

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. 11, No. 2

**SIZE COMPOSITION, GROWTH AND SEXUAL MATURITY OF
BIGEYE TUNA, *THUNNUS OBESUS* (LOWE), FROM THE
JAPANESE LONG-LINE FISHERY IN THE EASTERN
PACIFIC OCEAN**

**COMPOSICION DE TALLAS, CRECIMIENTO Y MADUREZ
SEXUAL DEL PATUDO, *THUNNUS OBESUS* (LOWE), SEGUN
LOS DATOS DE CAPTURA DE LA PESQUERIA PALANGRERA
JAPONESA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by — por

Susumu Kume and/y James Joseph

La Jolla, California

1966

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	47
ACKNOWLEDGEMENTS.....	48
COLLECTION AND PROCESSING OF DATA	49
GENERAL FEATURES OF THE SIZE	
COMPOSITION OF THE CATCH.....	50
Temporal variation.....	50
Geographical differences.....	52
Comparison between sexes.....	54
SEXUAL MATURITY OF FEMALES.....	54
GROWTH.....	56
THE RELATIONSHIP BETWEEN CHANGES IN SIZE	
COMPOSITION AND APPARENT ABUNDANCE.....	58
<hr/>	
FIGURES — FIGURAS.....	62
<hr/>	
TABLES — TABLAS.....	75

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
INTRODUCCION.....	81
RECONOCIMIENTO.....	83
RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	83
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA COMPOSICION	
DE TALLAS EN LA CAPTURA.....	84
Variaciones temporales.....	85
Diferencias geográficas.....	87
Comparación entre sexos.....	88
MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS.....	89
CRECIMIENTO.....	91
LAS RELACIONES ENTRE LOS CAMBIOS EN LA	
COMPOSICION DE TALLAS Y LA ABUNDANCIA APARENTE.....	94
<hr/>	
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	97

**SIZE COMPOSITION, GROWTH AND SEXUAL MATURITY OF
BIGEYE TUNA, *THUNNUS OBESUS* (LOWE), FROM THE
JAPANESE LONG-LINE FISHERY IN THE EASTERN
PACIFIC OCEAN¹**

by

Susumu Kume^{2,3} and James Joseph

ABSTRACT

Size composition data of bigeye tuna taken from the eastern tropical Pacific Ocean by Japanese Prefectural experimental training vessels from 1958 to 1964 are examined. A gradient of increasing fish size from east to west is noted. Males increase in ratio over females for the entire range of lengths examined, and beyond 170 cm comprise more than 75 per cent of the total. The first semester of the year is important as a bigeye spawning season. A general relationship between sexual maturity and thermal structure of the water is discussed. At the end of their 12th quarter of life bigeye are about 114 cm long, by the 16th quarter, 137 cm and at the end of 20 quarters, about 153 cm. The long-line fishery in the eastern Pacific has had a marked effect on the size composition of the stocks of bigeye, but whether the fishing has driven the stocks below a point which could afford a maximum sustainable yield could not be determined.

INTRODUCTION

In the late 1950's the Japanese long-line fishery for tunas and billfishes expanded rapidly to the eastern Pacific Ocean. Prior to that time fishing had been concentrated west of 130°W longitude. Bigeye tuna, *Thunnus obesus* (Lowe), is the primary object of this fishery in the eastern Pacific. Suda and Schaefer (1965a) have reviewed the development and condition of this fishery for the period 1956 through early 1962. Kume and Schaefer (1966) have extended this study through 1963.

Suda and Schaefer (1965a) showed the hook-rate for bigeye tuna to be stable through 1961 but dropping in early 1962. Though this drop in hook-rate was accompanied by an increase in fishing effort, these authors could not state that this actually represented a real change in abundance of the species. Kume and Schaefer showed a continued decline in hook-rate during late 1962 and throughout 1963. This decline was also concurrent with increased effort. From this they concluded that the decreased hook-rates probably represented a real change in the abundance of this species and that increased fishing effort was contributing to this decline.

¹ This research was supported in part by Atomic Energy Commission Contract AT(11-1)-34, Project 99.

² Institute of Marine Resources, University of California at San Diego, La Jolla, California.

³ Present address: Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, Kochi, Japan.

They did not, however, exclude the possibility that this change in abundance may have been in part fishery-independent.

Along the Pacific coast of the Americas and around the off-shore islands, the surface fishery for tropical tunas catches mostly yellowfin and skipjack tuna. Occasional incidental catches of bigeye tuna are also made. The aggregate in tonnage of these catches is very small, and the fish are generally less than 100 cm long (Barrett and Kume, 1965).

With an ever-increasing demand for the raw product it is virtually certain that in the future increased effort will be placed on bigeye tuna by fishing fleets of the world. It is therefore necessary, to elucidate the effects of fishery-dependent factors on the stocks of bigeye tuna, to monitor temporal and spatial changes in the size structure of these stocks.

Previous studies of the size composition of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean have been rather restricted in scope, due to a paucity of data. Murphy and Shomura (1953, 1955) and Iversen and Yoshida (1956) analyzed size composition data collected during an experimental long-line cruise conducted in 1952 by the Pacific Oceanic Fisheries Investigations of the United States Bureau of Commercial Fisheries. Wilson and Shimada (1955) and Kenneth and Jow (1960) studied size composition data collected in the eastern Pacific Ocean by the California Department of Fish and Game and the Inter-American Tropical Tuna Commission during 1953, 1955 and 1956.

Further to the westward, size composition data collected from the Japanese long-line fishery mainly concerning the west and central areas of the equatorial region of the Pacific have been analyzed by Yukinawa (1958) and Kume and Shiohama (1965).

We present here an analysis of data respecting the size composition of bigeye tuna taken from the eastern tropical Pacific Ocean by the Prefectural experimental training vessels during the period 1958 through early 1964. Estimates of growth, based on age determinations made by other investigators are presented. In addition, a section on sexual maturity as inferred from gonad indices is included.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their gratitude to Dr. A. Takashiba, Director of the Nankai Regional Fisheries Research Laboratory for making it possible for the senior author to join the staff of the Institute of Marine Resources and the Inter-American Tropical Tuna Commission as a visiting scientist. We are also grateful to him for allowing us to use for this study data which were collected by personnel of his laboratory. Thanks are extended to Dr. M. B. Schaefer, Director of the Institute of Marine Resources, and Dr. J. L. Kask, the Director of the Inter-American

Tropical Tuna Commission for supporting this program. Messrs. C. Psaropulos and E. B. Davidoff of the Tuna Commission staff were especially helpful in preparing some of the data for use with computers. We also wish to acknowledge Dr. W. H. Bayliff who offered us many helpful suggestions, and Mr. N. Abramson of the California Department of Fish and Game for providing us with a computer program for fitting the von Bertalanffy growth equation.

COLLECTION AND PROCESSING OF DATA

Because of fish storage problems associated with the fishery for tropical tunas by Japanese long-line vessels in areas distant from shipping points, all fish captured which are heavier than about 60 kg are filleted on the vessel. Fish smaller than this are gilled and gutted only. In the eastern tropical Pacific approximately 70 percent of the bigeye catch is reported to be filleted; the remainder is gilled and gutted. It is therefore difficult to obtain data from landings at the ports of unloading which are representative of the actual catch and which reflect the size composition of bigeye. For this study it was necessary to utilize data on size composition that were provided from exploratory cruises of experimental fishing and training vessels under the cooperative research program organized by the NRFRL.

The methods of collection, techniques of measurement and determination of sex, as well as the tabulation of data have been described by Suda and Schaefer (1965b).

Length measurements used in this study represent samples collected from 1,555 days of fishing from May 1958 to March 1964. The form for reporting length measurements which is provided to the cooperative prefectural organizations and fishery high schools by the Japanese Fisheries Agency only has provision for reporting individuals within the range from 82 cm to 184 cm (Suda and Schaefer, 1965b). Fish outside this range were sometimes noted on the forms but, because these notations were at times questionable, they were not utilized in the analysis. Of the 64,752 fish measured over the range from 39 cm to 209 cm, 571 (0.9%) were below 82 cm and 1,048 (1.6%) were over 184 cm. The influence on the analysis of eliminating this small percentage is believed negligible.

The numbers of fish measured, tabulated by quarter of the year in which they were captured and by major area, are presented in Table 1. The major areas in this table are the same as those employed by Suda and Schaefer (1965) and are shown in Figure 1. Ninety-seven percent of the fish were recorded by sex. The relationship reported by Kume and Shiohama (1964) was employed to convert length measurements to ones of weight.

To study the seasonal and geographic changes in sexual maturity of the bigeye, gonad indices were calculated within areas of 5° of latitude and 5° of longitude for 3,502 females collected from July 1962 to March 1964. To calculate the gonad index the weight of both ovaries was used in the formula:

$$G. I. = (W/L^3) \cdot 10^3$$

where

G. I. = gonad index
 W = weight of both ovaries in gm and
 L = fish length in cm

The collection and handling of the gonads has been described by Kume and Schaefer (1966).

GENERAL FEATURES OF THE SIZE COMPOSITION OF THE CATCH

To examine the seasonal and spatial variation in size composition of samples employed in this study, the data were originally summarized by areas of 5° longitude by 5° latitude. A preliminary inspection of these summaries revealed much variation among areas within the same time period. Before these data could be regrouped for analyses by larger areas, the significance of this variation had to be examined on a statistical basis. For this the data were retabulated by 10 cm intervals of length and examined by Chi-square analysis for each 5° area within the same major area and the same quarter. In every case the highly significant statistical differences among the frequency distributions of size for each category indicated that the differences were real and not due to chance. Size frequency distributions which were grouped by major areas were similarly compared. In this case too, the differences were significant. From these tests, we surmise, as did Suda and Schaefer (1965b), that the differences among time periods within the same areas are due to seasonal growth, differential availability and non-uniform sampling. On the other hand, the areal differences may be attributable to differential catchability of different-sized fish in different areas and/or differential geographical distribution of fish of different sizes.

For the analysis below, fish were grouped by 5° squares as well as by larger major areas. Inspection of the geographical distribution of the catches of bigeye tuna shows two zonally continuous and concentrated bands in the areas north and south of the equator (Suda and Schaefer, 1965a). On the basis of this division the size composition data were also grouped by major areas north and south of the equator.

Temporal variation

Frequency curves based on percentage, of the length frequency

samples for each year from 1958 to 1963, are shown in Figure 2. To remove chance fluctuation, the data have been smoothed by a moving average of three, giving the middle value double weight,

$$(n = \frac{n_{i-1} + 2n_i + n_{i+1}}{4}).$$

From this figure, more than half of the samples are composed of fish larger than 145 cm, in every year. Recruitment to the fishery begins when individual fish are less than 90 cm in length, but substantial recruitment does not occur until the fish exceed about 120 cm. Although a slight change in size composition of the catch through time is suggested in the figure, *viz.*, a slight increase in the small size group and a very slight decrease in the larger, the general structure is rather constant from year to year.

