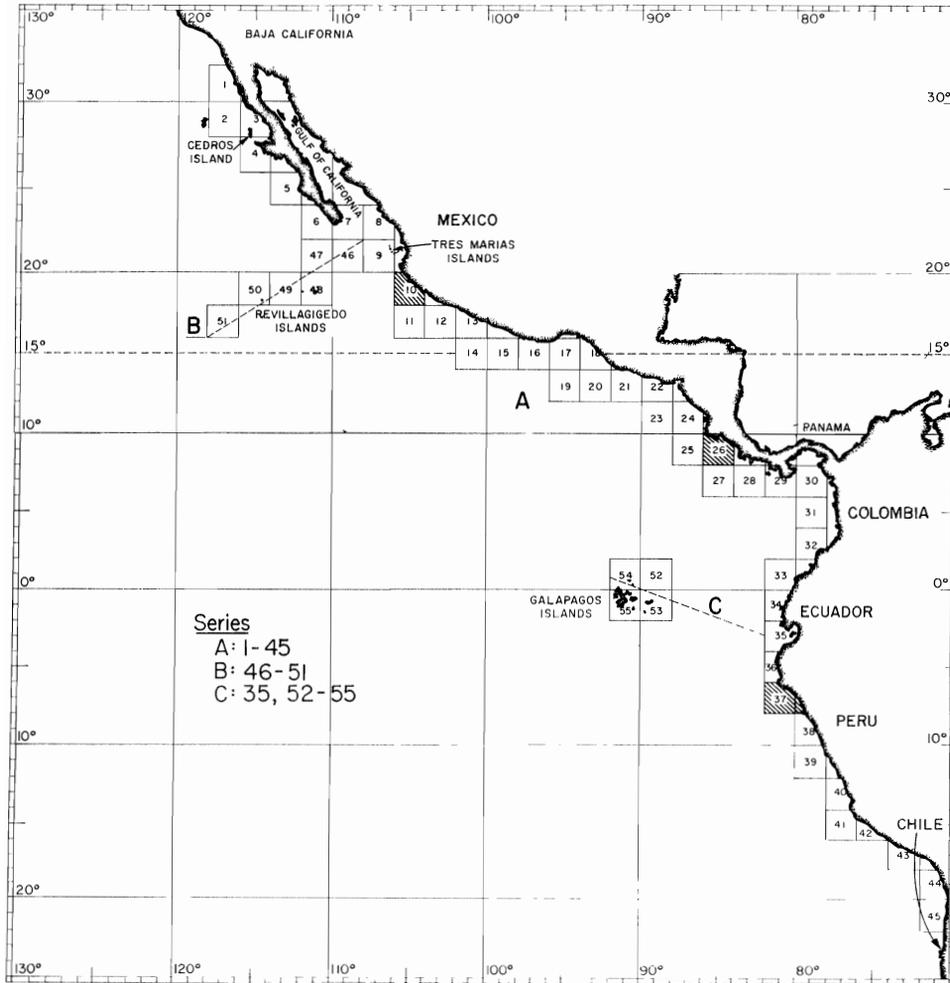
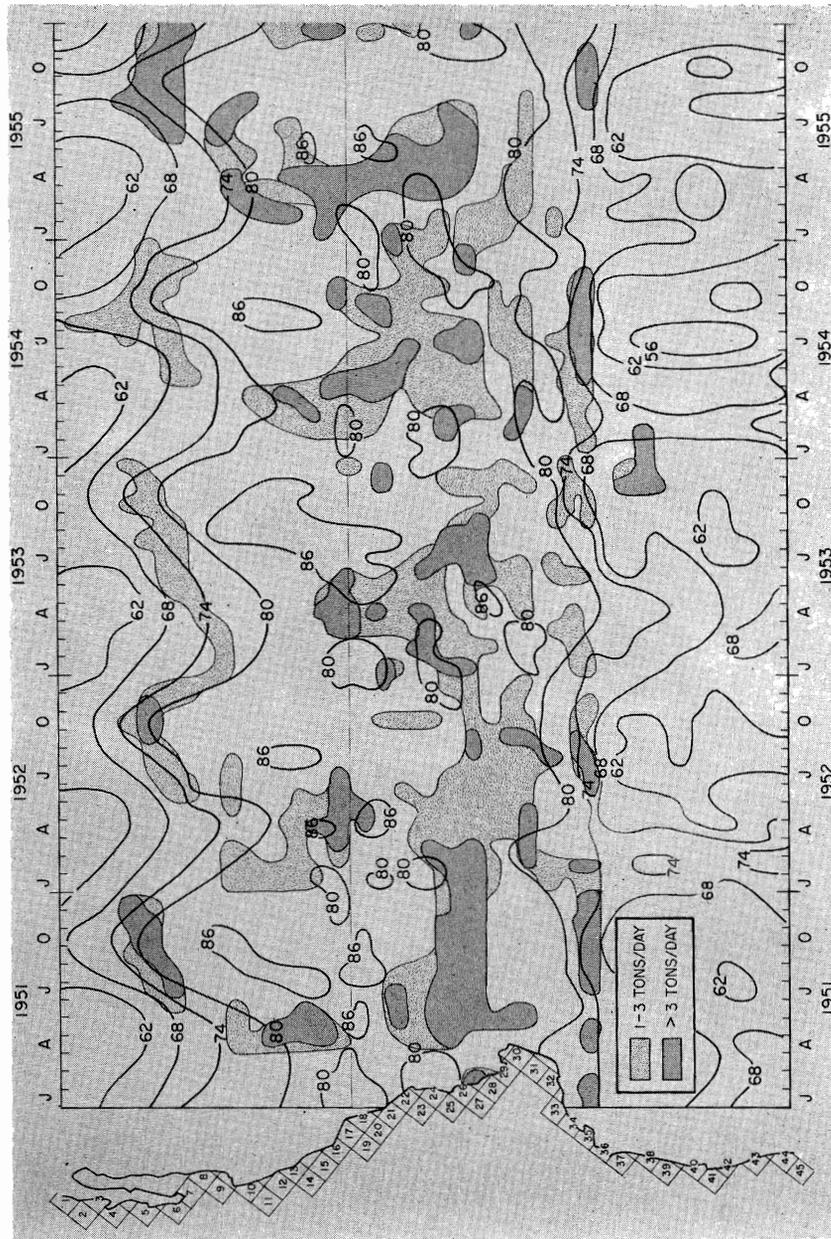


FIGURE 1. Outline of the geographical areas used in this study.

FIGURA 1. Croquis de las áreas geográficas usadas en este estudio.



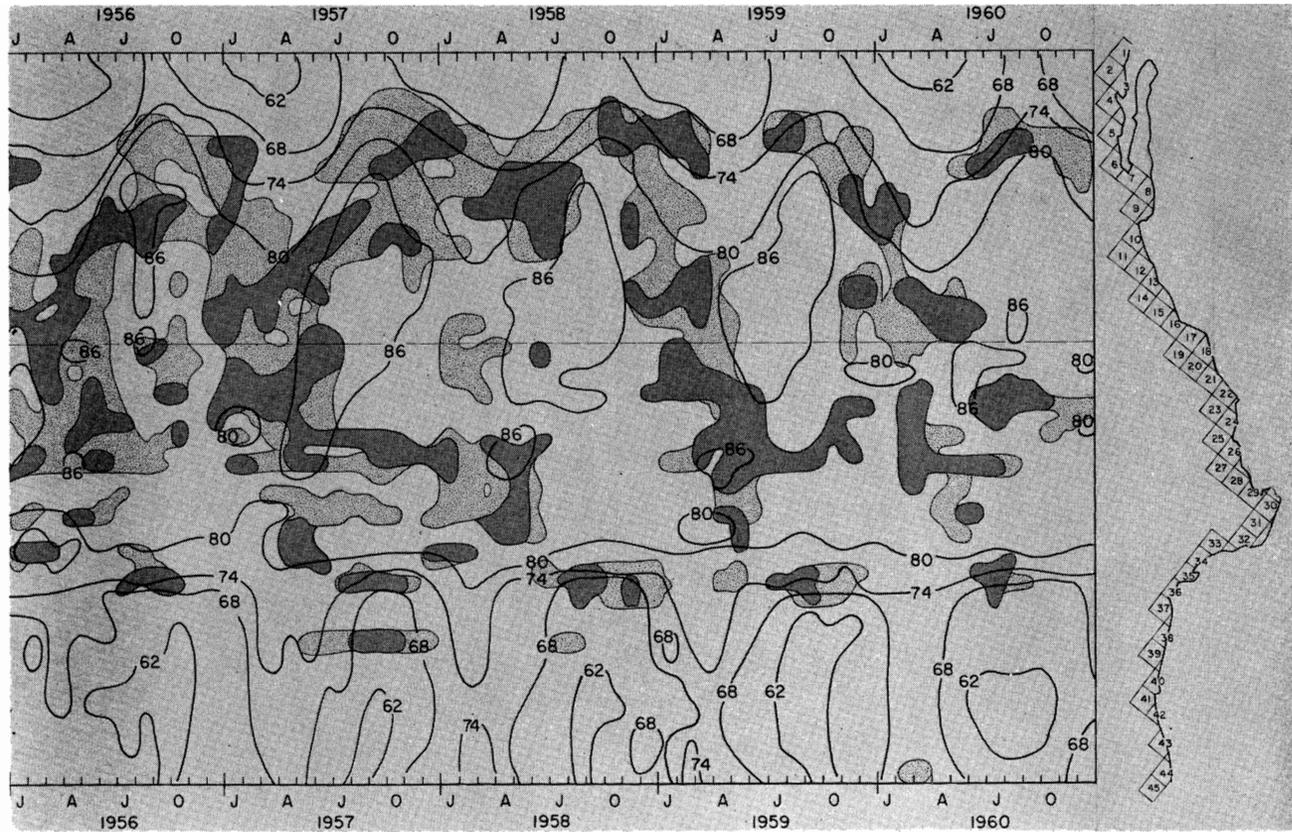


FIGURE 2. Contours of water temperature and yellowfin abundance for series 'A', 1951-1960.

FIGURA 2. Contorno de la temperatura del agua y de la abundancia del atún aleta amarilla correspondiente a la serie 'A', período 1951-1960.

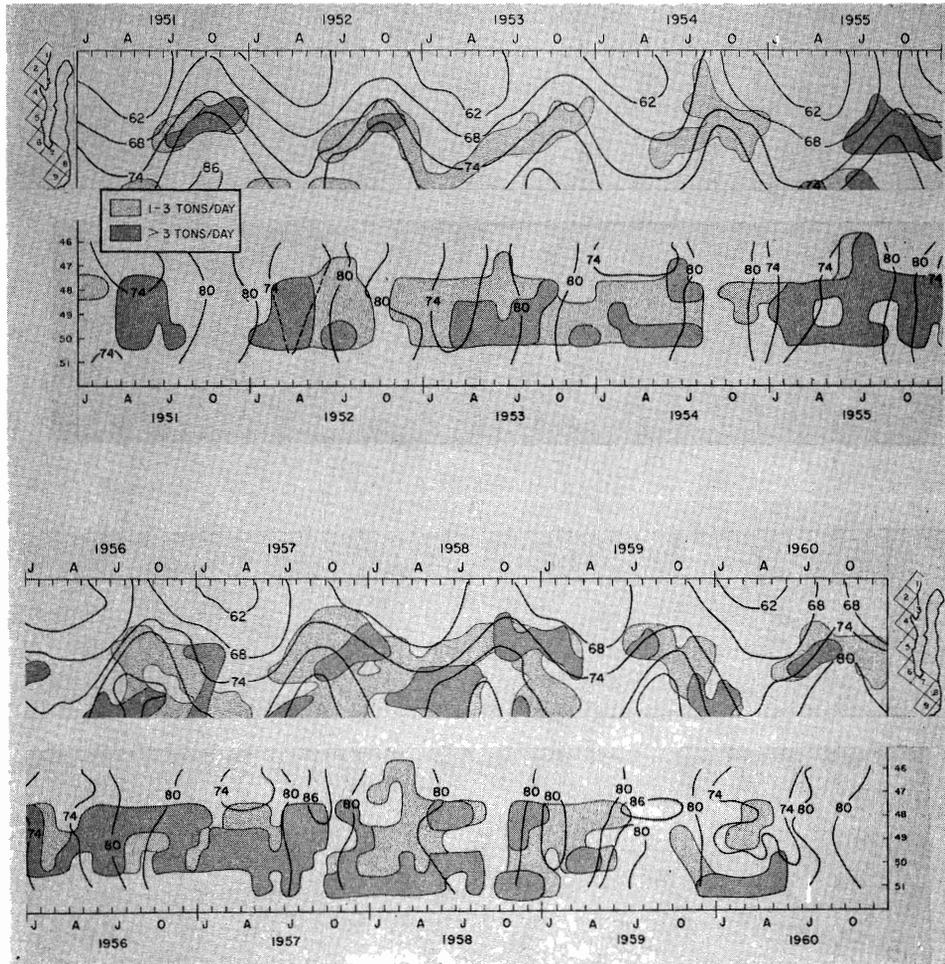


FIGURE 3. Contours of water temperature and yellowfin abundance for series 'B', and the northern portion of series 'A', 1951-1960.

FIGURA 3. Contorno de la temperatura del agua y de la abundancia del atún aleta amarilla correspondiente a la serie 'B', y al sector del norte de la serie 'A', período 1951-1960.