To examine this more closely, the data in terms of weight (kg) by 6-month periods within major areas for the years 1958 through the first 6 months of 1964, are tabulated (Table 2A). In Table 2B these same data are shown for the northern and southern areas by semesters, and combined for all areas for each year. By looking at the mean weight through time within major areas, the trend towards decreasing size becomes much more apparent than in Figure 2. In area E-1 where effort has been intense since 1957 the mean weight of fish decreases steadily from 74.7 kg to 70.3 kg. This decrease is also quite evident for areas N-1 and E-2 and, to a lesser degree, for the remaining areas. To demonstrate this more clearly, the data of Table 2 are graphed (Figure 3). The heavy double line represents the mean weight of bigeye for all areas and semesters combined. As was evident in Figure 2, the combined data are constant over the period of years inspected. On the other hand, data for areas E-1, E-2 and N-1, the only areas for which there were sufficient data, show a constant decrease in mean weight of the fish. For these three areas, only the mean weights for the first six months of the year were used because there are consistent seasonal differences in average weight and because consecutive data for all years were not available. Because the average weight during the first semester is consistently higher than during the second, the heavy line representing the over-all average by years in Figure 3 is lower than the three lines representing individual major areas.

Suda and Schaefer (1965a) and Kume and Schaefer (1966) have demonstrated that the Japanese long-line fishery in the eastern Pacific has been intensifying since its inception in 1956. Suda and Schaefer (1965a, Appendix I) show that the fishery developed first in the western extremes of the region under consideration (areas E-1 and N-1) and progressively intensified to the eastward (areas E-2, E-3, N-2 and N-3), through 1962. This is probably why the combined average sizes do not change considerably over the period of years considered. That is, in each year from 1956 through 1962 a portion of the fishery has operated in pre-

viously unexploited areas. These areas have contributed an unexploited reserve of large fish to the fishery and when these large fish are included in the figures of combined average weight they mask the decrease in size which is evident within major areas.

In Figure 4 are shown the frequency distributions of size by quarters of the year. These data have been smoothed as described above. In the upper left-hand corner of each panel is shown the year, quarter and number of individuals on which the frequency curve was based. In quarters when the sample was obtained from only one month which was not the middle one of the quarter, the month in which the sample was taken is shown in parentheses.

In this figure a rather marked and consistent seasonal variation is evident in size composition for all years and areas with the exception of 1963 in the north. The proportion of large fish decreases from the first to the fourth quarter, while the proportion of small and medium fish correspondingly increases. From this, it may be that some recruitment in the small and medium sizes occurs in the last three quarters of the year with a trend to increase in size from the second to the fourth quarters.

This variation of size composition through time will be examined in detail below.

Geographical differences

Data from the combined samples for the period 1958-1963 by 5° areas, within quarters, are shown in Figure 5a-d. These data are graphed within three categories of size: fish larger than 150 cm, medium fish from 120 cm to and including 150 cm, and fish less than 120 cm. From the figures it appears that some of the fish became available to the fishery in the small size group, but most are recruited in the medium size group. There is no apparent well-defined seasonal pattern to the recruitment; apparently, some occurs throughout the year.

If the size composition in latitudinal zones of 5° of latitude is compared between 10°N and 10°S , then, by 5° areas of longitude, it is seen that in the first and fourth quarters there is a tendency for the percentage of catch represented by the large size groups to decrease, while that for the middle size group increases. There is no apparent pattern in the longitudinal distribution of the small size group. This is also evident in the third quarter for the area between 5°S and 10°S . On the other hand, the proportion of the largest group appears to increase, in the second quarter, from west to east. Consistent differences in the size composition of fish during the third quarter cannot be detected because of the high degree of variation among areas.

During the first and fourth quarters of the year some data were available from the 5° area adjacent to the coast of Ecuador. Here, a rather

high proportion of small fish were taken during the first quarter; this was not the case for the fourth quarter.

The size composition data in a north-south direction shows less consistency in distribution than in a west-east direction. An obvious feature in the figures is the relatively large share of small fish to the south of 5°S in the third quarter and the large share south of 15°S in the second quarter. Other than this, the variation among 5° areas is so irregular that no north-south trends in the data are apparent.

Kume and Shiohama (1965) have shown that bigeye tuna in the equatorial Pacific are distributed so as to suggest a gradient beginning with small fish in the western Pacific, which increases in size to the eastward. Our results indicate an opposite relationship for bigeye tuna in the eastern tropical Pacific, especially in the first and fourth quarters. There does, however, seem to be a reasonable pattern to these distributions if Figure 5 of Kume and Shiohama is examined closely. This figure shows that in the area 130° - 110°W the size composition is similar to that shown in our Figure 5a-d for the same area, suggesting that there is a west-east gradient of increasing size of fish which extends to about 130°W longitude. At this longitude the data suggest a slight gradient of decreasing fish size, but not as clearly as the gradient west of 130°W . In this connection it is noteworthy that yellowfin tuna, which occur in the same general areas as bigeye and perhaps occupy an ecological niche very similar to them, continue to exhibit a consistent west-east gradient in size composition eastward to the mainland (Suda and Schaefer, 1965b). These authors suggest that the larger yellowfin may be relatively more heavily concentrated near the bottom of the upper mixed layer, and, because the thermocline shoals to the eastward, the larger fish become more available to the long-line gear. Our data for bigeye do not support such a hypothesis. However, the vertical distribution of bigeye tuna in relation to yellowfin is of interest. Watanabe (1961) has shown, in the area 110° - 140°W longitudes between 8°N and 8°S in May and June, that bigeye tuna are caught mostly in waters between 58-112 meters while yellowfin are taken in shallower water. In this general area the mixed layer generally extends to a maximum depth of 80 meters (Wyrтки, 1964). This suggests that yellowfin may be distributed mostly above the thermocline in this area while bigeye are distributed mostly below the mixed layer. Assuming this is the case all along the equator, then as the long-line gear moves eastward it fishes more of the time in waters below the mixed layer, due to progressive shoaling of the thermocline as one moves eastward, than it does to the westward. It is also true that bigeye tuna progressively form an increasing proportion of the catch as compared to yellowfin as one moves in a west-east direction (Suda and Schaefer, 1965a; Kume and Schaefer, 1966). This is also consistent with the hypothesis that more bigeye caught by long-line may live below the upper-mixed layer than in the upper-mixed layer.

Comparison between sexes

A preponderance of males has been reported in the catch of bigeye tuna taken in the Pacific Ocean (Murphy and Otsu [1954], Iversen [1955], Murphy and Shomura [1955] and Shomura and Keala [1962]). These authors noted that males begin to predominate in the catches at about 120 cm in length and increase in ratio as their size increases.

To examine this relationship for our area the data have been grouped by sex in intervals of 10 cm. The ratio of males to females for each interval has been compared against an expected ratio of 1:1 of Chi-square analysis. The data are presented in Table 3, which lists for three areas, north of the equator, south of the equator and combined, the Chi-square values for each 10 cm interval. In all but three samples (northern area) the null hypothesis was rejected indicating a significant departure from a 1:1 ratio. Males are predominant over the entire range of lengths examined, and the ratio of males increases with size to a point where males comprise 75 percent of the fish over 170 cm.

Also shown in Table 3 are the total (pooled) and sum of Chi-squares. These are highly significant in each of the areas. Fisher and Mather (1936) showed that a measure of the inconsistency of the deviation of the sample ratios from the hypothetical could be derived by taking the difference between the summed and pooled Chi-squares; this measure they called the heterogeneity Chi-square.

In our study, the heterogeneity Chi-square of the northern area was relatively much greater than that of the southern area. This is because of the relative excess of females in the 82-89, 121-129 and 131-139 cm intervals. We cannot explain these inconsistent ratios.

From the foregoing, 1) There is generally a preponderance of males throughout the entire range of sizes examined in the equatorial Pacific. 2) There is a relatively lesser portion of males in the middle size classes. 3) The proportion of males begins to increase considerably beyond 160 cm. 4) An areal difference in sex ratios between the northern and southern areas may exist.

The observed patterns in sex ratios respecting size cannot be accounted for specifically, but one or more of the following may be operative: 1) differential availability and vulnerability, 2) differential natural mortality and 3) differential growth between sexes. The latter will be examined below.

SEXUAL MATURITY OF FEMALES

Previous studies on the maturity of bigeye tuna in the tropical Pacific Ocean show that the proportion of mature fish in the areas to the eastward of the central Pacific (Kikawa, 1962) increases remarkably. That the

eastern Pacific may indeed be of great importance as a spawning ground for the stocks of bigeye tuna inhabiting the Pacific Ocean seems probable.

In Table 4 the average gonad indices for 3,503 bigeye tuna taken in the eastern Pacific Ocean by quarters of the year and within 5° areas are listed, as is the number of fish within each 5° area. In his study on the spawning activity of bigeye tuna, Kikawa (1962) considered all fish with gonad indices 3.1 or greater to be mature and near to spawning; fish with gonad indices less than 3.1 were not considered to be near spawning. Kikawa seldom found fish smaller than 100 cm to be mature. For this study we have chosen to use Kikawa's designations to determine the sexual maturity of female bigeye tuna in the eastern Pacific. Since only 1.7 percent of the total fish examined in this study were shorter than 100 cm, almost all the fish examined can be considered large enough to be mature. In Table 4 the numbers within the parentheses indicate the numbers of fish with gonad indices 3.1 or greater.

To examine the temporal and spatial distributions of gonad indices in more detail than is possible from the table, the data have been presented graphically in Figure 6. In each 5° square, there is shown the proportion of fish with gonad indices ≥ 3.1 (shaded) and the proportion of fish with gonad indices < 3.1 (striations) by quarters of the year, the first quarter being the western-most column and the fourth quarter the eastern-most column within the 5° square. The number above each column represents the number of fish in the sample. The small number in the upper right-hand corner of each 5° square represents the code number of that square as depicted in Figure 1. The height to which a column extends vertically represents the average gonad index for the appropriate quarter within the corresponding 5° square. For example, in area 63, during the first quarter, there were 195 fish for which gonad indices were determined; over 90 percent of these had gonad indices ≥ 3.1 (average 7.73).

From Figure 6, a zone of mature fish north of the equator extends eastward to 95°W longitude and a zone in the south extends to 110°W longitude. The longitudinal strip from the equator to 5°S appears to be an area of little sexual activity relative to the northern and southern zones. These longitudinal strips appear to correspond to the areas of good fishing. In the western region between 120° and 130°W longitude, bounded by 10°N and 15°S , the occurrence of mature bigeye is noted more or less throughout the year, with maximum sexual activity in the northern area (extending to as far as 95°W) during the first, second and third quarters. In the southern area, the season of greatest sexual activity appears to be during the first and second quarters, with high gonad indices during the first quarter to as far east as 105°W .

In certain of the cruise reports examined during this study, various investigators on board the vessels have noted when fish were observed in

a "running-ripe" or "in the condition of imminent spawning." In Table 5 are listed the month, location of capture, fish length, gonad weight and gonad index for nine such observations. Although these data are not too meaningful, because they are so few and not comparable with fish in a less imminent spawning condition, they are nevertheless consistent with the hypothesis that the first semester of the year is more important as a bigeye spawning season than is the second semester.