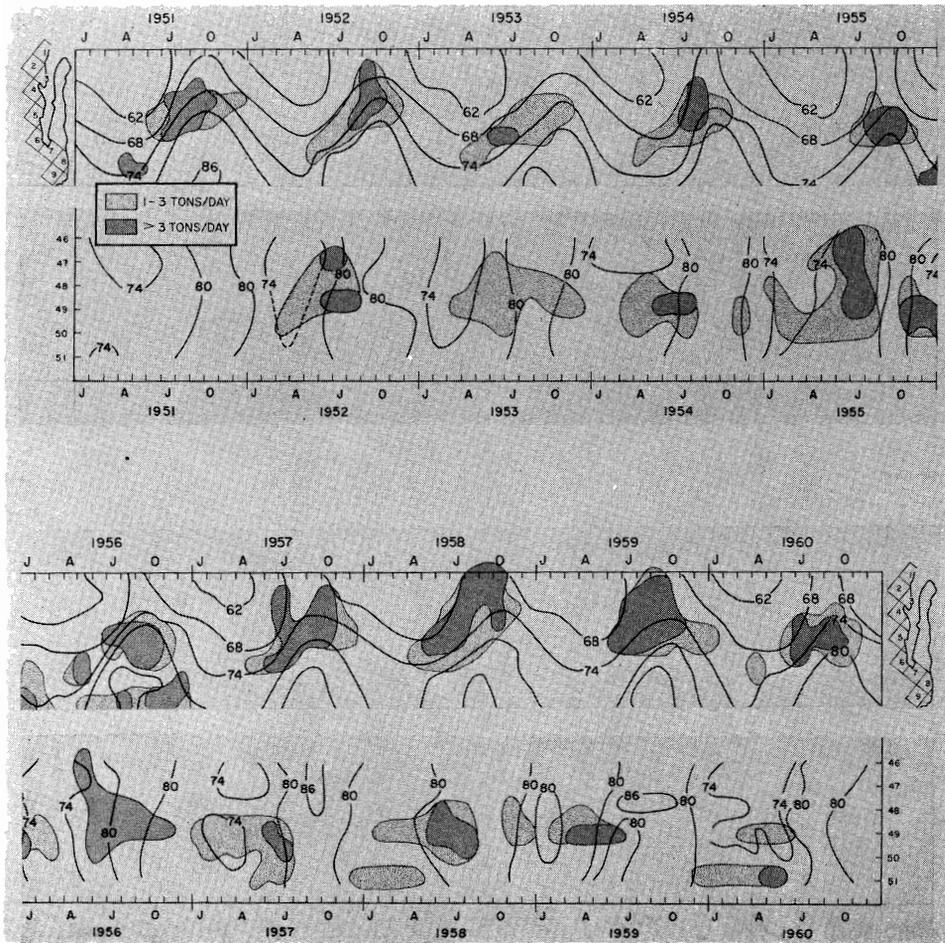
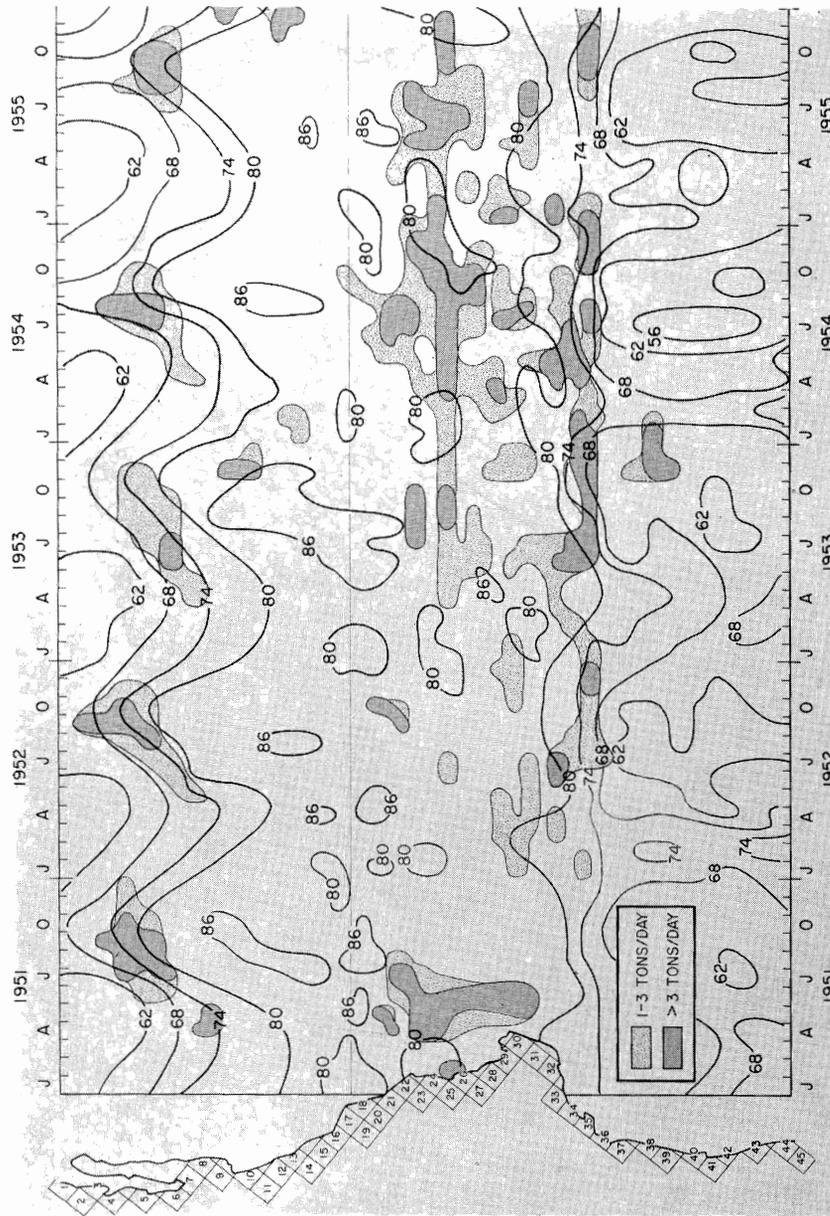
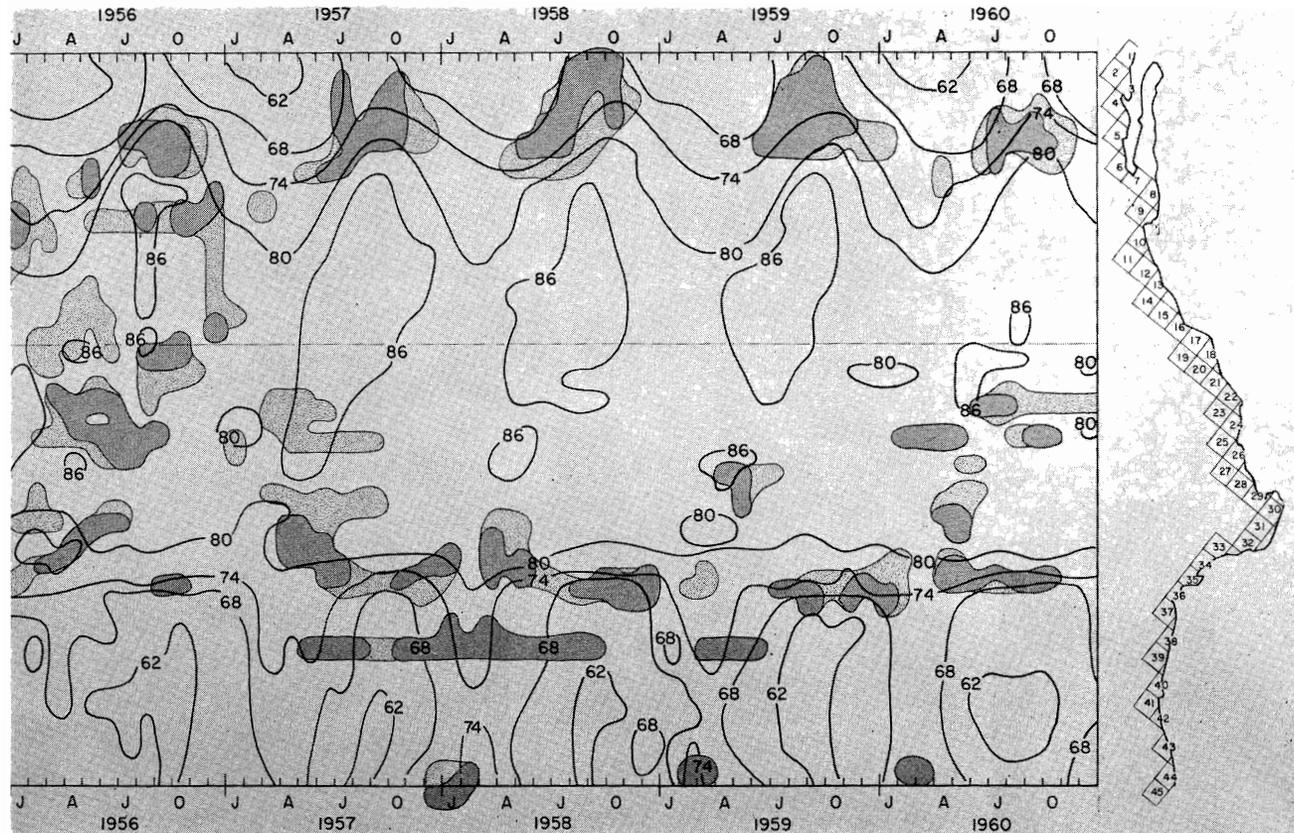


FIGURE 4. Contours of water temperature and skipjack abundance for series 'B' and the northern portion of series 'A', 1951-1960.

FIGURA 4. Contorno de la temperatura del agua y de la abundancia del barrilete correspondiente a la serie 'B' y al sector del norte de la serie 'A', período 1951-1960.

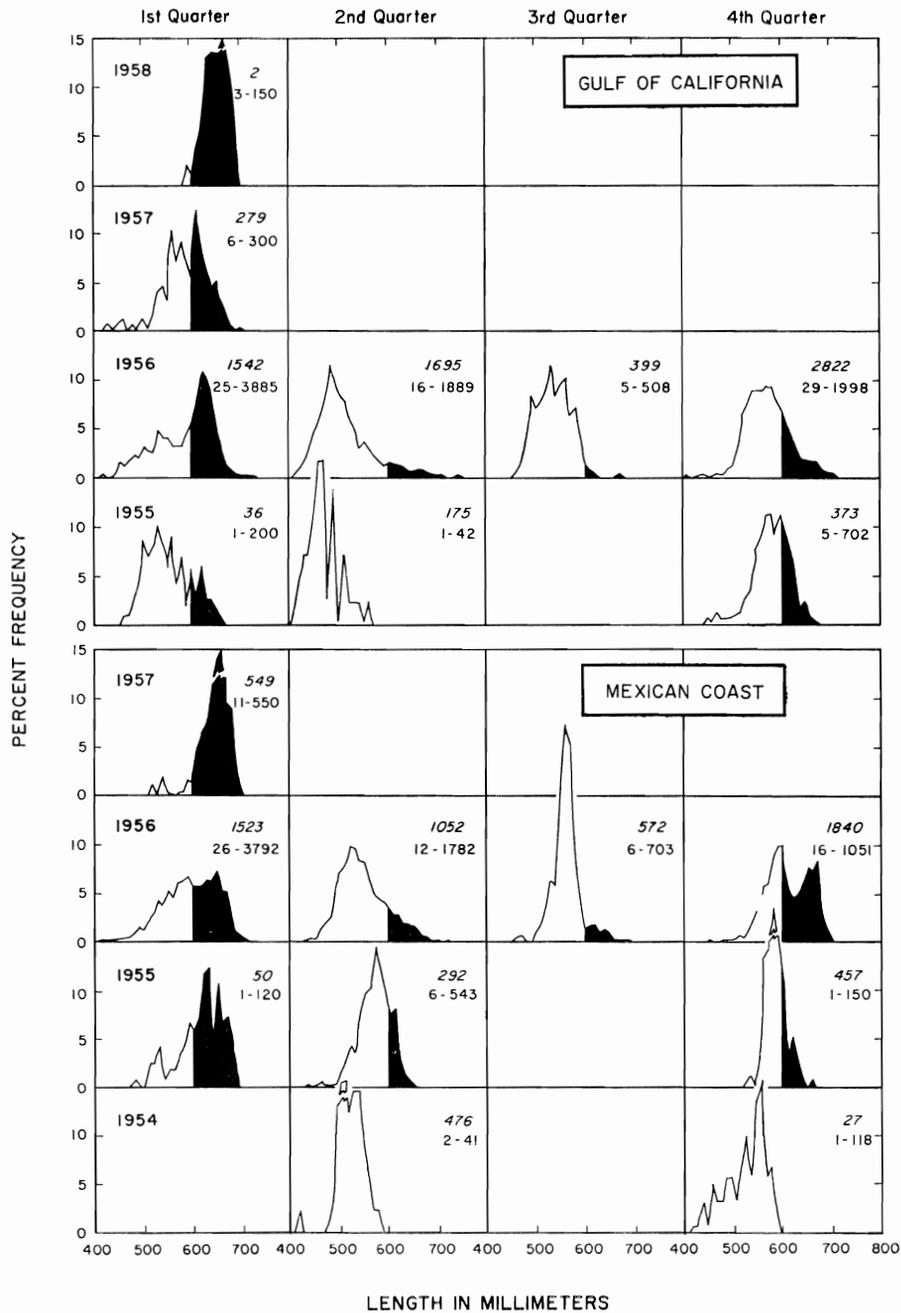




DISTRIBUTION AND APPARENT ABUNDANCE

FIGURE 5. Contours of water temperature and skipjack abundance for series 'A', 1951-1960.

FIGURA 5. Contorno de la temperatura del agua y de la abundancia del barrilete correspondiente a la serie 'A', período 1951-1960.



**FIGURE 6.** Size distribution of skipjack, by quarter of the year, for the Gulf of California and Mexican coastal areas. Upper number in each panel shows catch in tons (baitboat log-book data), while the lower numbers indicate number of samples and total number of fish measured, respectively.

**FIGURA 6.** Distribución de tamaño del barrilete, por trimestres del año, correspondiente al Golfo de California y a las áreas costeras mexicanas. Las cifras situadas en la parte superior en cada panel indican la captura en toneladas (datos de los diarios de pesca de los clipers), mientras que las cifras debajo de aquellas indican el número de muestras y la cantidad total de peces medidos, respectivamente.

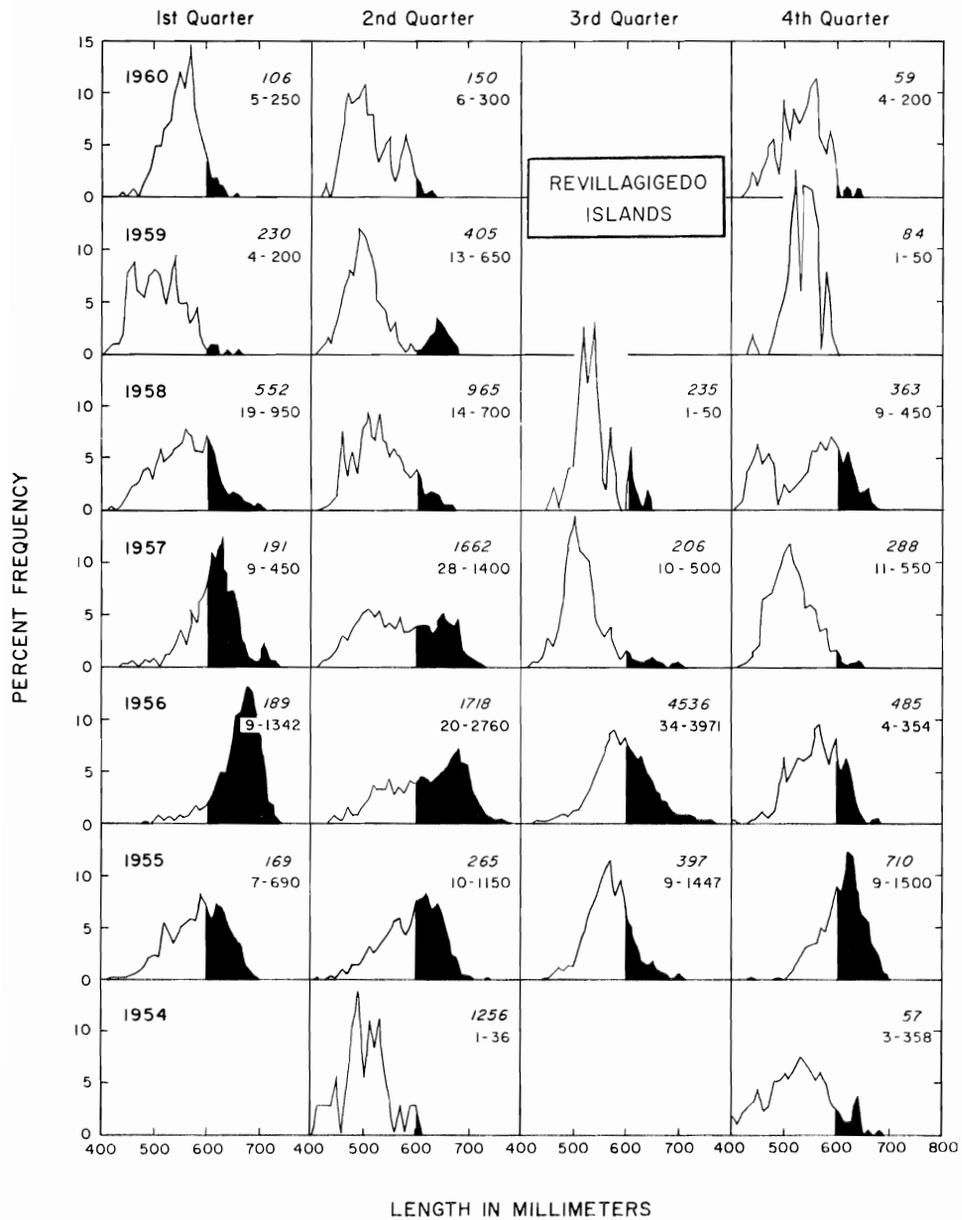


FIGURE 7. Size distribution of skipjack, by quarter of the year, for the Revillagigedo Islands area. See Figure 6 for explanation of legends.

FIGURA 7. Distribución de tamaño del barrilete, por trimestres del año, correspondiente al área de las Islas Revillagigedo. Véase la Figura 6 para la explicación de las leyendas.

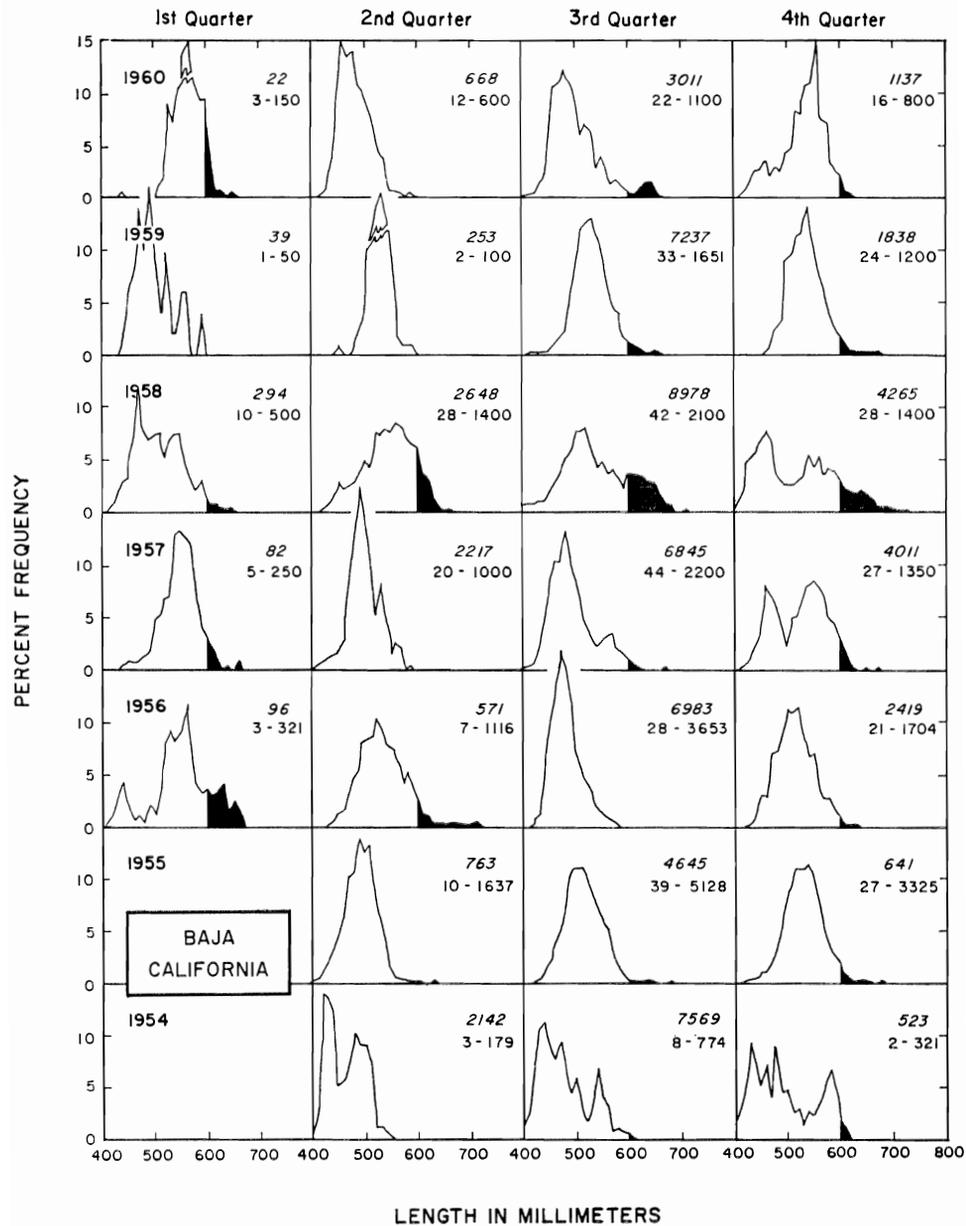


FIGURE 8. Size distribution of skipjack, by quarter of the year, for the coastal areas of Baja California. See Figure 6 for explanation of legends.

FIGURA 8. Distribución de tamaño del barrilete, por trimestres del año correspondiente a las áreas costeras de Baja California. Véase Figura 6 para la explicación de las leyendas.

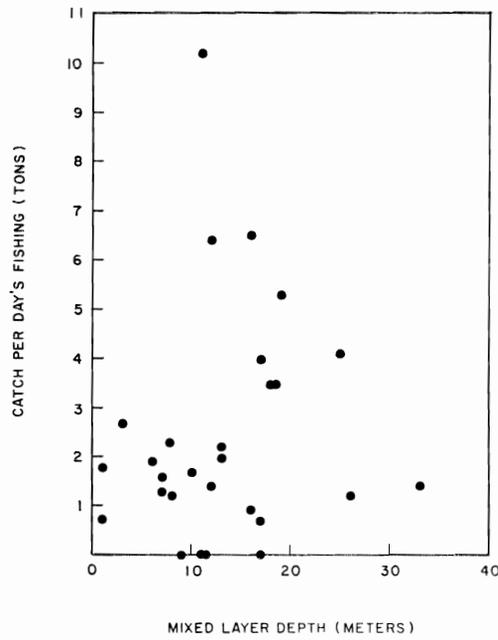


FIGURE 9. Relationship between depth of the mixed layer and apparent abundance of yellowfin tuna, by one-degree and month strata, 1951-1960.

FIGURA 9. Relación entre la profundidad de la capa mixta y la abundancia aparente del atún aleta amarilla, por estratos de un grado y un mes, periodo 1951-1960.

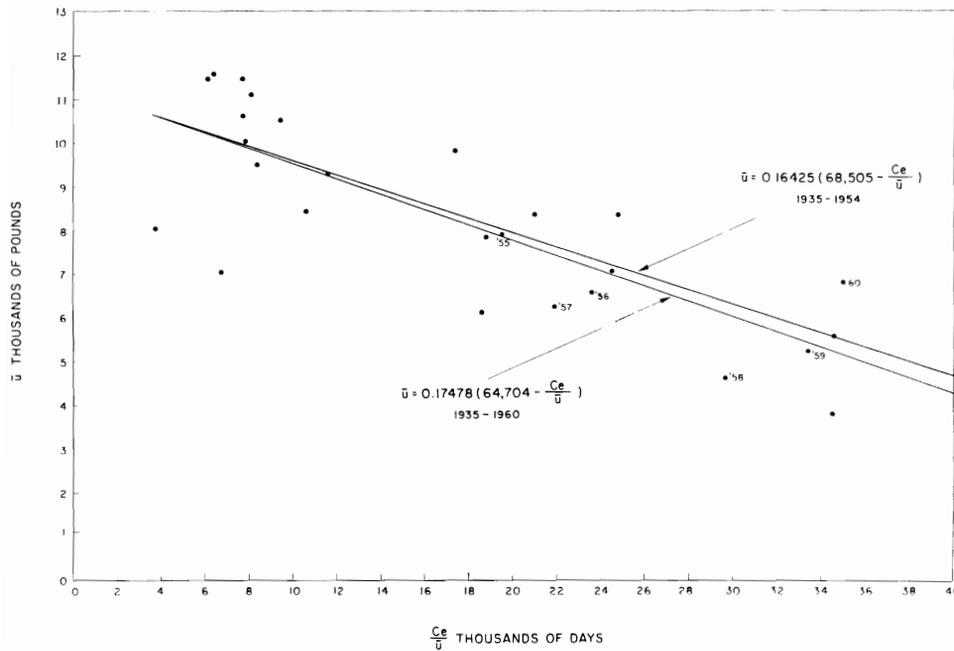
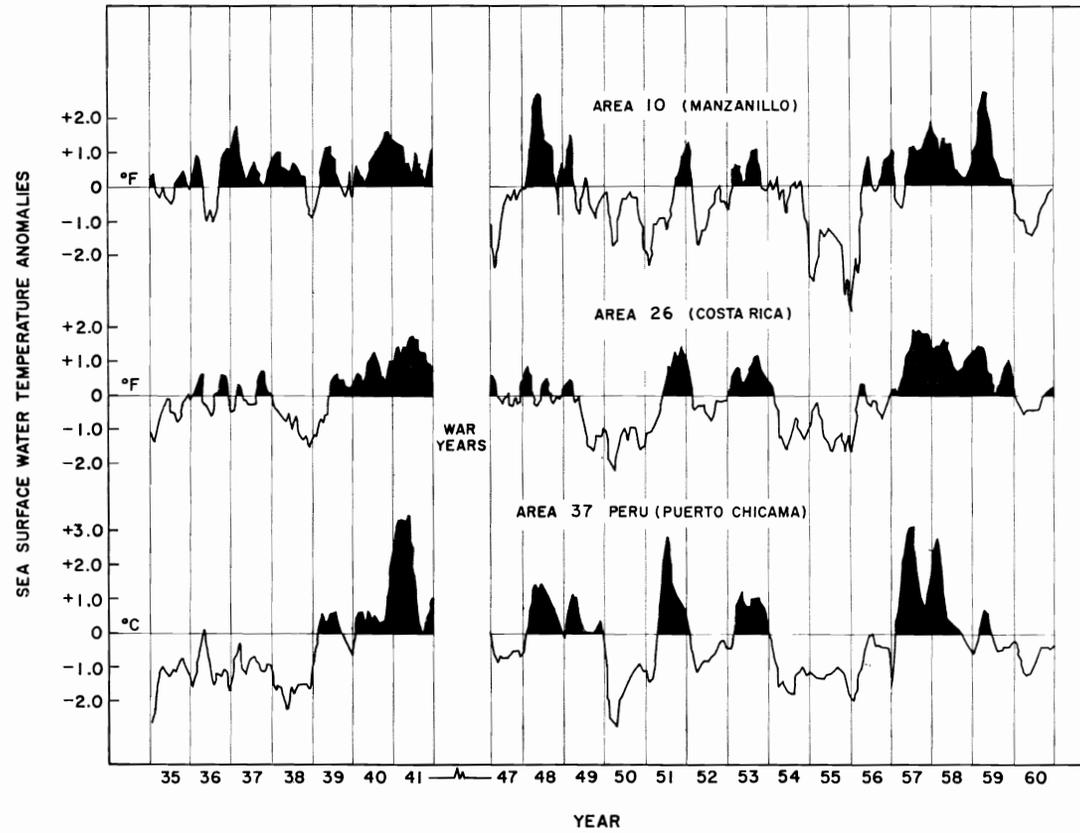


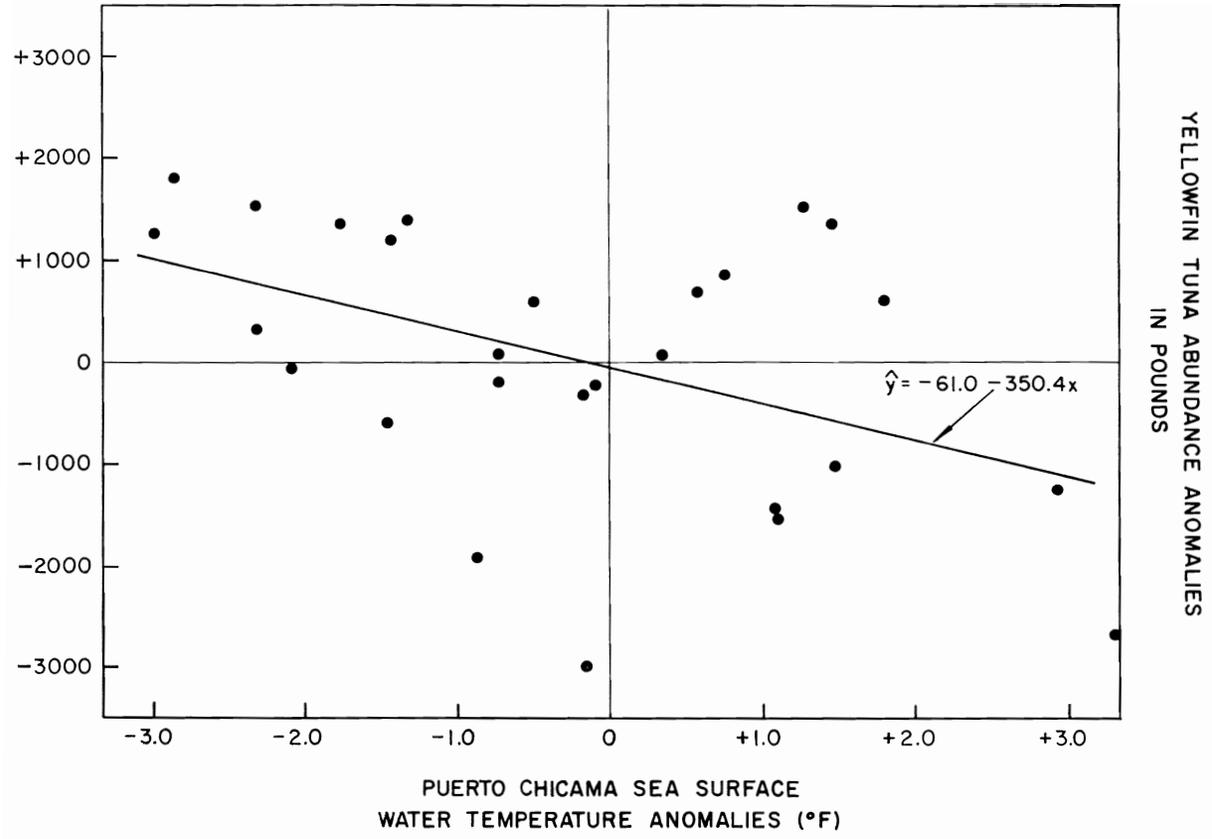
FIGURE 10. Relationships among fishing intensity, abundance, and equilibrium yield, assuming  $1/k_2 = 26,275$  (after Schaefer, 1957a), for periods 1935-1954 and 1935-1960.