A general relationship between the sexual maturity of bigeye tuna and the thermal structure of the eastern tropical Pacific Ocean is noteworthy. Wyrcki (1964) has described the mean annual distribution of surface isotherms in the eastern Pacific Ocean. He shows that temperatures during the first two quarters of the year range generally between 23-27°C in the area from which we have gonad index data for bigeye tuna. In August, temperatures in this area, especially east of 110°W, begin to cool and remain cool, dropping to as low as 20°C through most of December. It is during these latter months when temperatures are low that sexual activity, as reflected by measures of gonad index, is at its lowest. If patterns of fishing conditions are also compared, the seasons of best fishing agree to a measure with the season when bigeye are most sexually active.

GROWTH

Modal groups in the graphs of size frequency shown in Figure 4 are evident. Though many modes in the figure do not appear to conform to any sequence, others can be followed progressively through time. In these cases, the progression of modes is most likely attributable to growth. In the ensuing analysis we attempt to estimate the growth of bigeye tuna in the eastern tropical Pacific by examining the progression of modes which are assumed to belong to the same age class. Modal values used in this study were chosen under the criteria that the maximum percentage frequency of an assumed mode made up of at least 500 individuals should be greater than one and should be separated by more than 5 two-centimeter intervals of size class from the following modal group. Such modes are labelled with an arrow (Figure 4). For some of these labelled modes, regular quarterly progressions can be detected. For instance, the smallest modal group in the first quarter of 1962 in the northern area (Figure 4) can be followed consecutively by quarters until the fourth quarter of 1963, suggesting a progression of the same modal group of fish due to growth.

Utilizing size composition of bigeye tuna taken by long-line gear in the area of the Hawaiian Islands, Shomura and Keala (1962) have studied differential growth between sexes. They report that males grow faster than females after age three (approximately 100 pounds or 129 cm) and by the seventh year males (178 cm) are 25 pounds larger than females (171 cm).

To examine the frequency distributions of bigeye tuna by sex, we have prepared percentage-frequency curves of the bigeye samples for males and females separately (Figure 7). From the figure, the modes for males correspond quite well to the modes for the females up to 150 cm, with no apparent tendency for one sex to grow more rapidly than the other. For fish larger than 150 cm, this good agreement in growth between sexes is not evident, in that the modes for males are consistently larger than those for females and in that the males generally comprise a larger proportion. This situation in the larger fish may result from slower growth of females or from greater mortality and/or from decreased availability of females. Since the modal values for the males are generally greater than the corresponding ones for the females, differential growth is probably most important in this respect. Because of this inconsistency of the data for the larger size group, only that portion of the material comprising modes of a length less than 150 cm have been used to estimate growth. Therefore the resulting growth curves apply to both sexes up to 150 cm; beyond that size additional data are needed to describe growth by sex.

To detect the progression of major modes denoted in Figure 4, which may comprise single age groups and thus reflect growth, the modal length against the quarter and year in which they occurred have been plotted (Figure 8). The data for the northern (small open circle) and southern (solid circle) areas are shown together. A solid line was connected to those modal values which appeared to us to correspond to the same age group. When modes were obtained from both the northern and southern areas at the same time, the one with a previous mode in the series was used. Those modal values marked with a large circle were not included in the analysis as they were not considered representative of a series. For convenience in interpretation, the seven lines resulting from this analysis were designated B-1 through B-7 and are assumed to represent seven distinct year classes of bigeye tuna which form part of the exploitable population from 1958 through 1964. With the exception of year-class B-3, there is remarkably good agreement among the growth rates of the seven groups considering the nature of the length-frequency distributions.

Listed in Table 6 are quarterly values for modal series B-1 through B-7, and the average modal length of all year classes at the same ages. To assign ages to the quarterly modal groups, each of the seven series is assumed to originate from spawning in the second quarter of a year. Yukinawa and Yabuta (1963) have shown growth curves for bigeye tuna computed by four independent investigators. Though the curves differ rather significantly, they do, during the first three years, approximate one another. On the average, bigeye are about 40 to 50 cm long at the end of their first year, 75-95 cm at the end of their second and 100-130 cm at the end of their third year. If the growth of bigeye during these

first years does lie somewhere within these groups, and if bigeye in the eastern Pacific spawn primarily in the second quarter of the year, then it is reasonable to expect that the fish representing the first modal values in the seven series, averaging 92.0 cm, are in their 9th quarter of life. From this, ages, by quarter, have been assigned to each of the modal values in the series B-1 through B-7 (Table 6).

The von Bertalanffy equation has been chosen to describe the growth of this species in the form of a continuous relationship of length with age, a manner which is readily comparable with other studies. The derivation of this equation is given by Beverton and Holt (1957) and is based on the concept of metabolism of the organism. The equation is:

$$l_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

where l_t is the length at age t , L_∞ is the asymptotic length, K is a constant and t_0 is the apparent age at length zero.

Tomlinson and Abramson (1961) have pointed out that methods previously used to fit a von Bertalanffy curve to observed values of fish length have often required the use of inefficient techniques to estimate the parameters K , L_∞ , and t_0 . They have presented a method, using the technique of least squares, for estimating these parameters which is equivalent in precision to maximum likelihood estimates. This method estimates the following values for the parameters in the growth equation:

$$L_\infty = 186.95, t_0 = 2.11 \text{ and } K = 0.095.$$

All of these were calculated on a quarterly basis.

The curve of this equation is shown in Figure 9 and is compared with the curve of Shomura and Keala (1962) and of Yukinawa and Yabuta (1963). The curve of Shomura and Keala was computed from size frequency data collected from the Hawaiian long-line fishery while that of Yukinawa and Yabuta was based on scales from fish taken throughout the entire Pacific Ocean. The three growth curves are not identical. The differences may be real or result from differences in the estimation of spawning season and the arbitrary assignment of age. However if the position of the three curves is shifted so that they correspond on the abscissa, then they are essentially the same. Therefore our curve is useful to estimate growth of bigeye tuna in the area of study even though the age of the fish is uncertain.

THE RELATIONSHIP BETWEEN CHANGES IN SIZE COMPOSITION AND APPARENT ABUNDANCE

To examine some factors relating to size composition of bigeye tuna in time and space, and the effect exploitation by man has on these factors,

changes in the abundance of the fish must be considered. The catch, in numbers of bigeye tuna per unit of effort (in this case one hundred hooks [hook-rate]) is used to measure relative apparent abundance of the stocks being studied. For this analysis, the hook-rates for bigeye tuna within the three size categories mentioned earlier, by quarter of the year, for the areas north and south of the equator have been computed. In the southern area hook-rates from within major area S have not been included because albacore is the species primarily fished there. Consequently, effort exerted in major area S affects the values of hook-rate for bigeye tuna, but for the purpose of this study the effects of this elimination are considered negligible.

The quarterly percentage composition of bigeye tuna taken in the eastern Pacific by three intervals of size for the areas north and south of the equator for 1958 through 1963 are given in Table 7. Also presented are hook-rates within these same size intervals, including the hook-rate for the three intervals combined. As previously noted, the abundance of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean, as reflected by hook-rate, has been trending downward during the recent years of the fishery. For the northern area this downward trend has been continuing since 1961 (Table 6). In the southern area, the trend starts in 1960 and continues through 1963. To examine the seasonal patterns and trends within the three size categories, the hook-rates for each category have been plotted against quarterly intervals of time for the areas north and south of the equator (Figure 10); also shown in the figure is the quarterly hook-rate for all sizes combined. Because data are lacking for the northern area, connecting lines are not shown prior to 1961.

North of the equator the abundance of the small size group appears to have remained somewhat constant over the period shown, except for the second semesters in 1961 and 1963. The abundance of the large and medium size groups shows a general downward trend over this period, with the medium group apparently leveling off during late 1962 and 1963.

In the southern area, for which there are more extensive data, very marked seasonal patterns in the abundance of size groups are seen. The small fish generally exhibit a slight decrease in abundance during the first and second quarters of the year and an increase during the third and fourth. There is an obvious inverse relationship between the abundance of the medium and large groups. The fish comprising the medium group most often become more abundant from the first to the fourth quarters of the year, while the group of large fish shows decreased abundance from the first through the fourth quarters of the year.

The inverse relationship between the large and medium groups within a year may be due in part to growth in the medium group and removal of fish by fishing in the large group. However, this is not an adequate

explanation, especially when the sharp increase in the large group, and correspondingly sharp decrease in the medium group from the fourth to the first quarter is considered. Most of this sharp increase in large fish is composed of fish larger than 160 cm and growth alone cannot be contributing to this increase. Recruitment of large fish during the first quarter could account for such a situation, but this does not seem likely because Kume and Shiohama (1965) have shown a similar pattern in the areas between 150°W and 130°W where fish over 160 cm are highly abundant. The decrease in the medium group may result from transfer to the large group because of growth. Although each or all these explanations could contribute to the phenomenon, they are not adequate to thoroughly explain such a situation. A factor which we have not discussed and certainly could be contributing to this situation, is differential availability of the size groups due to seasonal changes in the environment. For example, Wyrтки (1964) has shown that in the area with which we are concerned, the depth of the mixed layer increases from the second to the fourth quarter. If, as suggested earlier, bigeye are normally stratified below the mixed layer, then they would become more available to the long-line gear during the first part of the year, when the depth of the upper mixed layer is at its shallowest. If bigeye are also stratified vertically in the water column according to size, as suggested by Suda and Schaefer (1965b) for yellowfin, then this would account for some of the seasonal variability seen in Figure 10. The analysis of such possibilities is beyond the scope of this paper.

Respecting the long-term trends of these three size groups south of the equator, there has been a steady reduction in the apparent abundance of medium and large bigeye since 1960. Abundance of the smallest size group as reflected by hook-rate has remained stable throughout the history of the fishery, and as was the case in the north has progressively constituted a larger portion of the catch.

If the relationships among the three size groups in the southern area are examined more closely, it is seen that early in the fishery, especially during 1959, the large fish were very abundant in the catches. This was most likely due to a reserve from the previous years when there was little or no fishing. The medium-sized fish during this period were, for some reason unexplainable by us, less available to the long-line gear. Subsequent to 1959, the larger fish became less abundant relative to the medium group, probably because of the removal by the fishery of this surplus of large fish that had been accumulated. Though the abundance of small fish has remained relatively constant over the period of the fishery, the total number taken has increased steadily when one considers the increase in effort. It is apparent that the steady decrease in total hook-rate is due almost entirely to the decrease in the apparent abundance of the medium and large size groups. That is, after initial removal of these large components of the stock that had been accumulated, the fleet has been cap-

turing proportionately more of the smaller fish, taking them before they constitute large proportions of the medium and large size groups.

Thus it is evident that the long-line fishery in the eastern tropical Pacific has had a marked effect on the size composition of the stocks of bigeye tuna. It is not, however, possible to ascertain from this study whether the fishery has, respecting the maximum yield, adversely affected the level of the stocks in the eastern Pacific.