FIGURA 10. Relación entre la intensidad de la pesca, la abundancia y el rendimiento del equilibrio, bajo la suposición de que  $1/k_2 = 26,275$  (según Schaefer, 1957a), correspondiente a los periodos 1935-1954 y 1935-1960.



**FIGURE 11.** Comparison of sea surface temperature anomalies for three areas in the Eastern Pacific Ocean.

**FIGURA 11.** Comparación de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en tres áreas del Océano Pacífico Oriental.



**FIGURE 12.** Relationship between sea surface temperature anomalies and yellowfin tuna abundance anomalies, 1935-1961.

**FIGURA 12.** Relación entre las anomalías de la temperatura de la superficie del mar y las anomalías en la abundancia del atún aleta amarilla, período 1935-1961.

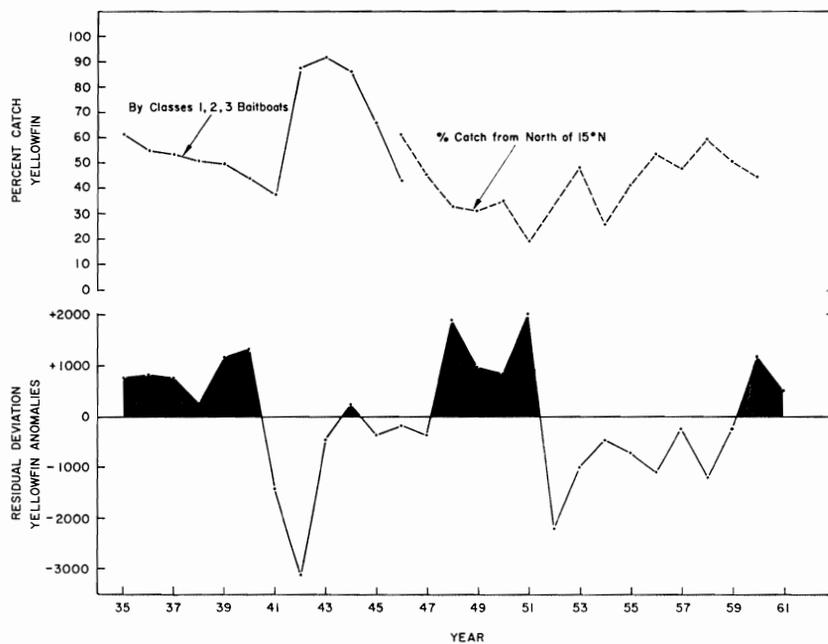


FIGURE 13. Comparison of residual deviation in the anomalies of yellowfin tuna abundance with changes in distribution of fishing effort.

FIGURA 13. Comparación de la desviación residual en las anomalías de la abundancia del atún aleta amarilla con los cambios en la distribución del esfuerzo de pesca.

AREAS NORTH OF 15° N LATITUDE

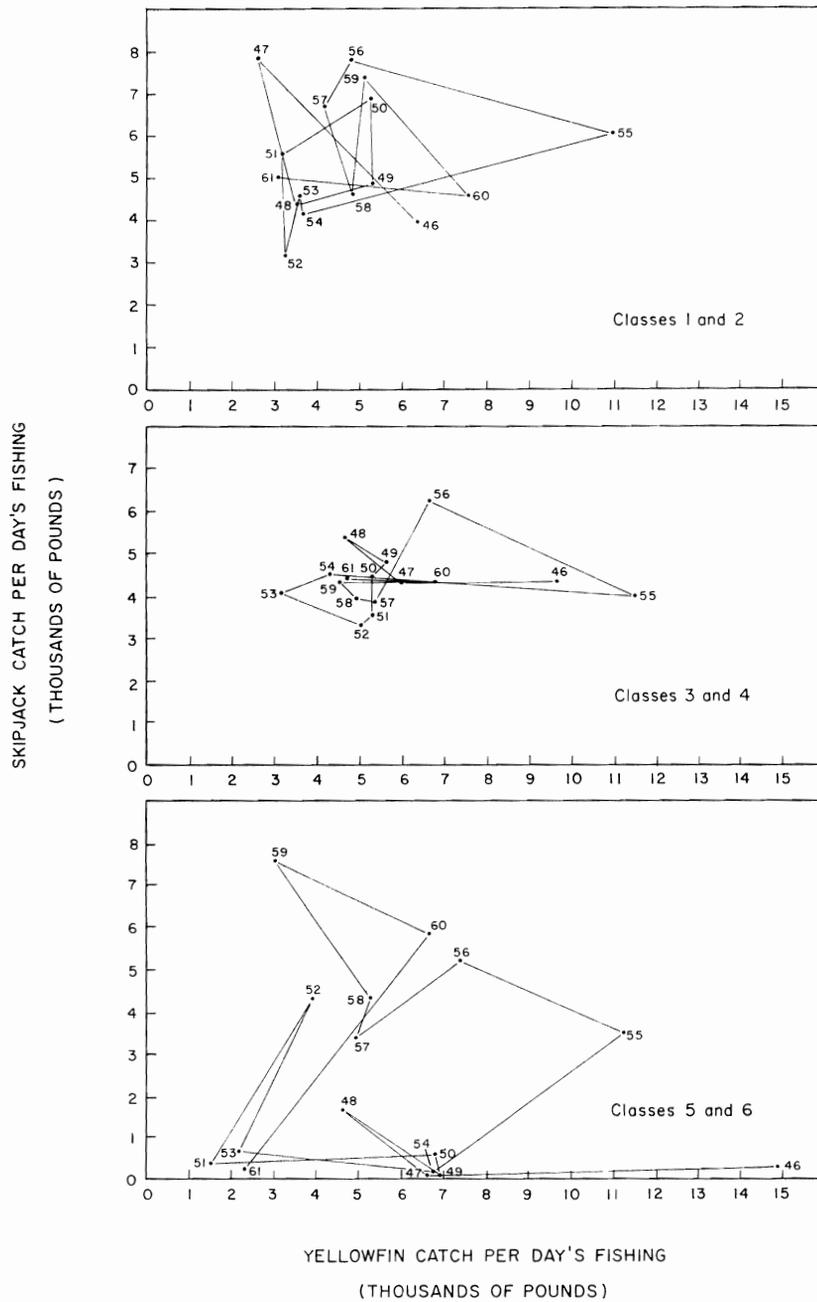


FIGURE 14. Catch per day's fishing for skipjack plotted against catch per day's fishing for yellowfin, 1946-1961, by vessel size-category, for areas north of 15°N latitude.

FIGURA 14. Captura por día de pesca del barrilete, graficada contra la captura por día de pesca del atún aleta amarilla, período 1946-1961, por categorías de tamaño de los barcos, en las áreas al norte de los 15°N de latitud.

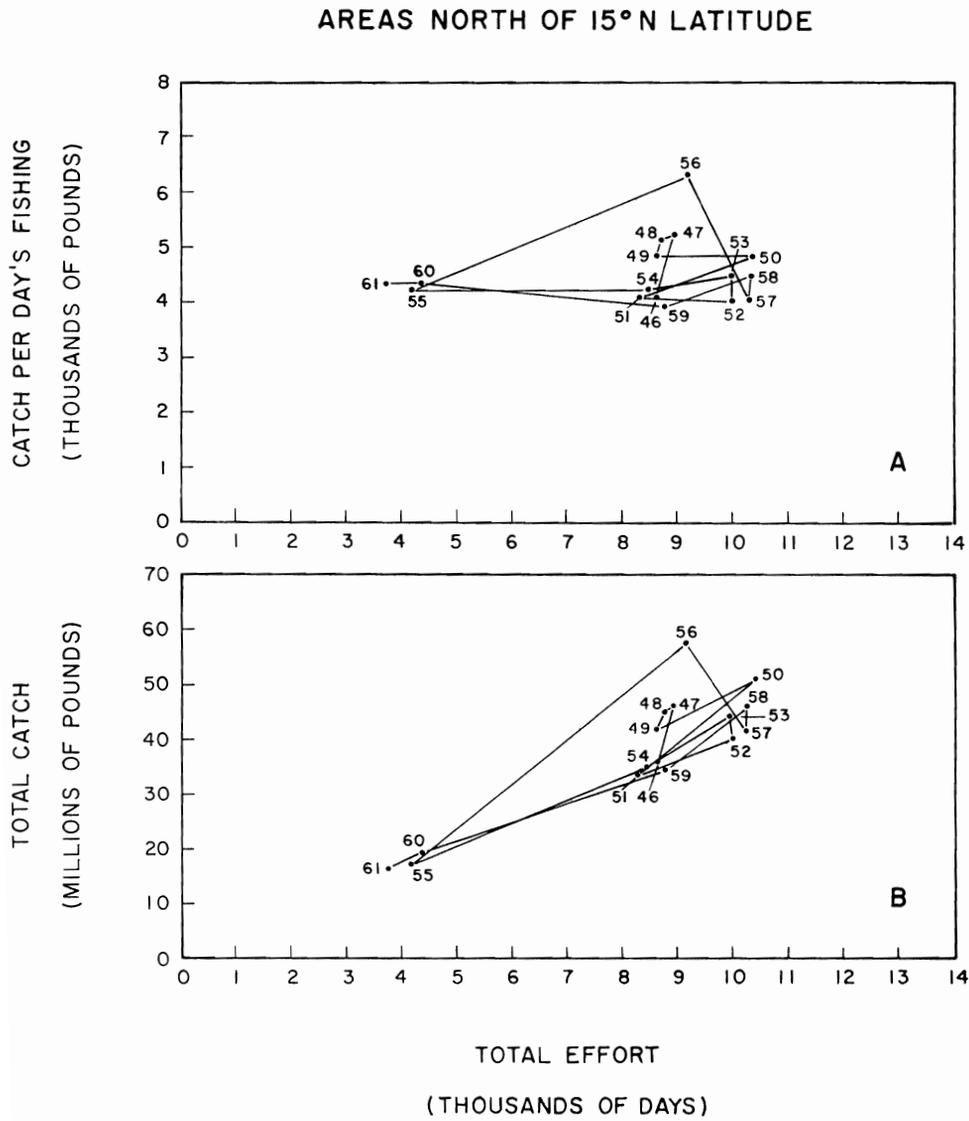


FIGURE 15. Total catch plotted against total effort and catch per day's fishing plotted against total effort, for skipjack, 1946-1961, for areas north of 15°N latitude.

FIGURA 15. Captura total graficada contra el esfuerzo total, y captura por día de pesca graficada contra el esfuerzo total, correspondiente al barrilete, período 1946-1961, y a las áreas al norte de los 15°N de latitud.

AREAS SOUTH OF 15° N LATITUDE

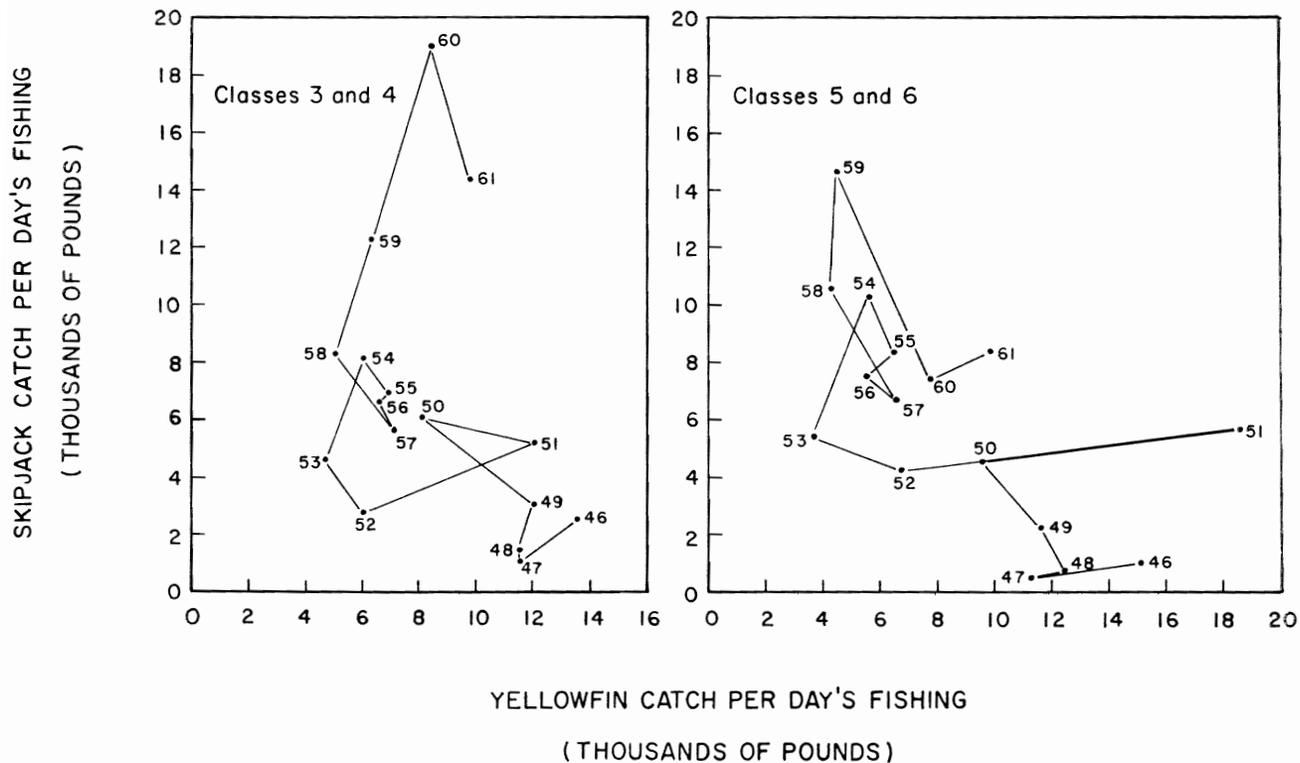


FIGURE 16. Catch per day's fishing for skipjack plotted against catch per day's fishing for yellowfin, 1946-1961, by vessel size-category, for areas south of 15° N latitude.

FIGURA 16. Captura por día de pesca del barrilete graficada contra la captura por día de pesca del atún aleta amarilla, período 1946-1961, por categorías de tamaño de los barcos, en las áreas al sur de los 15° N de latitud.

## AREAS SOUTH OF 15°N LATITUDE

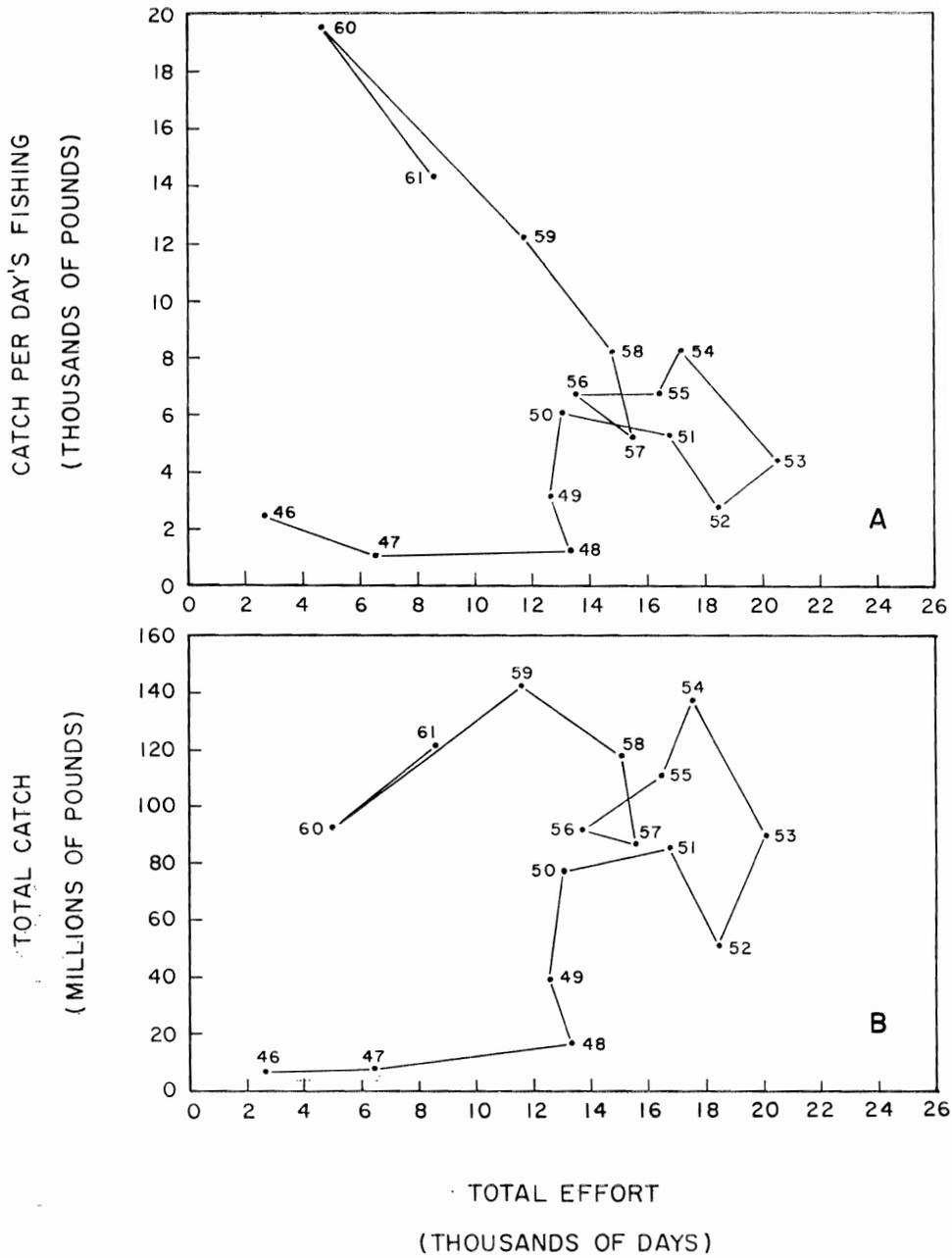


FIGURE 17. Total catch plotted against total effort and catch per day's fishing plotted against total effort, for skipjack, 1946-1961, for areas south of 15°N latitude.

FIGURA 17. Captura total graficada contra el esfuerzo total, y captura por día de pesca, graficada contra el esfuerzo total, para el barrilete, período 1946-1961, de las áreas al sur de los 15°N de latitud.

**TABLE 1.** Values of measured apparent abundance, computed apparent abundance, and anomalies of apparent abundance, in pounds, for yellowfin tuna, 1935-1961. (See text for details).

**TABLA 1.** Los valores de la abundancia aparente medida, abundancia aparente calculada, y las anomalías de la abundancia aparente, en libras, del atún aleta amarilla, 1935-1961. (Véase el texto para los detalles).

Year	Measured apparent abundance	Computed apparent abundance	Deviations in apparent abundance		
			Total	Due to water temp.	Residual
Año	Abundancia aparente medida	Abundancia aparente calculada	Desviaciones de la abundancia aparente		
			Total	Debidas a la temp. del agua	Residual
1935	11484	9967	+1517	+ 759	+ 758
1936	11571	10198	+1373	+ 570	+ 803
1937	11116	9892	+1224	+ 444	+ 780
1938	11463	10233	+1230	+1011	+ 219
1939	10528	9662	+ 866	- 313	+1179
1940	10609	9964	+ 645	- 692	+1337
1941	8018	10656	-2638	-1196	-1442
1942	7040	10129	-3089	+ 65	-3154
1943	8441	9462	-1021	- 566	- 455
1944	10019	9945	+ 74	- 187	+ 261
1945	9512	9846	- 334	+ 2	- 336
1946	9292	9278	+ 14	+ 191	- 177
1947	7857	8021	- 165	+ 191	- 356
1948	8353	6978	+1375	- 505	+1880
1949	8363	7643	+ 720	- 250	+ 970
1950	7057	5271	+1786	+ 948	+ 838
1951	9809	8261	+1548	- 502	+2050
1952	6097	8056	-1959	+ 254	-2213
1953	3814	5275	-1461	- 439	-1022
1954	5546	5251	+ 295	+ 759	- 464
1955	7895	7896	- 1	+ 696	- 697
1956	6579	7182	- 603	+ 444	-1057
1957	6245	7480	-1235	-1095	- 140
1958	4588	6110	-1522	- 425	-1097
1959	5220	5478	- 258	+ 2	- 260
1960	6817	5195	+1622	+ 405	+1217
1961*	5544	4924	+ 620	+ 111	+ 509

\* Preliminary values — Valores preliminares

**TABLE 2.** Yearly anomalies of sea surface temperature, in degrees Fahrenheit, for three areas of the Eastern Pacific Ocean, 1935-1961.**TABLA 2.** Las anomalías anuales de la temperatura de la superficie del mar, en grados Fahrenheit, para tres áreas del Océano Pacífico Oriental, 1935-1961.

Year Año	Area 10	Area 26	Area 37
1935	-0.23	-0.51	-2.34
1936	-0.04	+0.08	-1.80
1937	+0.68	0.00	-1.44
1938	+0.46	-0.90	-3.06
1939	+0.28	0.00	+0.72
1940	+0.86	+0.79	+1.80
1941	+0.82	+1.27	+3.24
1942	—	—	-0.36
1943	—	—	+1.44
1944	—	—	+0.36
1945	—	—	-0.18
1946	—	—	-0.72
1947	-0.84	+0.08	-0.72
1948	+0.99	+0.12	+1.44
1949	-0.10	-0.60	+0.54
1950	-0.73	-1.44	-2.88
1951	-0.89	+0.22	+1.26
1952	-0.51	-0.22	-0.90
1953	+0.35	+0.64	+1.08
1954	-0.18	-0.97	-2.34
1955	-2.25	-1.12	-2.16
1956	-0.33	-0.28	-1.44
1957	+0.68	+1.22	+2.95
1958	+0.80	+1.15	+1.04
1959	+1.05	+0.87	-0.18
1960	-0.92	-0.24	-1.33
1961	—	—	-0.49*

\* Preliminary estimate — Estimación preliminar

**TABLE 3.** Total catch and total effort, skipjack tuna. 1946-1961, for areas north and south of 16° N latitude. Apparent abundance estimated from log-book data for all areas north of 15° N latitude.

**TABLA 3.** Captura total y esfuerzo total para el barrilete, 1946-1961, en las áreas al norte y al sur de los 16°N. de latitud. La abundancia aparente fue estimada de los datos de los diarios de pesca para todas las áreas al norte de los 15°N. de latitud.

<u>Areas north of 16°N latitude</u>			
<u>Areas al norte de los 16°N. de latitud</u>			
<b>Year</b>	<b>Total catch 1000's pounds</b>	<b>Apparent abundance pounds per day</b>	<b>Total effort Class 4 days</b>
<b>Año</b>	<b>Captura total en miles de libras</b>	<b>Abundancia aparente libras por día</b>	<b>Esfuerzo total correspondiente a los días de la Clase 4</b>
1946	35,810	4,144	8,641
1947	46,706	5,248	8,900
1948	45,047	5,152	8,744
1949	41,956	4,888	8,583
1950	50,800	4,900	10,367
1951	34,384	4,150	8,285
1952	40,548	4,031	10,059
1953	44,653	4,494	9,936
1954	35,349	4,222	8,373
1955	17,726	4,252	4,169
1956	58,511	6,366	9,191
1957	41,417	4,039	10,254
1958	46,628	4,532	10,289
1959	35,265	4,048	8,712
1960	19,271	4,462	4,319
1961	16,271	4,360	3,732

<u>Areas south of 16°N latitude</u>			
<u>Areas al sur de los 16°N. de latitud</u>			
1946	6,643	2,416	2,750
1947	6,776	1,056	6,417
1948	16,428	1,242	13,227
1949	39,061	3,096	12,617
1950	78,464	6,016	13,043
1951	86,754	5,188	16,722
1952	50,234	2,731	18,394
1953	89,003	4,401	20,223
1954	138,384	8,091	17,103
1955	110,261	6,722	16,403
1956	91,741	6,718	13,656
1957	86,927	5,518	15,753
1958	118,264	8,040	14,709
1959	142,291	12,155	11,706
1960	91,246	19,132	4,769
1961	122,594	14,353	8,541

# ALGUNOS FACTORES QUE AFECTAN LA DISTRIBUCION Y LA ABUNDANCIA APARENTE DEL ATUN ALETA AMARILLA Y DEL BARRILETE EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL

por

Gordon C. Broadhead<sup>1</sup> e Izadore Barrett

## INTRODUCCION

Desde 1951 la Comisión Interamericana del Atún Tropical se ha dedicado a la investigación de la biología, ecología y la dinámica de las poblaciones del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y del barrilete, *Katsuwonus pelamis*, en el Océano Pacífico del Este. De importancia especial ha sido el estudio de los efectos de la pesca y de los factores independientes de las pesquerías sobre la abundancia y la distribución de esos atunes. En cuanto al atún aleta amarilla, existe, en promedio, una relación inversa entre el esfuerzo total de pesca y la abundancia aparente (Schaefer, 1957a). Con respecto al barrilete, no hay evidencia que haga pensar que el esfuerzo de pesca haya sido nunca lo suficientemente intenso como para afectar sensiblemente la abundancia (Schaefer, 1961). Más bien parece que las fluctuaciones de un año a otro en su abundancia aparente, son independientes de las actividades de las flotas pesqueras.

Schaefer (1957b), Shimada (1958), Blackburn y asociados (1962) y Radovich (1962) han observado que los extremos altos y bajos de la temperatura de la superficie del mar afectan la distribución y la disponibilidad de los atunes tropicales. Howard (1962) observa que los estudios definitivos de los efectos de la temperatura y de otros factores ambientales sobre las poblaciones del atún, se han encontrado obstaculizados por la falta de datos sinópticos tanto de las propiedades físicas del océano como de la distribución y abundancia de los atunes.

Se dispone de una buena información estadística para todos los años desde 1934, de la pesca total, del esfuerzo desarrollado para obtener esa pesca y de la abundancia aparente del atún aleta amarilla y del barrilete en el Pacífico Oriental. Se dispone también de una información detallada sobre la distribución geográfica del esfuerzo de pesca y de la producción lograda; esta información, obtenida gracias a los registros en los diarios de pesca, procede de una gran parte de los barcos pesqueros y cubre todos los años, desde 1951. Así mismo se dispone de algunos datos del clima oceánico del Pacífico del Este. Renner (1963) ha sumariado, de los registros del U. S. Weather Bureau la información sobre la temperatura de la superficie de esta región en el período 1947-1958. Los datos más

---

<sup>1</sup> Dirección actual, Van Camp Sea Food Co., Long Beach, California.

recientes sobre la temperatura, que no han sido aún publicados, se obtuvieron gracias a la cortesía del Stanford Biological Laboratory, U. S. Bureau of Commercial Fisheries. Una sinopsis de la información disponible sobre la topografía de la termoclina del Pacífico Oriental, fue publicada por Cromwell (1958). Los datos correspondientes a los lanzamientos bati-termográficos individuales, se encuentran archivados en la Institución Scripps de Oceanografía. Por lo tanto se tiene a mano suficiente información que permita un examen preliminar de los efectos del clima oceánico en la abundancia y distribución del atún aleta amarilla y del barrilete en el Océano Pacífico del Este.

Se sabe también que los factores económicos tienen un efecto considerable en la evaluación de las estadísticas de la pesquería, un hecho que muchos estudios sobre los efectos del clima oceánico en la abundancia de los peces, han dejado de reconocer. Consecuentemente hemos hecho un intento también, en forma general, de relacionar los cambios en los factores económicos con los cambios en la abundancia aparente de los atunes tropicales, en el Océano Pacífico del Este.