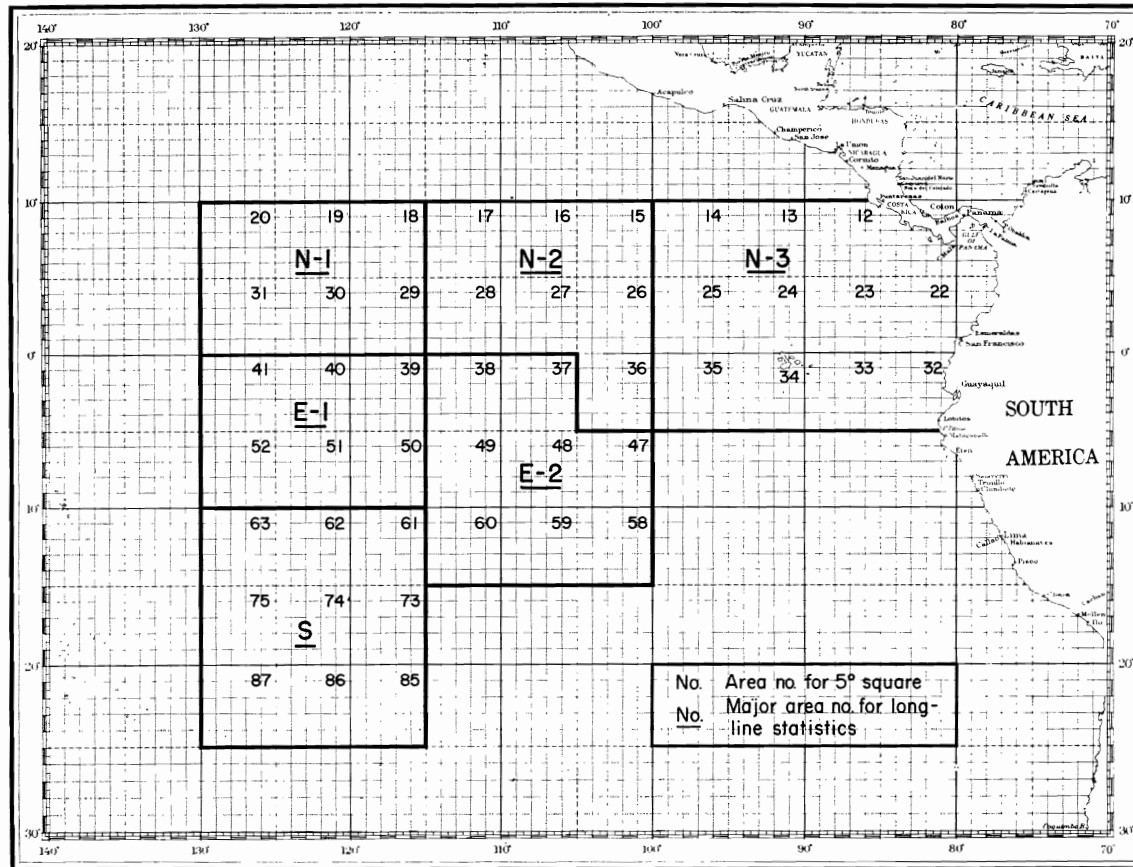


FIGURE 1. Designation of areas. Each 5° square is identified by a two-digit number in the upper right-hand corner.
FIGURA 1. Designación de las áreas. Cada cuadrado de 5° es identificado por un número de dos dígitos en la esquina superior del lado derecho.

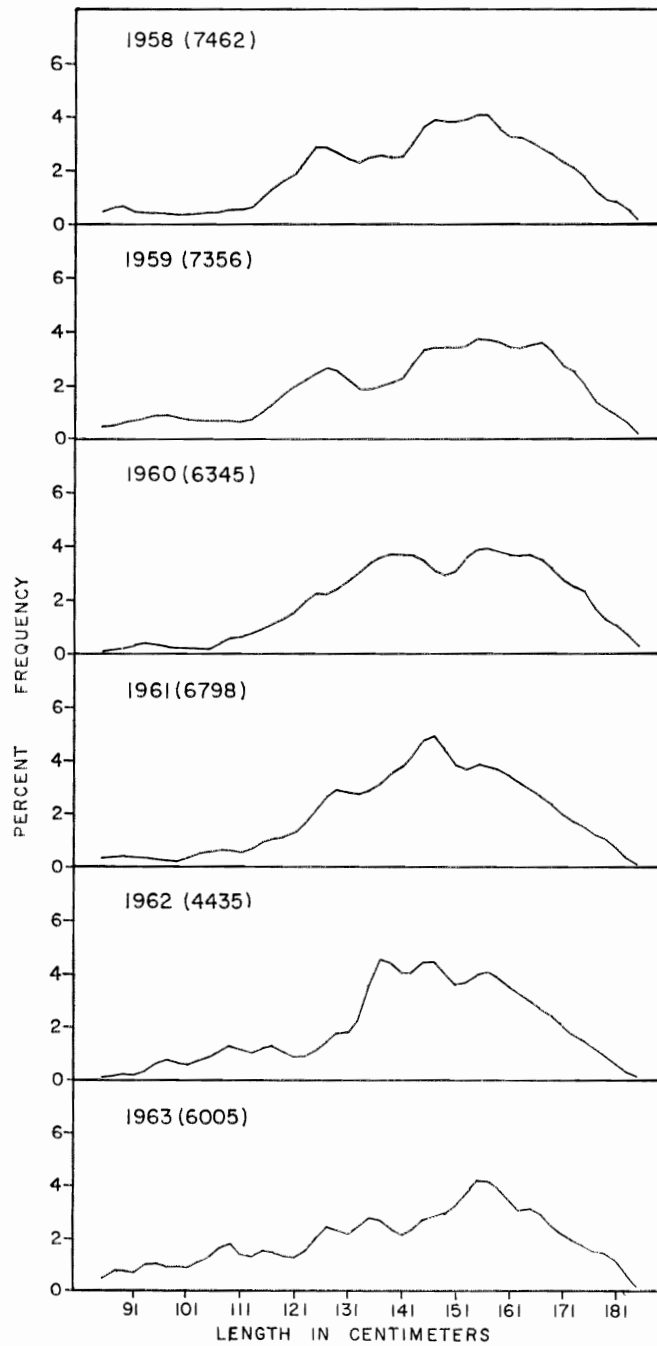


FIGURE 2. Annual length-frequency distribution of bigeye tuna caught by long-line in the southern area, during 1958-1963, expressed as a percentage. Year and number of individuals shown in upper left-hand corner of each panel.

FIGURA 2. Distribución anual representada como un porcentaje, de las frecuencias de longitud del patudo pescado por las artes palangreras en el área sur, durante 1958-1963. Se indican en la esquina superior izquierda de cada panel el año y el número de individuos.

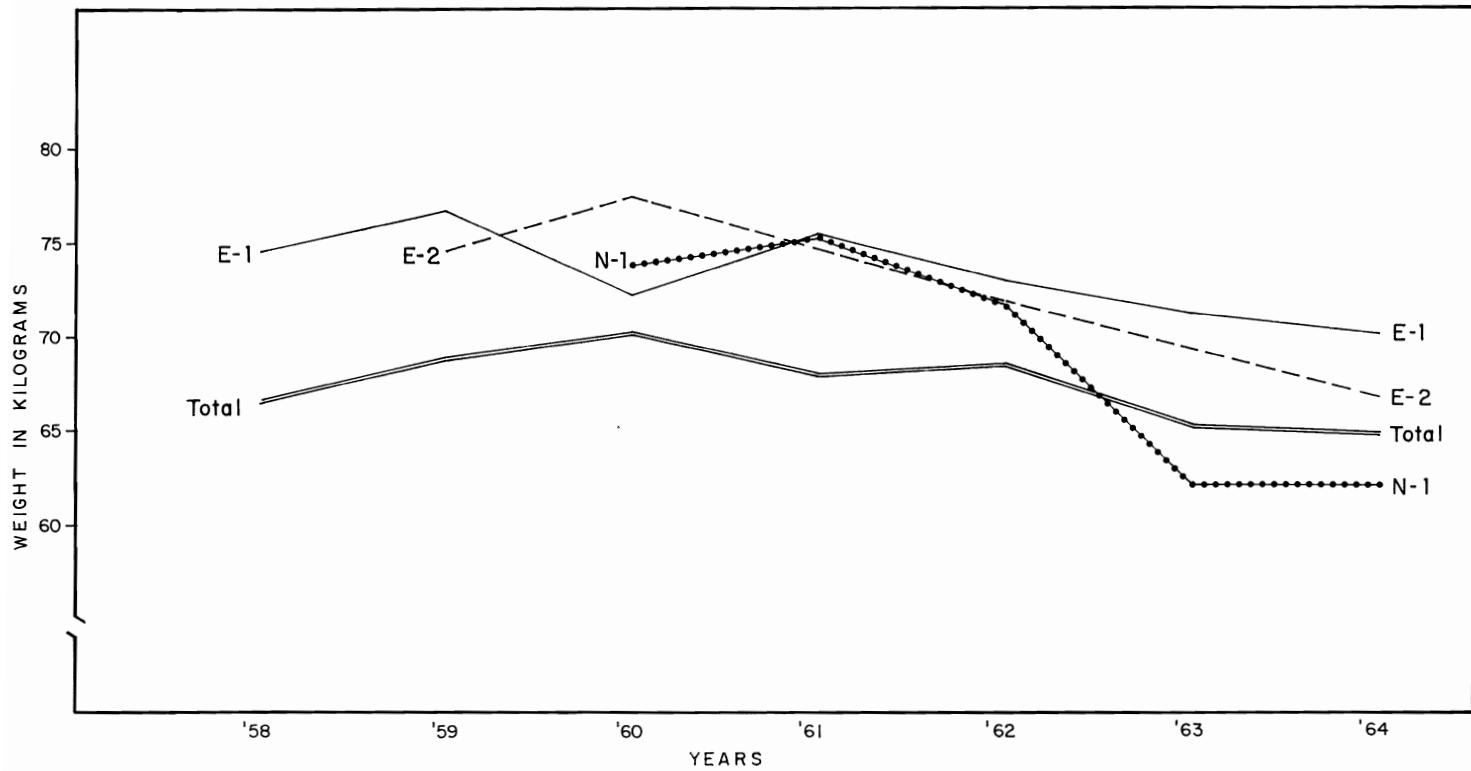


FIGURE 3. Average weight of fish from the catch during the first semester of each year shown for three major areas. The double line represents the overall annual average of all areas combined within each year.

FIGURA 3. Se presenta correspondiente a tres áreas principales el peso promedio de los peces según la captura durante el primer semestre de cada año. La línea doble representa el promedio anual total de las áreas combinadas en cada año.