### METODOS

Los datos de las temperaturas de la superficie fueron obtenidos por meses del año y por subáreas "Marsden" (bloques de cuatro áreas de un grado cada una). Entonces fue conveniente de sumarizar las estadísticas de la captura por bloques similares. Estas áreas, diseñadas para cubrir un sector importante de las localidades de pesca del atún tropical, aparecen en la Figura 1. Los bloques se han agrupado en tres series: 'A', que comprende las áreas costeras de pesca de California a Chile, y 'B' y 'C', que incluyen las áreas cerca y fuera de la costa de la pesquería cerca de las Islas Revillagigedo y de las Islas Galápagos, respectivamente.

La abundancia aparente puede ser estimada según la captura por día de pesca lograda, en promedio, por una muestra ampliamente representativa de la flota pesquera. Estas estadísticas son compiladas rutinariamente para los barcos de carnada y los barcos rederos, pero solo la serie de los datos de los clípers ha sido utilizada para estudiar la dinámica de los stocks del atún aleta amarilla y del barrilete. Broadhead (1962) ha expuesto detalladamente los problemas asociados con la combinación de los datos provenientes de los dos equipos de pesca, en una sola serie representativa. Formuló un método, para el atún aleta amarilla, que permite la conversión de la medida de la abundancia aparente de los barcos rederos, a unidades equivalentes a la medida según los clípers. Sin embargo, esta técnica no es práctica por relacionar las medidas que de la abundancia aparente hacen los clípers y los rederos, por pequeños estratos geográficos y temporales. Además no fue posible comparar la eficiencia de los dos sistemas en la pesca del barrilete, ya que la flota de rederos

pescó el atún aleta amarilla en forma selectiva durante 1959 y 1960 (los años en que se efectuó la mayor parte de la conversión del sistema de carnada y anzuelo al de pesca con red de cerco). Fue necesario, en consecuencia, para este estudio, computar la abundancia aparente del atún aleta amarilla y el barrilete usando los datos de los barcos de carnada solamente.

Los sumarios, por meses, correspondientes a los años del período 1951-1960, se obtuvieron por medio de computadores, según ha sido descrito por Martin (1962). Estos datos se combinaron para las áreas que se presentan en la Figura 1, para lo cual se sumaron las cifras correspondientes a la pesca y al esfuerzo, de cada especie, para los cuatro bloques de un grado dentro de cada una de nuestras áreas. La captura por día de pesca fue entonces computada (en unidades de barcos de carnada de la Clase 4) para todas las áreas en las que se registraron seis o más días estandarizados del esfuerzo de pesca durante un mes. Griffiths (1960) encontró, al examinar estos datos, que sería deseable hacer alguna revisión para eliminar las medidas no confiables de la abundancia aparente, producidas a menudo por pequeñas cifras del esfuerzo de pesca.

Las temperaturas medias mensuales de la superficie del mar fueron obtenidas de Renner (1963), quien utilizó las temperaturas de inyección tomadas por barcos mercantes y navales que cooperan con el U. S. Weather Bureau. Johnson (1961) expuso las diversas fuentes de error inherentes a los datos de este tipo, y previno que los registros de temperatura no corregidos debían considerarse como preliminares y quedar sujetos a alguna futura revisión. Saur (1963) estudió los errores que contenían los datos de la temperatura del agua tomados por los barcos mercantes y navales, e hizo la conclusión de que las temperaturas de inyección excedieron las temperaturas de la superficie del mar en más o menos un grado Fahrenheit, en promedio, debido principalmente al calentamiento del agua producido por el calor del cuarto de máquinas, al ser tomadas. A pesar de estas limitaciones, los datos sobre temperaturas son lo suficientemente confiables como para permitir la comparación de la relativa estructura térmica de la superficie del mar en el Pacífico del Este, con la abundancia aparente del atún aleta amarilla y del barrilete.

Con respecto a la serie 'A' (Areas 1-45), las temperaturas de cada área y mes se graficaron en una carta preliminar con el tiempo en la abscisa, y las áreas a lo largo de la costa, como la ordenada. La proyección de los datos en esta forma, da como resultado alguna alteración que se hace más evidente como una compresión del sector central de la pesquería. La proyección tiene una limitación tan acentuada, que resulta difícil graficar en el mismo diagrama las secuencias este-oeste y norte-sur. Sin embargo, la presentación tiene la ventaja de permitir un examen de los datos en una secuencia continua de tiempo y de área. Los isogramas de la temperatura fueron construidos por intervalos de seis grados desde

los 62° a los 86°F. No se hicieron correcciones para la diferencia entre las temperaturas de inyección y las temperaturas actuales de la superficie del mar, las que probablemente tuvieron un promedio de más o menos un grado más bajo. No se trazaron líneas de contorno para los valores aislados, de modo que las celdas de agua cálida y fría estuvieron basadas siempre en dos o más lecturas adyacentes. La abundancia aparente de cada especie ha sido graficada en una forma similar y se han trazado líneas de contorno. Las áreas de abundancia moderada, que varían de una a tres toneladas por día estándar de pesca, han sido ligeramente sombreadas. Las áreas de mucha abundancia, en las que la captura excedió de tres toneladas por día estándar de pesca, aparecen con sombra más oscura. Las partes no sombreadas de la carta representan las áreas en donde no se pescó o que produjeron menos de una tonelada por día estándar de pesca. Debe tenerse mucho cuidado en la interpretación de la abundancia aparente del atún aleta amarilla y el barrilete de estas áreas, porque los peces pudieron estar presentes y permanecer ignorados debido a la ausencia del esfuerzo de pesca. El amplio margen de actividades de la flota durante todos los meses del año hace pensar que esta fuente de error es mínima.

Las frecuencias de tamaño del barrilete, por trimestres del año correspondientes a las áreas del norte de la pesquería, se obtuvieron a través del programa de muestreo en los mercados de la Comisión del Atún, según lo describe Hennemuth (1957).

Las profundidades de la capa mixta de las áreas seleccionadas de un grado, durante los años del período 1951-1960, fueron determinadas por los batitermogramas de los archivos de la Sección B. T. de la Institución Scripps de Oceanografía. Cromwell (1958) ha hecho notar las dificultades para el desarrollo de criterios completamente objetivos que permitan la determinación de la profundidad de la capa mixta. Nuestros valores de las profundidades de la capa mixta fueron hasta cierto punto subjetivos. La profundidad de la capa mixta, por áreas de un grado, fue obtenida al promediar las lecturas dentro de cada período de 24 horas, y luego promediando los valores diarios de cada mes, para lograr una estimación de la profundidad de la capa mixta en cada mes y área de un grado estudiada. No se utilizaron los valores mensuales cuando se disponía de menos de tres lecturas en un área durante el mes.

## **RESULTADOS**

### **Distribución con relación a la temperatura de la superficie del mar**

#### **Atún aleta amarilla**

La progresión hacia el norte, tanto de las isotermas como de las líneas de contorno de la abundancia del atún aleta amarilla (Figura 2) durante los meses de la primavera y del verano, y el retroceso durante los

meses del otoño y el invierno de cada año, es particularmente evidente frente a la costa de Baja California. Las áreas de abundancia moderada (ligeramente sombreadas) aparecen, en ocho de los diez años, durante mayo, junio o julio, entre las isoterma de los 68 y 74 grados. La subsecuente extensión hacia el norte, de estas áreas (y de aquellas de gran abundancia), hace pensar en un movimiento de la población del atún aleta amarilla hacia el norte durante los meses del verano. Los informes sobre la marcación dados por Blunt y Messersmith (1960) y por Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961), confirman esta pauta migratoria. Durante los inviernos de 1952-1953 y 1957-1958, las áreas de abundancia moderada del atún aleta amarilla se movieron hacia el sur y permanecieron intactas. Durante todos los otros períodos de invierno hay una interrupción distintiva en los contornos de la abundancia frente a Baja California. Blackburn y asociados (1962), observando la presencia del atún aleta amarilla, y Radovich (1962), empleando los datos de la captura total por área, han hecho notar que el atún aleta amarilla fue encontrado mucho más al norte, durante los años de aguas templadas de 1957, 1958 y 1959. Las posiciones de los contornos de la abundancia que presenta la Figura 2, sugieren que el grueso de la población del atún aleta amarilla permaneció al sur de la Isla Cedros, aun durante esos años cálidos, a pesar de que se hicieron algunas capturas tan al norte como el área de California meridional.

Hay evidencia de que el atún aleta amarilla evita los extensos sectores de aguas muy templadas (sobre 86°F) que se encontraron frente a la línea costera de México y Central América durante el período 1957-1959.

Hacia el sur, frente al Perú, la distribución del atún aleta amarilla está limitada generalmente por el límite norte de la corriente del Perú (Area 35). Sin embargo, la pesca se extendió brevemente hacia el sur durante noviembre y diciembre de 1953 y enero de 1954, y nuevamente durante el período de mayo a diciembre de 1957 y en julio y agosto de 1958, cuando se hacían sentir las condiciones del fenómeno El Niño. En esos períodos la pesca fue excelente en el área alrededor de Banco Chimbote (Area 38), localizada a unas 350 millas al sur del Golfo de Guayaquil. Schaefer, Chatwin y Broadhead (1961) registran un intercambio considerable del atún aleta amarilla marcado, entre esas dos áreas, durante el período 1957-1959. Todavía más hacia el sur, en la región de la frontera Perú-Chile (Areas 44-45), el atún aleta amarilla ha sido pescado estacionalmente por la flota comercial desde diciembre de 1957. Sin embargo, fue solo durante febrero y marzo de 1960 que el nivel de abundancia resultó ser lo suficientemente alto como para ser objeto de un contorno en la Figura 2.

La serie 'B' comprende un grupo de áreas continuas (46-51) a lo largo de la línea que, se extiende mar afuera, desde el Golfo de California y a través de las Islas Revillagigedo, hasta el Banco Shimada. Los contornos de la distribución de los peces y de la temperatura, que presenta la Figura

3, fueron preparados del mismo modo descrito con respecto a la serie 'A'. El sector norte (Áreas 1-9) de esta última, ha sido incluido con propósitos comparativos. El atún aleta amarilla es capturado en las vecindades de las Islas Revillagigedo en casi todas las épocas del año, aun cuando solo se pesca ligeramente en esta área durante la estación de huracanes, a fines del verano y a principios del otoño. El descubrimiento del Banco Shimada (Área 51) en 1957 extendió las localidades de pesca más hacia afuera, y se han capturado algunos peces ahí, desde entonces cada año. No se hizo evidente relación alguna entre la abundancia del atún aleta amarilla mar afuera y la abundancia a lo largo de la costa de Baja California. Sin embargo, por la marcación se evidencia un movimiento del atún aleta amarilla entre esas áreas.

La Serie 'C' abarca un grupo de áreas (52-55) que se extienden mar afuera desde el Golfo de Guayaquil hasta las Islas Galápagos. Debido a la escasez de datos sobre la temperatura y a la pauta difusa de la abundancia del atún aleta amarilla alrededor de estas islas, los contornos de la temperatura y la abundancia no han sido exhibidos. Nuestro examen de la graficación de estos datos no reveló información más allá que la referente a las fluctuaciones estacionales en la abundancia indicadas por Martin (1962).

En general podemos decir que la relación entre la distribución del atún aleta amarilla y la temperatura de la superficie del mar no es cercana; se pescan cantidades substanciales de atún aleta amarilla en todas las temperaturas entre los 68° y 86°F. Sin embargo, son evidentes las pautas estacionales de la abundancia, particularmente para la pesquería frente a Baja California. Las pautas de la abundancia se modifican particularmente en los extremos norte y sur de la pesquería, durante los períodos principales de cambio en la temperatura de la superficie del mar.

#### **Atún barrilete**

En la Figura 5 aparecen los contornos de la abundancia aparente del atún barrilete y de la temperatura de la superficie del mar, correspondientes a la Serie 'A' y al período de los años 1951-1960. Algunos aspectos de la pauta de la distribución de estas capturas de barrilete han sido expuestos por Schaefer (1959), Alverson (1960), Blackburn (1962) y Radovich (1962). Sin embargo, es útil examinar los cambios de la abundancia aparente en la forma de una serie continua de tiempo. La distribución de la abundancia del barrilete a lo largo de las áreas de pesca cercanas a la costa puede ser dividida en dos componentes distintos para cada año de la serie, excepto 1956. Con esta excepción, hay una ausencia casi completa del barrilete en una distancia de 500 a 1000 millas a lo largo de la costa mexicana, desde las Islas Las Tres Marias hasta el Golfo de Tehuantepec. El grupo norteño se hace generalmente presente al norte de los 20°N de latitud, y el grupo sureño al sur del Golfo de Tehuantepec,

hasta las aguas costeras frente a Chile. La división de las capturas del barrilete en estos dos grupos es más notoria durante los años de aguas templadas, 1957-1959. Esta separación no es el resultado de cambios en el esfuerzo de pesca, ya que hay un considerable esfuerzo de pesca para la producción del atún aleta amarilla en una faja casi continua desde California hasta Chile (Figura 2).

#### *Localidades del norte*

La progresión hacia el norte, tanto de las isoterms como de los contornos de la abundancia del barrilete (Figura 5) durante los meses de la primavera y del verano, y su receso durante los meses del otoño y del invierno de cada año, es particularmente evidente en aguas frente a la costa de Baja California. El barrilete se pesca cada año comenzando en abril, mayo o junio, en las aguas frente al Cabo San Lucas, a temperaturas entre los 68° y 74°F de la superficie del mar. Las pescas terminan repentinamente en octubre, noviembre o diciembre de cada año, y el barrilete es rara vez pescado en cualquier cantidad, a lo largo de la costa, durante enero, febrero o marzo, a pesar de que las aguas frente a las Islas Las Tres Marias y al Cabo Corrientes se encuentran dentro del margen de temperatura en el que generalmente se pesca esa especie de atún. La inusitada distribución de la abundancia del barrilete durante 1956 será tratada más adelante. En la mayoría de los años, el barrilete se pesca en cantidad, solamente en localidades tan al norte como la Isla Cedros, pero durante el período de aguas cálidas, 1957-1959, se hicieron capturas substanciales varios cientos de millas hacia el norte, en las vecindades de la frontera Estados Unidos-México. Este período se caracterizó también por una ausencia casi completa del barrilete a lo largo de la costa, desde el Golfo de California hasta el Golfo de Panamá.