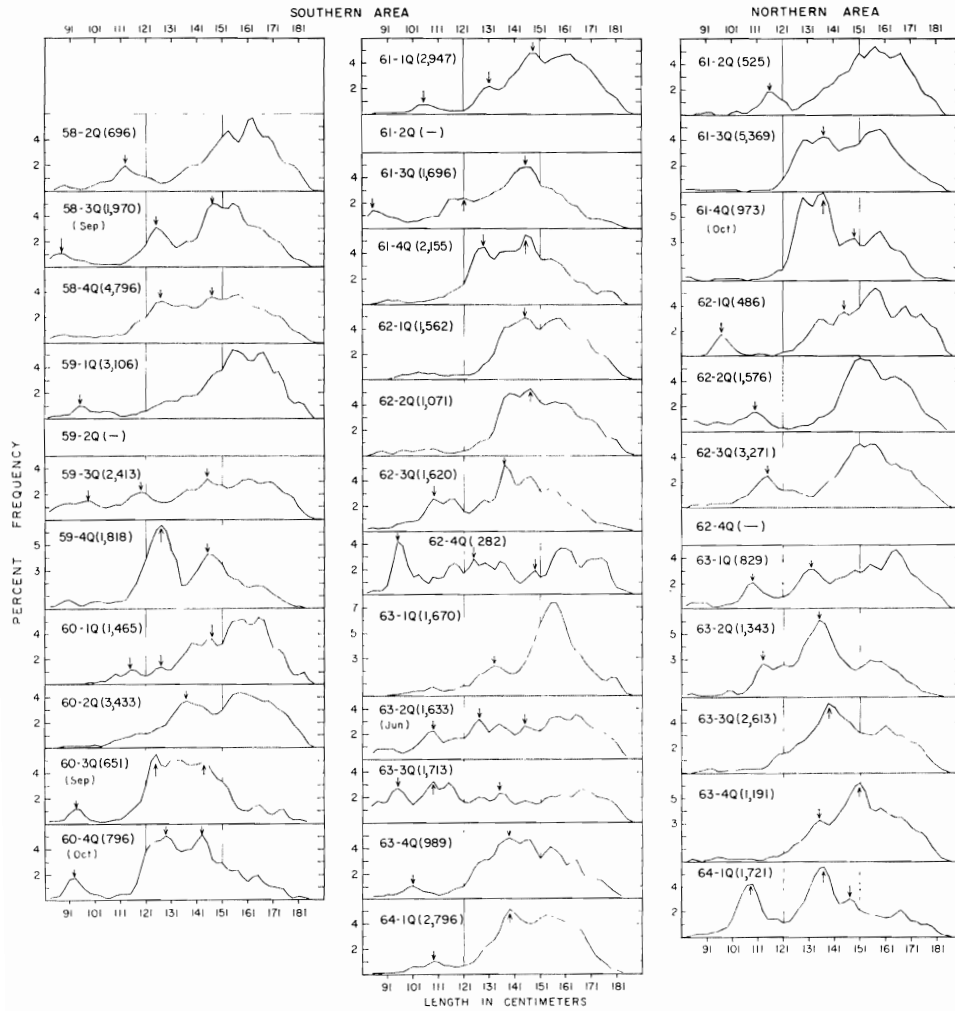


FIGURE 4. Quarterly length-frequency distribution of bigeye tuna caught by long-line for northern and southern areas, expressed in percent. Year, quarter and number of specimens corresponding to the appropriate curve are shown in the upper left-hand corner of each panel.

FIGURA 4. Distribución trimestral representada como un porcentaje de la frecuencia-longitud del patudo pescado por las artes palangreras en las áreas norte y sur. Se presentan en la esquina superior izquierda de cada panel de acuerdo a la curva apropiada, el año, trimestre y número de especímenes.

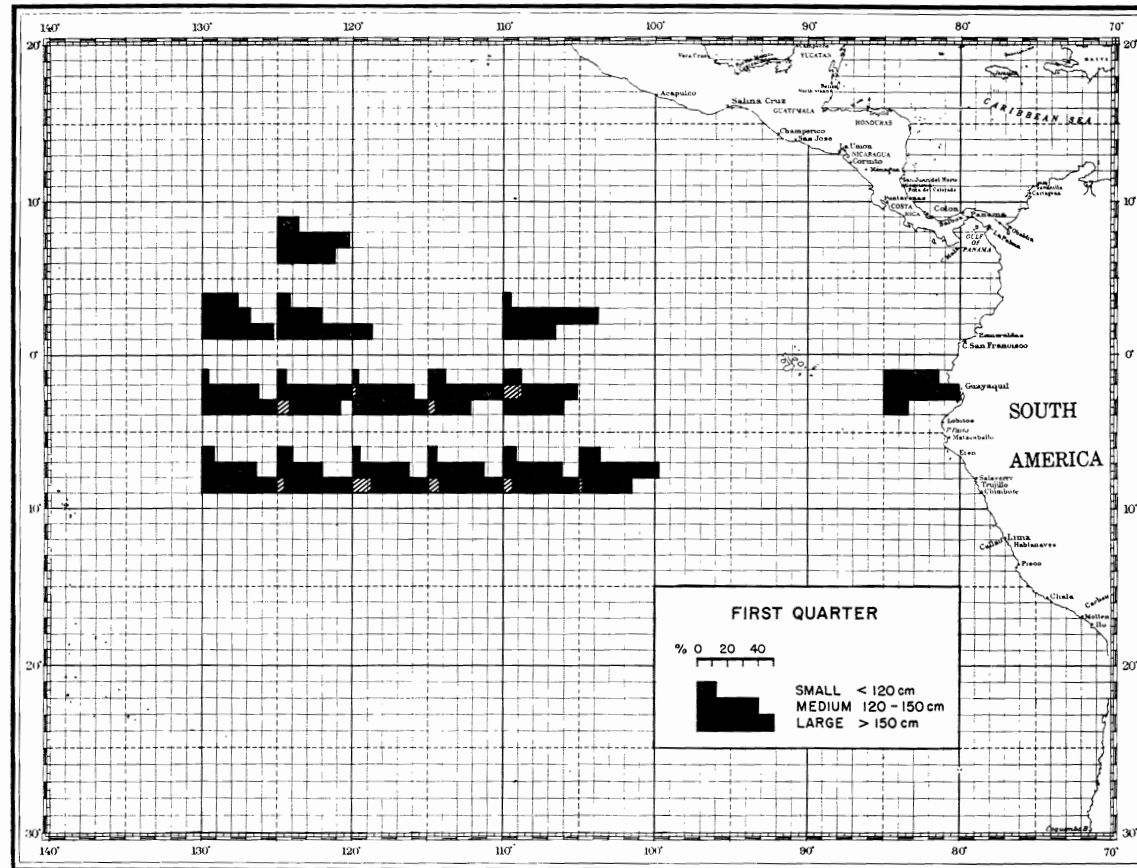
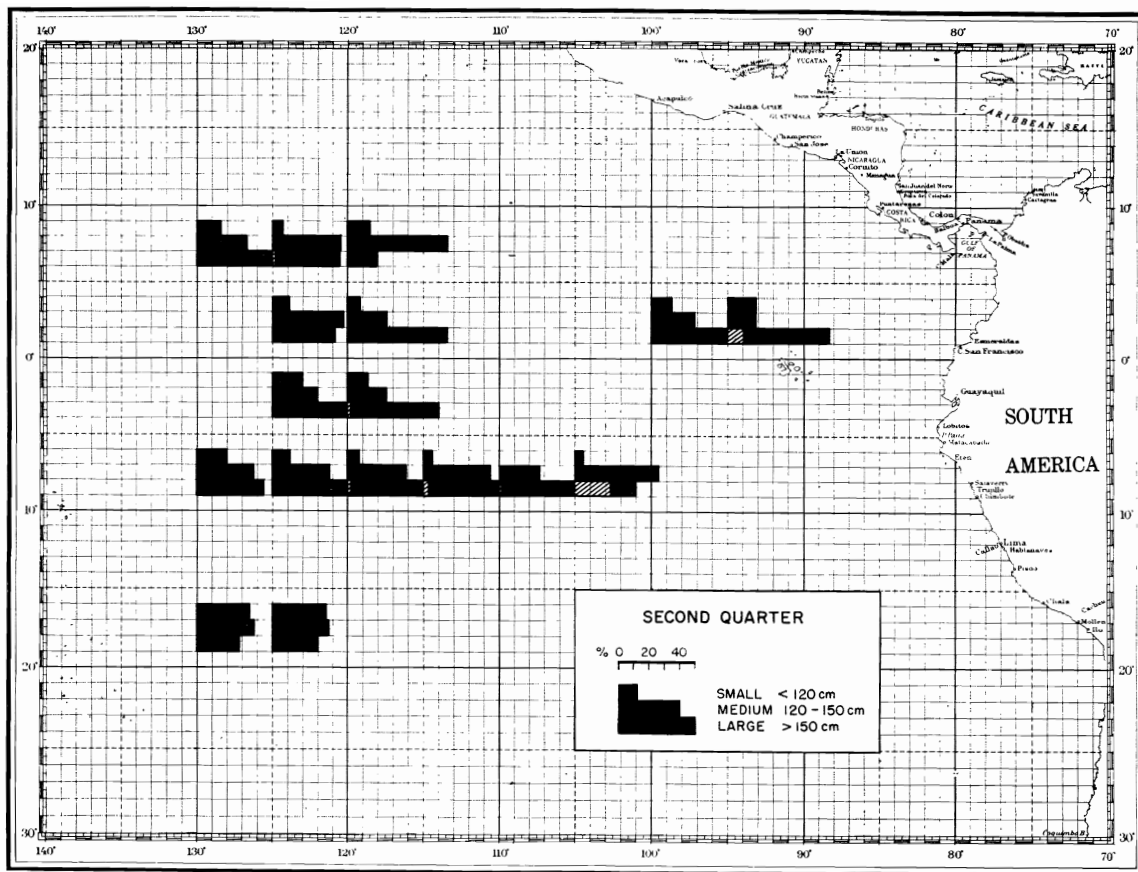
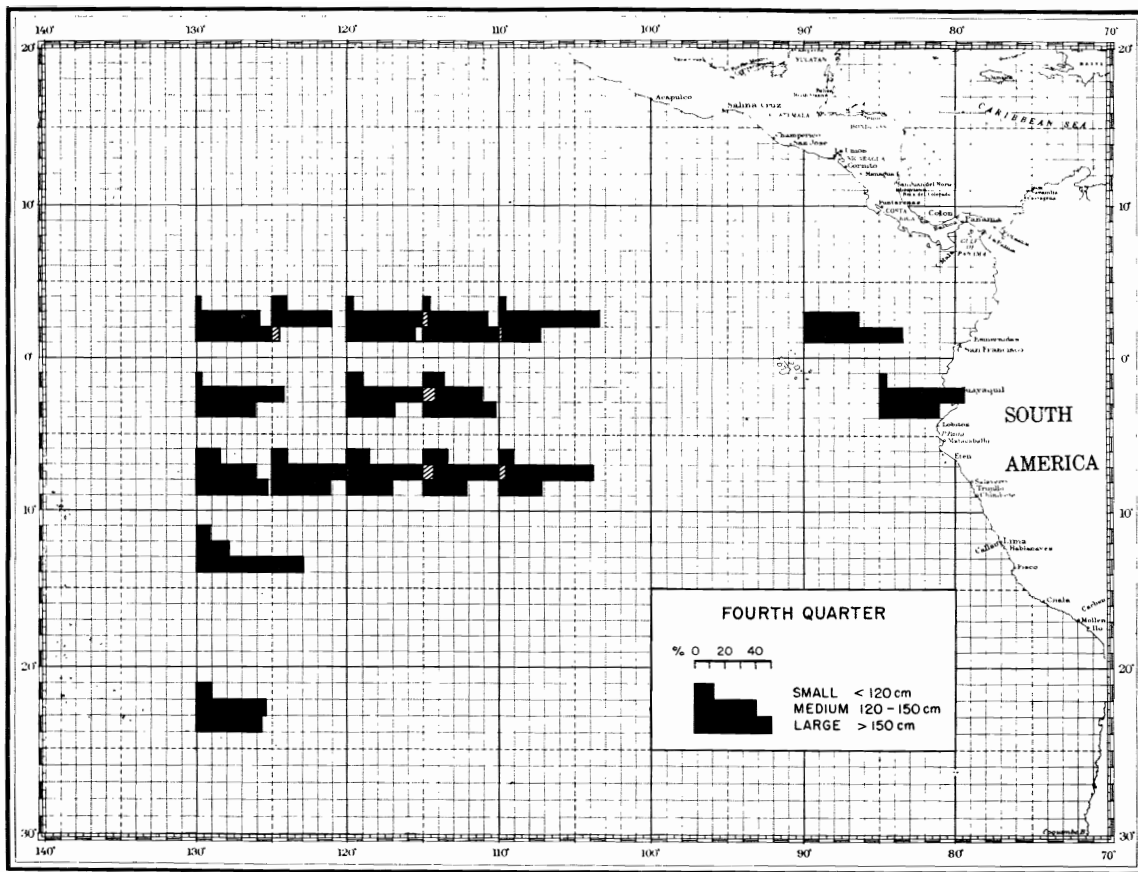