Los contornos de la distribución de los peces y de la temperatura correspondientes a la Serie 'B', se muestran en la Figura 4 junto con el sector del norte (Areas 1-9) de la Serie 'A', para su comparación. La aparición, cada año, de áreas de abundancia moderada y de buena abundancia en las localidades mar afuera, precede por varios meses, a la aparición de estas áreas en las localidades frente a Baja California. Esa pauta hace pensar en la aparición de los peces en las islas mar afuera, durante los meses de invierno y de la temprana primavera, y en el subsiguiente movimiento hacia el noreste de estos barriletes, con dirección a las áreas frente al Cabo San Lucas, para luego seguir hacia el norte, a lo largo de la costa durante el verano y la primera parte del otoño. Estas pautas de la abundancia se relacionan bien con los resultados de la marcación. Schaefer (1961) informa que 34 barriletes (de 2364 liberados), que fueron marcados durante abril de 1960 cerca de Roca Partida, una de las Islas Revillagigedo, fueron recobrados a lo largo de la costa de Baja California durante el verano y el otoño del mismo año. Posteriormente un barrilete, liberado

en este mismo grupo, fue recuperado durante el verano de 1962 en la pesquería con carnada viva frente al Hawai (comunicación personal del Sr. B. D. Fink). Un segundo barrilete, marcado durante 1960 frente a Baja California, se recobró en la pesquería hawaiana durante 1962.

La distribución del barrilete en las localidades del norte fue bastante inusitada durante la última parte de 1955 y durante 1956 (Figuras 4 y 5). Durante este período fueron pescadas cantidades considerables de barrilete alrededor de las Islas Las Tres Marías y a lo largo de la costa central de México. Muchos de estos barriletes eran grandes (Figura 6, áreas sombreadas) y contribuyeron en un tonelaje substancial a los desembarques de esta especie durante ese período. Al mismo tiempo, las capturas del barrilete en las Islas Revillagigedo fueron excelentes; y estos peces fueron también más grandes que lo común (Figura 7, áreas sombreadas). Las pescas de barrilete en estas áreas del Pacífico Oriental, durante 1956, contenían muchos peces grandes, de los tamaños capturados comúnmente en la pesquería con carnada viva frente al Hawai, en contraste con el barrilete pequeño pescado generalmente frente a la costa de Baja California cada año (Figura 8). Los estudios de la distribución del barrilete en estado larval (Matsumoto, 1958; Strasburg, 1960; y Klawe, 1963) y del desarrollo de las gónadas en los adultos (Orange, 1961) en el Pacífico Central y Oriental, indican que la mayor parte del desove de esta especie se opera en aguas mar afuera. El margen geográfico de la población es evidentemente más extenso que el área explotada por los barcos comerciales. Los datos hacen pensar por lo tanto, que la pesca excelente del barrilete en las áreas norteñas del Pacífico del Este, durante 1956, puede haberse debido al influjo de una cantidad considerable del barrilete grande que normalmente habita las áreas al oeste de las localidades usuales de pesca.

#### *Localidades del sur*

Frente al Ecuador y Perú, el calor y el frío estacionales no tienen un efecto tan pronunciado en la distribución del barrilete, como frente a Baja California (Figura 5). Las capturas se realizan durante la mayoría de los meses en las localidades del sur, aun cuando la mejor pesca se logra frente al Ecuador, en casi todos los años, durante abril, mayo y junio. Hacia el sur, en el Golfo de Guayaquil cerca del límite de la Corriente del Perú, la mejor pesca de barrilete se obtiene de septiembre a diciembre, y la más escasa durante los meses cálidos de febrero, marzo y abril. Durante el período 1951-1960 se informó que el fenómeno de "El Niño" se había presentado dos veces; el primero, de corta duración, apareció en 1953; y el segundo se extendió desde fines de 1957 hasta principios de 1959. Estos períodos de aguas templadas frente a la costa del Perú, coinciden con la aparición de cantidades substanciales de barrilete en Banco Chimbote (Area 38). No se hicieron pescas de ninguna magnitud en esta área

durante los períodos "normales" o de aguas frías. La mayoría de las pescas de barrilete de las localidades del sur provienen de las aguas entre los 68° y 74°F., aunque algunos peces son pescados en aguas considerablemente más frías. Estas pescas ocurren generalmente cuando la temperatura del agua cae rápidamente durante un período de mucha abundancia de barrilete.

Durante el mes de diciembre de 1957, grandes cardúmenes de barrilete fueron localizados cerca de la frontera Perú-Chile (Areas 43, 44 y 45) y desde entonces, cada año, el barrilete ha sido pescado allí, durante los períodos de aguas cálidas en diciembre, enero o febrero. Es evidente que esta pesquería no depende del calentamiento del agua durante el período de "El Niño", sino que más bien parece depender del calentamiento asociado a las lenguas de agua templada que entran esporádicamente en aquella área desde el oeste (Wooster, 1960; Sund, 1964).

El examen del gráfico correspondiente a la Serie 'C', que presenta la distribución mar afuera, de las capturas del barrilete alrededor de las Islas Galápagos, no reveló nada nuevo. El lector puede encontrar en los estudios de Martin (1962) y Alverson (1963) una presentación gráfica de esos datos.

#### **Distribución del atún aleta amarilla en relación a la topografía de la termoclina**

La relación entre la abundancia aparente del atún aleta amarilla y la profundidad de la capa mixta fue examinada en una región del Pacífico del Este, frente a la América Central (Areas 19-25). Se seleccionó esta región para el estudio, por la considerable variación durante el año, en la profundidad de la capa mixta y en las capturas del atún aleta amarilla. En la Figura 9 hemos graficado la abundancia aparente del atún aleta amarilla contra la profundidad de la capa mixta, por estratos de meses y de áreas de un grado. Los mismos datos se examinaron también mediante la graficación de la abundancia aparente en cada área de un grado, como porcentaje de la abundancia promedio de toda la región (Areas 19-25), contra la profundidad de la capa mixta (no se presenta la figura). En ninguno de los casos se observó una relación entre los dos parámetros.

#### **Abundancia aparente**

##### **Atún aleta amarilla**

Schaefer (1957a), en su estudio sobre los efectos de la pesquería en los stocks del atún aleta amarilla en el Pacífico del Este, presentó un modelo para describir la relación entre el esfuerzo de pesca, la abundancia promedio y la captura promedio, cuando la producción anual está en

equilibrio con la tasa del incremento natural de la población. El modelo asume que los efectos de los factores ambientales en el reclutamiento, la supervivencia y el crecimiento son azarosos y por lo tanto han de compensar hasta cero (junto con el error en la medida) cuando se analiza una serie de datos de término largo. Sette (1960) hizo notar que las desviaciones anuales de los valores reales de la captura por día de pesca con respecto a los valores esperados bajo condiciones de equilibrio, a aquel nivel del esfuerzo de pesca deben medir los efectos de los factores independientes de la pesquería (se supone nuevamente que el error en la medición compensa hasta cero) sobre la abundancia aparente.

La relación funcional entre el esfuerzo total y la abundancia aparente del atún aleta amarilla fue computada por Schaefer (1957a) con los datos de la captura correspondientes al período 1935-1954. Hemos agregado a esta serie, los datos de los años recientes (1955-1960) y recomputado la relación entre las dos variables, para lo que se ha empleado la técnica de Bartlett (1949). En la Figura 10 se presentan los puntos individuales y la relación promedio entre la densidad de la población ( $\bar{U}$ ) y el esfuerzo total de la pesca relacionada ( $Ce/\bar{U}$ ), junto con el ajuste a los datos que corresponden al período anterior expuestos por Schaefer (1957a, Figura 3). La pendiente ligeramente empinada de la línea que se ajusta a la serie completa (1935-1960) da como resultado una estimación del máximo rendimiento de equilibrio de 183 millones de libras en 32,349 días de esfuerzo de pesca. No hay una diferencia significativa entre estos valores y los basados en la serie anterior (1935-1954).

La relación funcional se expresa por la ecuación  $\bar{U} = 0.17478 (64,704 - Ce/\bar{U})$ , en la que  $\bar{U}$  es la abundancia aparente y  $Ce/\bar{U}$  es el esfuerzo total. Los valores anuales de  $Ce/\bar{U}$  han sido substituídos en la ecuación para obtener los valores correspondientes de  $\bar{U}$ . Estos han sido substraídos de los valores observados de  $\bar{U}$ , para estimar el efecto de los factores independientes de la pesquería en la medida de la abundancia aparente que corresponde a cada año de la serie. Estas anomalías anuales se enumeran en la Tabla 1. Los efectos de los factores independientes de la pesquería, según han sido medidos por las anomalías de la abundancia del atún aleta amarilla, fueron comparados entonces con las anomalías de la temperatura de la superficie del mar del Pacífico Oriental, como sigue:

Se utilizaron las temperaturas de la superficie del mar de tres áreas ampliamente separadas la 10, 26 y 37 (Figura 1). Los datos de la temperatura correspondientes a las Areas 10 y 26 fueron obtenidos por medio de la edición de las listas de las temperaturas de inyección tomadas por los barcos mercantes y navales que cooperan con el U. S. Weather Bureau. Las temperaturas dudosas fueron eliminadas al rechazar todas las lecturas desviadas más de 5°F de la media de ese mes. Los valores medios de cada mes fueron substraídos de las medias de largo término para los meses correspondientes a fin de obtener las anomalías mensuales de cada área

(10 y 26). Estas anomalías mensuales fueron suavizadas por un promedio corriente de tres para el período de 21 años (1935-1941 y 1947-1960). Las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el área 37 fueron estimadas por las lecturas de la estación costera tomadas en Puerto Chicama, según las da Rodewald (1959) como correspondientes a los datos hasta mayo de 1957, y (de una comunicación personal) del Consejo de Investigaciones Hidrobiológicas, correspondientes al período de junio de 1957 a diciembre de 1960. Las anomalías mensuales suavizadas de las tres áreas (10, 26 y 37) han sido graficadas en la Figura 11. El acuerdo (utilizando los valores anuales) entre los datos de las áreas 26 y 37 es excelente ( $r = +0.82$ , 19 G. L., para las anomalías anuales), y el acuerdo entre los datos de las Areas 10 y 37 es bueno ( $r = +0.50$ , 19 G. L., para las anomalías anuales), a pesar de que en algunos años hubo un acuerdo pobre durante el período 1935-1941. Los datos de la temperatura del agua correspondientes a estos primeros años son probablemente menos confiables que los datos de los años más recientes. Ciertamente, en el período 1947-1960, la correlación entre las temperaturas de la superficie del mar de estas tres áreas tan separadas dentro del Pacífico Oriental, es notoriamente buena.

Los datos de la temperatura del agua correspondientes al Area 37 están completos para todo el período 1935-1960, en tanto que hay un vacío de cinco años (1942-1946) en los datos de las Areas 10 y 26. Hemos utilizado, en consecuencia, la serie de Puerto Chicama (Area 37) para contar con una representación completa (aunque algo imperfecta) del régimen de temperatura de la superficie del mar en todo el Pacífico del Este, en el período 1935-1960, del cual tenemos estadísticas de pesca útiles con respecto al atún aleta amarilla. Las anomalías anuales de la abundancia del atún aleta amarilla han sido graficadas en la Figura 12, contra las anomalías anuales de la temperatura de la superficie del mar en Puerto Chicama. La correlación entre los dos parámetros es significativa ( $r = -0.44$ , 24 G. L.); los años en que la temperatura del agua ha estado bajo el promedio, están asociados con las anomalías positivas de la abundancia del atún aleta amarilla, y los años de temperatura sobre el promedio están caracterizados por valores menores que el promedio en la abundancia de esa especie. No hay un retardo apreciable en el efecto de la temperatura sobre la abundancia aparente. Esto hace pensar, en consecuencia, que el clima oceánico influye en la tasa de la captura del atún aleta amarilla a través de los factores disponibles del stock a la captura por la pesquería comercial.

En la Figura 10 (Schaefer, 1957a, Fig. 3), es grande la dispersión de los valores anuales individuales de la densidad de la población y del esfuerzo total relacionado de pesca alrededor de la línea de las condiciones de equilibrio. Los límites de confianza sobre la línea de regresión son similarmente amplios. Esta dispersión es debida, en parte, a los efectos del clima oceánico en la medida de la abundancia aparente, y es posible ajustar los

valores anuales correspondientes a la densidad de la población, si se utiliza la relación promedio entre la temperatura del agua y la abundancia aparente del atún aleta amarilla, que puede apreciarse en la Figura 12. La regresión lineal del cuadrado medio de la abundancia aparente sobre el esfuerzo total de pesca, ha sido calculada para los datos ajustados y se compararon los resultados con los de Schaefer (1957a, pag. 259). No hubo diferencia significativa entre las líneas de los datos ajustados y de los no ajustados. Sin embargo, la dispersión de los puntos individuales cerca de la línea de regresión fue reducida en las series ajustadas. El error estándar de la estimación correspondiente a la serie original (1935-1954) fue de 1,477 libras, mientras que el de la estimación de la nueva serie (1935-1960), ajustado por la media de los datos de la temperatura del agua, fue de 1,249 libras. Alrededor de un tercio de este mejoramiento se debió al aumento en el número de puntos disponibles para el análisis (26 *vs.* 20), y el resto del mejoramiento en el ajuste, se debió a que los datos fueron ajustados sobre la base de la relación entre la temperatura del agua y la abundancia aparente.

Las desviaciones en la abundancia aparente del atún aleta amarilla que se mantienen después del ajustamiento correspondiente a la temperatura del agua se enumeran en la Tabla 1 y han sido graficadas en la Figura 13 como una serie continua del período 1935-1961. Los períodos de las anomalías positivas y negativas aparecen de manera regular y forman dos períodos completos de unos 13 años de duración. La historia general de la pesquería (Shimada y Schaefer, 1956) hace pensar que las fluctuaciones pueden estar relacionadas con los cambios económicos de la pesquería.

Para examinar esta tesis, hemos estimado la cantidad del esfuerzo de pesca y la captura resultante del atún aleta amarilla en las dos áreas principales al norte de los 15°N de latitud y al sur de los 15°N de latitud. Para los años 1935-1945 ha sido necesario llegar a una aproximación del esfuerzo empleado al norte de los 15°N de latitud, mediante el cómputo del porcentaje de la captura total de los barcos de carnada obtenida por las tres clases de tamaño más pequeñas de esos barcos, que pescan principalmente en estas localidades del norte. Para los años 1946-1960, el abarcamiento de los diarios de pesca de la Comisión ha proporcionado estimaciones constantemente progresivas, de la distribución de las áreas de captura, y ha sido posible computar con exactitud considerable el porcentaje de la pesca total del atún aleta amarilla capturado al norte de los 15°N de latitud correspondiente a estos años. El porcentaje de la pesca de los clípers obtenido al norte de los 15°N durante el período 1935-1945, el porcentaje de la pesca total obtenido al norte de los 15°N durante el período 1946-1960, y las desviaciones de la abundancia del atún aleta amarilla (después de la corrección para el efecto de la temperatura) han sido graficadas en la Figura 13. Las anomalías positivas de la abundancia del atún aleta amarilla parecen estar relacionadas con los períodos de expansión económica de la pesquería dentro de las áreas del sur del Pacífico

Oriental. Justamente antes de la segunda guerra mundial, la pesquería se extendió hacia el sur, y una parte decreciente de la captura total se obtuvo en las localidades del norte. Sin embargo, la guerra restringió de nuevo la pesca a las localidades del norte, al tomar la mayoría de los barcos pesqueros de largo radio de acción para propósitos militares. Poco después de la guerra se reanudó la expansión de la flota pesquera y los stocks del sur fueron de nuevo objeto de una fuerte presión de pesca por parte de la flota creciente de barcos grandes. La pesca se restringió una vez más durante el período de 1950, debido a la presión económica que ocasionó el incremento de la cantidad de atún importado de que dispusieron los enlatadores de California.

La relación entre los cambios en la distribución del esfuerzo de pesca debida a los factores económicos y la medida de la abundancia aparente del atún aleta amarilla, afirman la necesidad de tener cautela en el uso de las tendencias a corto término en la abundancia aparente, como una medida del cambio en el tamaño de la población. Para evitar esta desviación sería necesario examinar una serie de por lo menos 13 años de los valores de la abundancia aparente, cuando la pesquería del Pacífico del Este es considerada como una unidad homogénea.

#### **Atún barrilete**

Shimada y Schaefer (1956) y Schaefer (1954) sugieren que el esfuerzo de pesca para la obtención del barrilete en el Océano Pacífico Oriental no ha alcanzado una intensidad lo suficientemente alta como para medir cualquier efecto de la pesquería en el tamaño del stock, debido a la presencia de la variabilidad de los factores independientes de la pesquería. Estos estudios han considerado que la población del barrilete es un grupo homogéneo de peces que ocupa la región entera de la pesquería frente a la costa occidental de las Américas. Un examen de la Figura 4 demuestra que en todos los años con excepción de uno (1956), de la serie de 10 años, están divididas las capturas del barrilete en dos componentes distintos: aquellos peces pescados frente a Baja California y alrededor de las Islas Revillagigedo, y aquellos capturados al sur del Golfo de Tehuantepec hasta la parte septentrional de Chile y mar afuera, alrededor de las Islas Galápagos. Hemos examinado por lo tanto, separadamente, los cambios en la abundancia aparente del barrilete de estas dos áreas principales, durante el período 1946-1961. El problema se complica por el hecho de que la pesca del atún aleta amarilla puede, a veces, afectar la medida de la abundancia aparente del barrilete. Shimada y Schaefer (1956) hacen notar que, con respecto a los barcos de carnada del tamaño de la clase 4 (de 201 a 300 toneladas de capacidad) la pesca del barrilete puede haber sido afectada en alguna forma por la abundancia del atún aleta amarilla, y en cuanto a los tamaños de las clases 5 y 6 (de 301 toneladas o de mayor capacidad) fue bastante evidente que conforme la abundancia del atún

aleta amarilla disminuía (alrededor de 1948), la pesca del barrilete iba siendo relativamente más intensa.

#### *Localidades del norte*

La Figura 14 muestra la medida de la abundancia aparente del barrilete, graficada contra la del atún aleta amarilla en el área al norte de los 15°N de latitud, cada año para el período 1946-1961, correspondiente a tres grupos de tamaño de barcos de carnada, de las clases 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6. En cuanto a los dos primeros grupos, no hay evidencia de que la pesca de una especie haya sido influenciada por la abundancia de la otra. Sin embargo, con respecto a las embarcaciones de tamaños más grandes (clases 5 y 6 de tamaño), hay una clara evidencia, especialmente durante los primeros años de la serie, de que los años de alta abundancia del atún aleta amarilla coincidieron con una abundancia baja del barrilete. Por lo consiguiente, hemos usado solamente las clases 1-4 para computar la medida de la abundancia aparente del barrilete en el sector norteño de la pesquería.

Para examinar la relación entre el esfuerzo de pesca y la abundancia aparente, fue necesario estimar la captura total del barrilete, en cada año, en los sectores septentrionales y meridionales de la pesquería. Con anterioridad a 1946, los datos correspondientes a la distribución por áreas de la pesca del barrilete no son lo suficientemente confiables como para permitir una división en sus partes componentes de la pesca total correspondiente al Pacífico del Este. En cuanto a los años 1946-1949, hemos dividido la captura total de la siguiente manera. La pesca de barrilete lograda por la flota de rederos cada año (Shimada y Schaefer, 1956, Tabla 2), se substrajo de la pesca total estimada en el Océano Pacífico Oriental (Schaefer, 1962, Tabla 1), ya que la mayor parte de la pesca, durante esos años, se realizó por dicha flota en las localidades del norte. La captura restante del barrilete fue luego prorrateada entre las áreas al norte y al sur de los 15°N de latitud, sobre la base de los registros disponibles de los diarios de pesca de los clippers, correspondiente a dichos años. La pesca de los rederos se agregó entonces, al valor prorrateado que correspondió a los barcos de carnada, para estimar la pesca total de barrilete en el sector del norte. El resto de la captura del barrilete en el Pacífico Oriental se consideró como proveniente del sector del sur. Con respecto a los años 1950-1961, se obtuvieron estimaciones más precisas de la captura total, al combinar la pesca del barrilete del norte a los 16°N de latitud (Shimada y Schaefer, 1956, Tabla 7; y Broadhead, 1964, Tabla 5) con la importada a los Estados Unidos desde México y la producción doméstica mexicana. Como solamente se capturaron unos pocos barriletes en el área entre los 15° y 16°N, los datos correspondientes de la pesca al norte de los 16° pueden ser utilizados sin error apreciable. Las estimaciones de la pesca total del barrilete en las localidades del sur se obtuvieron al substrair el

total de la captura del norte, de la pesca del Pacífico Oriental (Schaefer, 1962, Tabla 1). Estos datos se dan en la Tabla 3.

La Figura 15 muestra la relación entre la abundancia aparente y el esfuerzo total, y entre la captura y el esfuerzo total en las localidades del norte, en el período 1946-1961. Sorprendentemente, hay poca variación de un año a otro en la medida de la abundancia aparente del barrilete, siendo el alcance de 4,039 a 6,366 libras por día de pesca. No hay correlación entre la abundancia aparente y el esfuerzo total. La delimitación gráfica de la pesca total contra el esfuerzo total de pesca parece ser lineal; con la captura total ascendiendo en proporción a la cantidad del esfuerzo de pesca. La captura total más grande lograda en el área del norte se registró en 1956, cuando se descargaron casi 60 millones de libras.

Estos datos hacen pensar que la pesca del barrilete en la región del norte no ha alcanzado una intensidad lo suficientemente alta como para medir cualquier efecto de la pesquería en el tamaño del stock. Por consiguiente, las variaciones en los valores correspondientes a la abundancia aparente sobre el período de 16 años, probablemente reflejan las fluctuaciones en la abundancia debidas a los factores independientes de la pesquería. La abundancia aparente del barrilete en el área del norte se graficó contra las anomalías anuales de la temperatura de la superficie del mar (no se muestra la figura) en el Area 10. No se hizo evidente ninguna relación entre los dos parámetros.

#### *Localidades del sur*

La Figura 16 muestra la medida de la abundancia aparente del barrilete, graficada contra la del atún aleta amarilla del área al sur de los 15°N de latitud, cada año, durante el período 1946-1961, de dos grupos de barcos de carnada correspondientes al tamaño de las clases 3 y 4, 5 y 6. En cuanto a los barcos más pequeños, hay alguna evidencia de que la pesca del atún aleta amarilla puede haber afectado las capturas del barrilete en los años anteriores a 1952. Con respecto a las embarcaciones más grandes (clases 5 y 6), los valores de la abundancia del barrilete claramente se colocan en un punto bajo durante los primeros años de la serie, y hay alguna evidencia de que esta desviación continúa a una tasa reducida hasta 1953. Hemos usado solamente los datos estadísticos correspondientes a las clases 3 y 4 al computar la abundancia aparente del barrilete en la región meridional, con la consideración de que hay alguna selectividad contra el barrilete durante los primeros años de la serie.

Es grande la variación de un año a otro en la abundancia aparente del barrilete en la región meridional; la captura por día de pesca oscila de 2,731 a 19,132 libras en el período de 16 años. La Figura 17 indica la relación entre la abundancia aparente y el esfuerzo total, y entre la captura total y el esfuerzo total en las localidades del sur, durante el período 1946-

1961. La captura total más grande lograda en esta área fue de 142 millones de libras durante 1959. Hay alguna sugerencia de una limitación en la pesca total y de una disminución en la abundancia aparente conforme el esfuerzo total aumenta. Sin embargo, hay una considerable dispersión en los datos, estos cubren un período de tiempo relativamente corto y las tendencias están grandemente influenciadas por los puntos de 1960 y 1961.

Hemos graficado la abundancia aparente del barrilete en las localidades meridionales contra las anomalías anuales de la temperatura de la superficie del mar en el Area 37 (no se muestra la figura). No se hizo evidente relación alguna entre los dos parámetros.

**LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA**

Alverson, F. G.

- 1960 Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the Eastern Tropical Pacific by quarters of the year, 1951-1958. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 4, No. 6, pp. 319-441 (English), pp. 442-446 (Spanish).
- 1963 Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the Eastern Tropical Pacific Ocean, by quarters of the year, 1959-1962. *Ibid*, Vol. 8, No. 6, pp. 317-373 (English), pp. 374-379 (Spanish).

Bartlett, M. S.

- 1949 Fitting a straight line when both variables are subject to error. Biometrics, Vol. 5, No. 3, pp. 207-212.

Blackburn, Maurice

- 1962 An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep.—Fish. No. 404, 28 p.

Blackburn, Maurice and associates

- 1962 Tuna oceanography in the Eastern Tropical Pacific. U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep.—Fish. No. 400, 48 p.

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

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

Broadhead, G. C.

- 1962 Recent changes in the efficiency of vessels fishing for yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 6, No. 7, pp. 281-316 (English), pp. 317-332 (Spanish).
- 1964 Some recent statistics on the fishing for yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Pacific Ocean. *Ibid, in press.*

Cromwell, Townsend

- 1958 Thermocline topography, horizontal currents and 'ridging' in the Eastern Tropical Pacific. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 3, No. 3, pp. 133-152 (English), pp. 153-164 (Spanish).

## Griffiths, R. C.

- 1960 A study of measures of population density and of fishing effort in the fishery for yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, in the Eastern Tropical Pacific Ocean, from 1951 to 1956.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 4, No. 3, pp. 39-98 (English), pp. 99-136 (Spanish).

## 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*).  
Inter-American Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 2, No. 5, pp. 177-225 (English), pp. 226-243 (Spanish).

## Howard, G. V.

- 1962 The matter of availability and harvest of tunas.  
World Sci. Meet. Biol. Tunas & Rel. Spec., La Jolla, California, Meth. Paper 4, 19 p.

## Johnson, J. H.

- 1961 Sea surface temperature monthly average and anomaly charts northeastern Pacific Ocean, 1947-1958.  
U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep.—Fish. No. 385, 56 p.

## Klawe, W. L.

- 1963 Observations on the spawning of four species of tuna (*Neothunnus macropterus*, *Katsuwonus pelamis*, *Auxis thazard* and *Euthynnus lineatus*) in the Eastern Pacific Ocean, based on the distribution of their larvae and juveniles.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 6, No. 9, pp. 447-514 (English), pp. 515-540 (Spanish).

## Martin, J. W.

- 1962 Distribution of catch-per-unit-of-effort and fishing effort for tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean by months of the year, 1951-1960.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 6, No. 5, pp. 179-222 (English), pp. 223-229 (Spanish).

## Matsumoto, W. M.

- 1958 Description of larvae of four species of tuna and their distribution in central Pacific waters.  
U. S. Fish and Wildlife Serv., Fish Bull., Vol. 58, No. 128, pp. 31-72.

Orange, C. J.

- 1961 Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the Eastern Tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 5, No. 6, pp. 457-502 (English), pp. 503-526 (Spanish).

Radovich, J.

- 1962 Effects of water temperature on the distribution of some scombrid fishes along the Pacific coast of North America.  
World Sci. Meet. Biol. Tunas & Rel. Spec., La Jolla, California, Exp. Paper 27, 19 p.

Renner, J. A.

- 1963 Sea surface temperature monthly average and anomaly charts Eastern Tropical Pacific Ocean, 1947-58.  
U. S. Dept. Int., Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep.—Fish. No. 442, 57 p.

Rodewald, Martin

- 1958 Die Anomalie der Wassertemperatur und der Zirkulation im Nordpazifischen Ozean und an der Küste Perus im Jahre 1955.  
Dtsch. Hydrog. Z., Vol. 11, No. 2, pp. 78-82.

Saur, J. F. T.

- 1963 A study of the quality of sea water temperatures reported in ships' weather observations.  
Jour. App. Meteor., Vol. 2, No. 3, pp. 417-425.

Schaefer, M. B.

- 1954 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1953.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep. 1953, pp. 18-50 (English), pp. 51-87 (Spanish).
- 1957a A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean.  
*Ibid.*, Bull., Vol. 2, No. 6, pp. 245-268 (English), pp. 269-285 (Spanish).
- 1957b Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1956.  
*Ibid.*, Ann. Rep. 1956, pp. 33-79 (English), pp. 71-112 (Spanish).
- 1959 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1958.  
*Ibid.*, Ann. Rep. 1958, pp. 34-74 (English), pp. 75-121 (Spanish).

- 1961 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1960.  
*Ibid.*, Ann. Rep. 1960, pp. 40-107 (English), pp. 108-183 (Spanish).
- 1962 Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1961.  
*Ibid.*, Ann. Rep. 1961, pp. 44-103 (English), pp. 104-171 (Spanish).
- Schaefer, M. B., B. M. Chatwin and G. C. Broadhead
- 1961 Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 5, No. 5, pp. 341-416 (English), pp. 417-455 (Spanish).
- Sette, O. E.
- 1960 The long term historical record of meteorological, oceanographic and biological data.  
Cal. Coop. Ocean. Fish. Invest., Reports, Vol. 7, pp. 181-194.
- Shimada, B. M.
- 1958 Geographical distribution of the annual catches of yellowfin and skipjack tuna from the Eastern Tropical Pacific Ocean from vessel logbook records, 1952-1955.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 2, No. 7, pp. 285-354 (English), pp. 355-363 (Spanish).
- Shimada, B. M. and M. B. Schaefer
- 1956 A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 1, No. 7, pp. 347-421 (English), pp. 422-469 (Spanish).
- Strasburg, D. W.
- 1960 Estimates of larval tuna abundance in the Central Pacific.  
U. S. Fish and Wildlife Serv., Fish. Bull., Vol. 60, No. 167, pp. 231-255.
- Sund, P. N.
- 1964 The Chaetognatha of the waters of the Peru region.  
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., *in press*.
- Wooster, W. S.
- 1959 El Niño  
Cal. Coop. Ocean. Fish. Invest., Reports, Vol. 7, pp. 43-45.