FIGURE 5a, 5b, 5c, 5d.—Average size composition of bigeye tuna shown by 5° squares, within quarters of capture and by three size categories (See text for explanation).
 FIGURA 5a, 5b, 5c, 5d. Promedio de la composición de tallas correspondiente al patudo, presentado por cuadrados de 5° en los trimestres de captura y por tres categorías de tamaño (véase el texto para su interpretación).



FIGURE—FIGURA
5b



FIGURE—FIGURA
5d

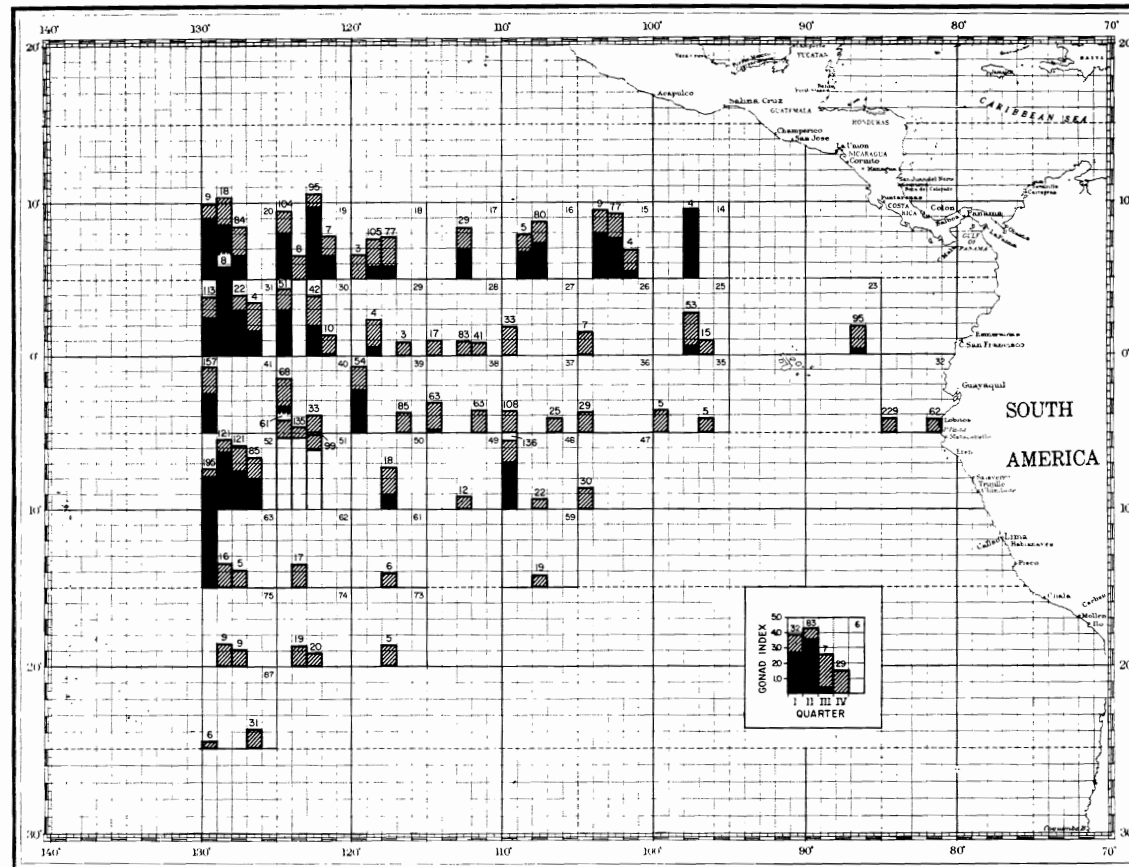


FIGURE 6. Quarterly distribution of average gonad indices of bigeye tuna by 5° squares (see text for explanation).
FIGURA 6. Distribución trimestral por cuadrados de 5° del promedio de los índices de las gónadas del patudo (véase el texto para su interpretación).

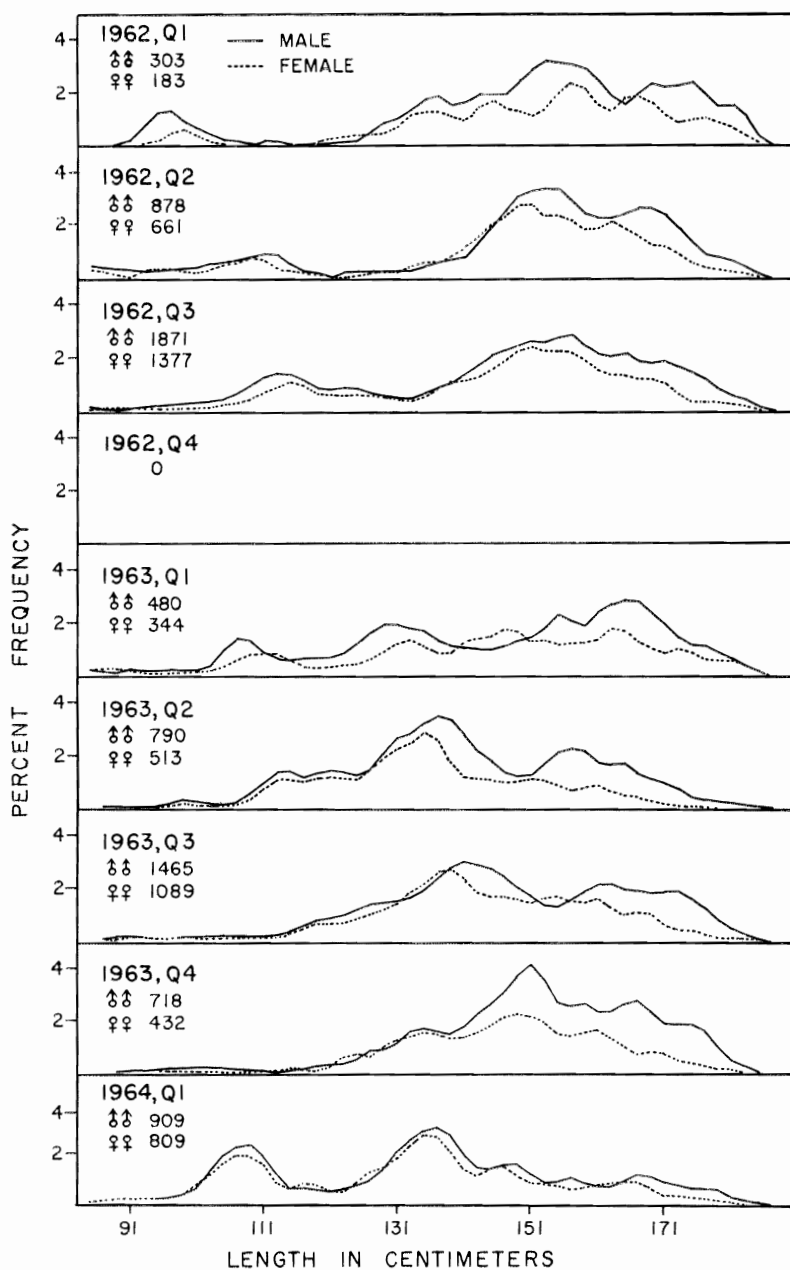


FIGURE 7. Comparison of length-frequency distributions of males (connected line) and females (dotted line) shown separately, expressed as a percentage, in the northern area, from the first quarter of 1962 through the first quarter of 1964. In the upper left-hand corner of each panel is shown the year, quarter and number of individuals by sex.

FIGURA 7. Comparación de las distribuciones frecuencia-longitud de los machos (línea continua) y de las hembras (línea a trazos) presentada separadamente, expresada como un porcentaje, desde el primer trimestre de 1962 hasta el primer trimestre de 1964 en el área del norte. Se presenta en la esquina superior izquierda de cada panel, el año, trimestre y número de individuos por sexo.

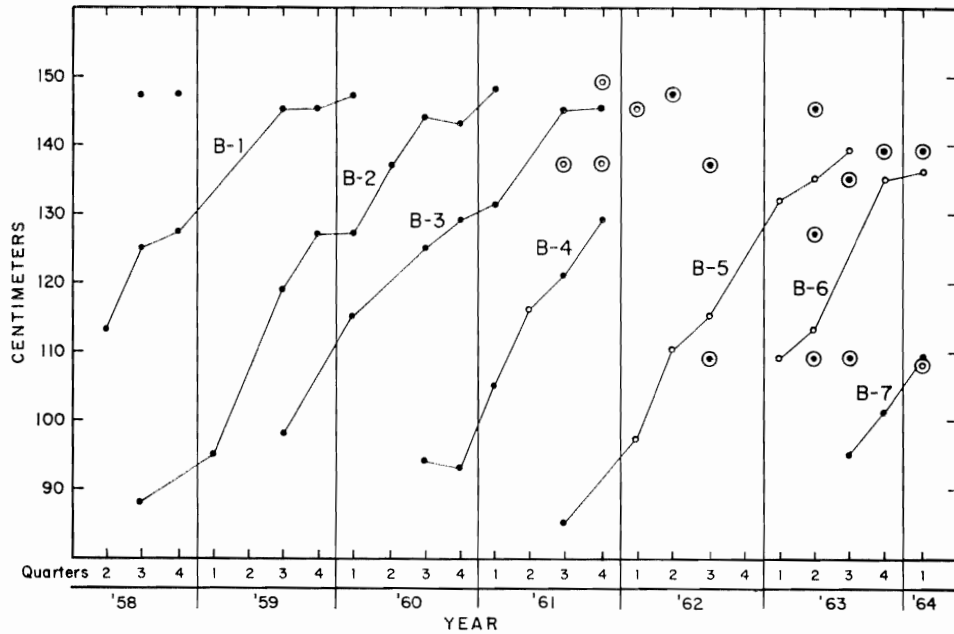


FIGURE 8. Progression of modal lengths of size groups in the long-line catch between lengths of 82 cm and 150 cm. Small open circles represent data from the northern area and dots the southern area.

FIGURA 8. Progresión de las tallas modales entre longitudes de 82 cm y 150 cm, de los grupos de tamaño en la captura de las artes palangreras. Los círculos pequeños en blanco representan los datos en el área del norte y los puntos negros los del área del sur.

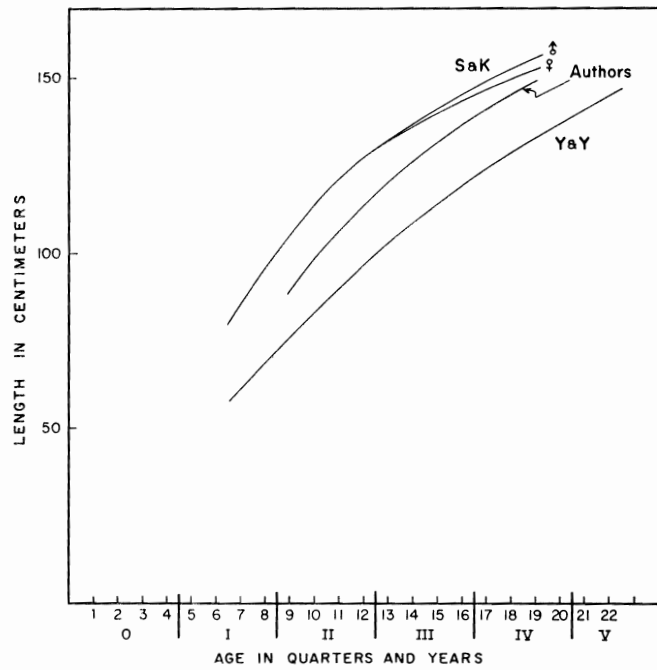


FIGURE 9. Three growth curves of bigeye tuna by quarters and year.

FIGURA 9. Tres curvas de crecimiento correspondientes al patudo, por trimestres y año.

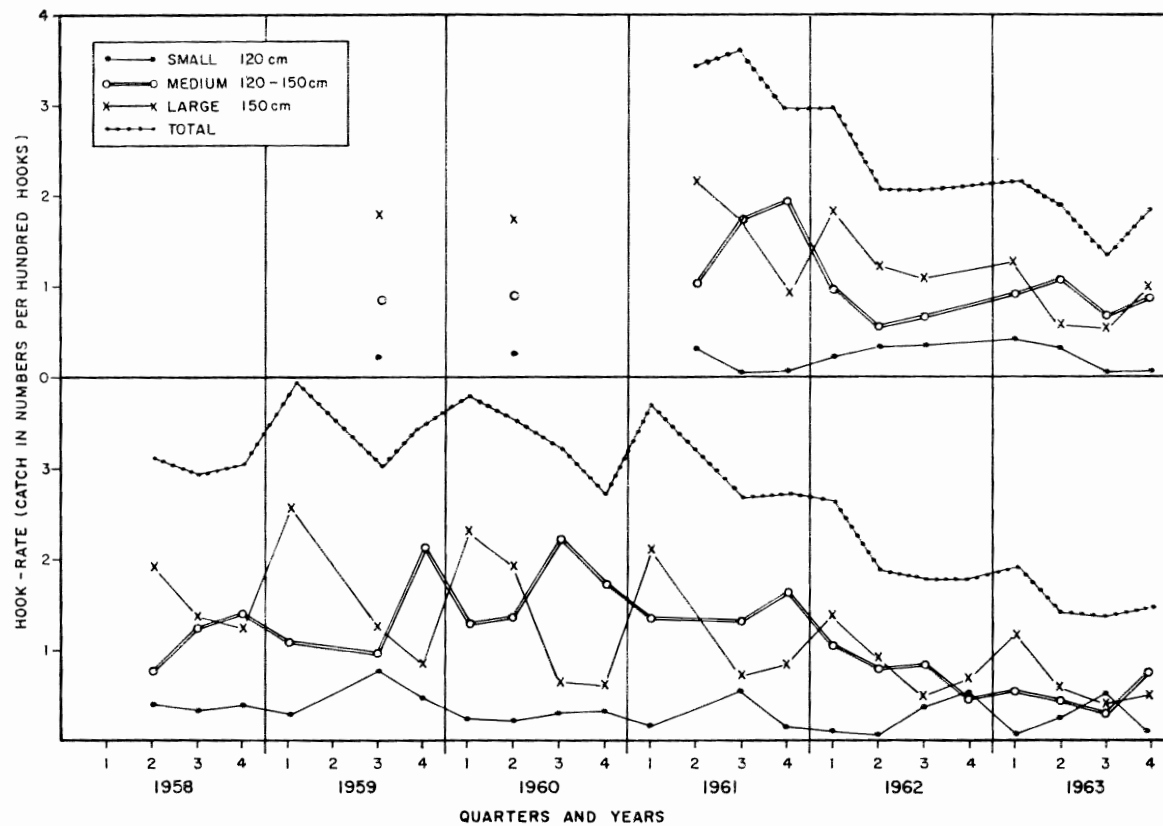


FIGURE 10. Quarterly hook-rates by size category for the northern (lower panel) and the southern (upper panel) areas.
FIGURA 10. Tasas de captura trimestrales por categoría de tamaño correspondientes a las áreas del norte (panel inferior) y del sur (panel superior).

TABLE 1. Numbers of bigeye tuna measured by experimental and training long-line vessels, by quarters within major areas**TABLA 1.** Número de atún patudo medido por barcos palangreros de experimentación y entrenamiento, por trimestres en las áreas principales

Year Año	Quarter Trimestre	Major areas — Areas principales						S
		N-1	N-2	N-3	E-1	E-2	E-3	
1958	2				696			
	3				175	1795		
	4				2635	2019		142
1959	1				2902	204		
	2							
	3	948	518		2188	225		19
	4					1818		
1960	1				1126	339		
	2	473			1881	1552		
	3				651			
	4				796			
1961	1				2947			
	2	525						
	3	1968	3401		1696			
	4	146	827		2155			
1962	1	486			1562			
	2	593		983	499	572		
	3	1553	779	939	304	1114		202
	4				282			
1963	1	829			1631			39
	2	1284	59		1154			479
	3	1342	944	327	1224	139		350
	4	555	103	533	447	353		189
1964	1	267	244	1210	1177	1576		43
Total		10969	6875	3992	28128	11706		1463

TABLE 2. Average weight*, in kilograms, of the catch, calculated from the data on length-frequencies, by half-year periods**TABLA 2.** Peso* promedio de la captura, en kilogramos, calculado según los datos de frecuencia-longitud, por periodos semestrales

A. Average for each major area — Promedio por cada área principal							
Year Año	Half-year Semestre	E-1	E-2	S	N-1	N-2	N-3
1958	1st	74.7					
	2nd	67.1	63.8	82.4			
1959	1st	76.5	74.5				
	2nd	63.9	56.2	49.7	75.0	84.9	
1960	1st	72.2	77.7		73.8		
	2nd	56.3					
1961	1st	75.4			75.4		
	2nd	60.3			77.2	64.4	
1962	1st	73.2	72.1		72.1		74.0
	2nd	57.2	59.0	54.1	67.9	65.7	74.7
1963	1st	71.8		54.4	62.1	65.6	
	2nd	58.5	62.8	55.5	72.9	67.4	66.2
1964	1st	70.3	66.8	69.3	62.2	68.5	51.1

B. Averages for northern (N-1, N-2 and N-3) and southern areas (E-1, E-2 and S combined) and annual average for all major areas combined

Promedios para las áreas del norte (N-1, N-2 y N-3) y las del sur (E-1, E-2 y S combinadas), y promedio anual de todas las áreas principales combinadas

Year Año	Half-year Semestre	Northern area Area del norte	Southern area Area del sur	Whole area Area total
1958	1st		74.7	
	2nd		65.6	66.4
1959	1st		76.4	
	2nd	78.5	60.2	68.9
1960	1st	73.8	74.4	
	2nd		56.3	70.5
1961	1st	75.4	75.4	
	2nd	68.6	60.3	68.0
1962	1st	73.0	72.9	
	2nd	69.3	57.9	68.9
1963	1st	62.2	69.2	
	2nd	69.9	58.7	65.8

* Weight is for whole fish, not gilled and gutted.

* El peso es para los peces enteros, sin quitarle las branquias ni desviscerar.

TABLE 3. Sex ratios and Chi-square values for bigeye tuna caught by the long-line fishery, by 10 cm size classes**TABLA 3.** Razón de los sexos y valores del ji-cuadrado correspondientes al atún patudo, capturado por la pesquería de palangre, por clase de tamaño de 10 cm

Length-class (cm)	A: Whole area — Area total			Chi-square	D.F.
	Number of fish male	female	Per cent female		
Clase-longitud (cm)	Número de peces machos	hembras	Porcentaje hembras	Ji-cuadrado	G.L.
82 - 89	391	267	40.1	23.368**	1
90 - 99	772	434	36.0	94.730**	1
100 - 109	1223	786	39.1	95.057**	1
110 - 119	1821	1289	41.4	91.005**	1
120 - 129	3416	2656	43.7	95.125**	1
130 - 139	5185	4134	44.4	118.532**	1
140 - 149	6096	4832	44.2	146.202**	1
150 - 159	6817	5281	43.7	195.015**	1
160 - 169	6329	3781	37.4	642.167**	1
170 - 179	3977	1370	25.6	1271.077**	1
180 - 184	713	164	18.7	343.673**	1
Total (pooled)	36740	24994	40.5	2234.887**	1
		Sum of Chi-square		3115.951**	11
		Suma del Ji-cuadrado			
		Heterogeneity		881.064**	10
		Heterogeneidad			
Length-class (cm)	B: Northern area — Area del norte			Chi-square	D.F.
	Number of fish male	female	Per cent female		
83 - 89	60	68	53.1	0.500	1
90 - 99	145	97	40.1	9.521**	1
100 - 109	387	283	42.2	16.143**	1
110 - 119	585	462	44.1	14.450**	1
120 - 129	984	950	49.1	0.598	1
130 - 139	1791	1843	50.7	0.744	1
140 - 149	1995	1742	46.6	17.128**	1
150 - 159	2337	2038	46.6	20.435**	1
160 - 169	2189	1442	39.7	153.679**	1
170 - 179	1355	577	27.6	375.130**	1
180 - 184	226	68	23.1	84.912**	1
Total (pooled)	12054	9510	44.1	300.127**	1
		Sum of Chi-square		693.240**	11
		Heterogeneity		393.113**	10
Length-class (cm)	C: Southern area — Area del sur			Chi-square	D.F.
	Number of fish male	female	Per cent female		
82 - 89	331	199	37.5	32.875**	1
90 - 99	627	337	35.0	87.241**	1
100 - 109	836	503	37.6	82.815**	1
110 - 119	1236	827	40.1	81.086**	1
120 - 129	2432	1706	41.2	127.375**	1
130 - 139	3394	2291	40.3	214.003**	1
140 - 149	4101	3090	43.0	142.139**	1
150 - 159	4480	3243	42.0	198.131**	1
160 - 169	4140	2339	36.1	500.632**	1
170 - 179	2622	853	24.5	900.536**	1
180 - 184	487	96	16.5	262.232**	1
Total (pooled)	24686	15484	38.5	2107.961**	1
		Sum of Chi-square		2629.065**	11
		Heterogeneity		521.104**	10

TABLE 4. Average gonad indices of bigeye tuna by 5° areas and quarter of the year**TABLA 4.** Promedio del índice de las gónadas del atún patudo, por áreas de 5° y por trimestre del año

Area		1st quarter		2nd quarter		3rd quarter		4th quarter	
		Number	G.I.	Number	G.I.	Number	G.I.	Number	G.I.
Area		1° trimestre		2° trimestre		3° trimestre		4° trimestre	
		Número	I.G.	Número	I.G.	Número	I.G.	Número	I.G.
	de peces			de peces		de peces		de peces	
N-1	18 ¹	3(0 ²)	1.58	105(33)	2.60	77(24)	2.77	—	—
	19	104(70)	4.41	8(0)	1.46	95(81)	5.56	7(4)	2.79
	20	9(7)	4.96	18(12)	5.27	84(40)	3.34	—	—
	29	—	—	4(1)	2.35	—	—	3(0)	0.80
	30	51(35)	4.29	—	—	42(23)	3.82	10(1)	1.34
	31	113(72)	3.81	8(8)	5.91	22(16)	3.91	4(2)	3.38
N-2	15	—	—	9(6)	4.38	77(47)	4.24	4(1)	1.87
	16	—	—	5(3)	2.90	80(51)	3.65	—	—
	17	—	—	—	—	29(16)	3.39	—	—
	26	7(1)	1.55	—	—	—	—	—	—
	27	33(1)	1.80	—	—	—	—	—	—
	28	17(0)	0.88	—	—	83(0)	0.97	41(0)	0.84
	36	29(0)	1.15	—	—	—	—	—	—
N-3	14	—	—	—	—	4(4)	4.50	—	—
	23	—	—	—	—	—	—	95(14)	1.82
	25	—	—	—	—	53(13)	2.60	15(0)	0.95
	32	229(0)	0.73	—	—	—	—	62(0)	0.76
	35	5(0)	1.24	—	—	—	—	5(0)	0.75
E-1	39	54(34)	4.25	—	—	—	—	85(0)	1.20
	40	68(29)	3.45	—	—	33(1)	1.00	—	—
	41	157(93)	4.25	—	—	—	—	—	—
	50	—	—	—	—	18(6)	2.76	—	—
	51	61(50)	5.78	135(121)	5.33	99(79)	4.89	—	—
	52	—	—	121(101)	4.52	121(76)	4.12	85(51)	3.35
E-2	37	108(0)	1.24	—	—	—	—	25(0)	0.83
	38	63(8)	1.85	—	—	—	—	63(0)	1.26
	47	30(0)	1.31	—	—	—	—	—	—
	48	136(95)	4.45	—	—	22(0)	0.66	—	—
	49	—	—	—	—	12(0)	0.81	—	—
	59	—	—	—	—	19(0)	0.76	—	—
S	61	—	—	—	—	6(0)	0.93	—	—
	62	—	—	17(0)	1.47	—	—	—	—
	63	195(180)	7.73	16(1)	1.46	5(0)	1.08	—	—
	73	—	—	—	—	5(0)	1.34	—	—
	74	—	—	19(1)	1.32	20(0)	0.91	—	—
	75	—	—	9(0)	1.40	9(0)	1.03	—	—
	87	6(0)	0.37	—	—	—	—	31(0)	1.14

¹ Area number is shown in Figure 1—El número del área se muestra en la Figura 1.

² Number in parenthesis represents fish with gonad indices ≥ 3.1 .

La cifra entre paréntesis representa los peces con el índice de las gónadas ≥ 3.1 .

TABLE 5. Observations of mature females which contained ovaries recorded in field reports as "running ripe" or "in a condition of imminent spawning"**TABLA 5.** Observaciones de hembras maduras, que contienen ovarios registrados en informes locales, como "a punto de desovar" o "en condición eminente de desove"

Year	Time Month	Location Long. Lat.		Fish Length (cm)	Weight of Gonad (gr)	G.I.
Año	Tiempo Mes	Localidad Long. Lat.		Longitud de los peces (cm)	Peso de las gónadas (gr)	I.G.
1963	June	129°W	6°N	115	500	3.3
				167	3250	7.0
				140	2200	8.0
1963	June	122°W	5°S	123	630	3.4
				129	500	2.3
1963	July	100°W	6°N	147	2050	6.6
1963	July	96°W	4°N	161	4000	9.6
1964	January	127°W	3°S	137	1300	5.1
1964	February	129°W	3°S	151	2360	6.9

TABLE 6. Quarterly and average modal lengths in cm including derived age in quarters**TABLA 6.** Trimestre y promedio de las longitudes modales en cm, incluyendo la edad deducida en los trimestres

Quarter	Age in quarter	Modal series							Average
Trimestre	Edad trimestral	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	Promedio
3	9		88	98	94	85		95	92.0
4	10				93			101	97.0
1	11		95	105	105	97	109	109	103.3
2	12	113			116	110	113		113.0
3	13	125	124	125	121	115			122.0
4	14	127	127	129	129		135		129.4
1	15		127	131		132	136		131.5
2	16		137			135			136.0
3	17	145	144	145		139			143.3
4	18	145	143	145					144.3
1	19	147	148						147.5

TABLE 7. Percentage and hook rate of large, medium and small size categories of bigeye tuna by quarters and by northern (N-1, N-2 and N-3 combined) and southern (E-1, E-2 and S combined) areas. Hook rate for southern area was calculated from major areas E-1 and E-2 only (see text). (Small: below 120 cm, medium: 120-150 cm, and large: over 150 cm)

TABLA 7. Porcentaje y tasa de captura por anzuelo, de las categorías de tamaño del atún patudo grande, mediano y pequeño, por trimestres y por las áreas del norte (N-1, N-2 y N-3 combinadas), y las del sur (E-1, E-2 y S combinadas). La tasa de captura por anzuelo correspondiente al área del sur, fue calculada únicamente según las áreas principales E-1 y E-2 (véase el texto). (Pequeño: menos de 120 cm, mediano: 120-150 cm, y grande: más de 150 cm)

		A. Northern area — área del norte							
Year	Quarter	Percentage			Hook Rate			Total	
		S	M	L	S	M	L		
Año	Trimestre	Porcentaje			Tasa por anzuelo			Total	
		P	M	G	P	M	G		
1959	3	7.2	29.8	63.0	0.21	0.84	1.80	2.85	
1960	2	9.1	32.1	58.8	0.27	0.94	1.73	2.94	
1961	2	8.8	29.1	62.1	0.30	1.00	2.14	3.44	
	3	2.5	50.0	47.5	0.09	1.79	1.70	3.58	
	4	3.3	65.4	31.3	0.10	1.95	0.93	2.98	
1962	1	7.2	32.1	60.7	0.21	0.96	1.81	2.98	
	2	15.9	25.2	58.9	0.32	0.52	1.20	2.04	
	3	16.7	31.0	52.3	0.34	0.63	1.07	2.04	
1963	1	15.8	35.0	49.0	0.41	0.92	1.29	2.62	
	2	16.0	56.2	27.8	0.30	1.06	0.53	1.89	
	3	6.5	51.8	41.7	0.09	0.69	0.56	1.34	
	4	3.8	43.0	53.2	0.07	0.81	0.99	1.87	
		B. Southern area — área del sur							
Year	Quarter	Percentage			Hook Rate			Total	
		S	M	L	S	M	L		
1958	2	13.2	25.1	61.7	0.41	0.78	1.92	3.11	
	3	11.6	42.2	46.2	0.34	1.25	1.36	2.95	
	4	13.4	45.9	40.7	0.41	1.40	1.24	3.05	
1959	1	8.3	27.3	64.4	0.33	1.09	2.57	3.99	
	3	26.0	32.4	41.6	0.80	0.99	1.27	3.06	
	4	14.2	60.9	24.9	0.50	2.14	0.87	3.51	
1960	1	7.3	33.1	59.6	0.28	1.28	2.32	3.88	
	2	6.7	38.3	55.0	0.24	1.36	1.94	3.54	
	3	10.8	68.8	20.4	0.35	2.22	0.66	3.23	
	4	13.6	63.3	23.1	0.37	1.72	0.63	2.72	
1961	1	5.5	37.0	57.5	0.20	1.38	2.14	3.72	
	3	22.2	50.2	27.6	0.60	1.35	0.74	2.69	
	4	7.1	60.7	32.3	0.20	1.68	0.89	2.77	
1962	1	5.4	41.1	53.5	0.14	1.09	1.41	2.64	
	2	6.0	44.9	49.1	0.12	0.86	0.94	1.92	
	3	23.7	48.2	28.1	0.44	0.89	0.52	1.85	
	4	31.9	29.1	39.0	0.59	0.54	0.72	1.85	
1963	1	5.8	31.0	63.2	0.11	0.61	1.24	1.96	
	2	21.8	35.2	43.0	0.32	0.52	0.63	1.47	
	3	40.6	26.3	33.1	0.58	0.38	0.48	1.44	
	4	9.5	53.8	36.7	0.14	0.81	0.56	1.51	

COMPOSICION DE TALLAS, CRECIMIENTO Y MADUREZ SEXUAL DEL PATUDO, *THUNNUS OBESUS* (LOWE), SEGUN LOS DATOS DE CAPTURA DE LA PESQUERIA PALANGRERA JAPONESA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL¹

por

Susumu Kume^{2,3} y James Joseph

EXTRACTO

Se examinan los datos desde 1958 hasta 1964, de la composición de tallas del patudo en el Océano Pacífico oriental tropical, tomados por los barcos japoneses prefecturales de entrenamiento experimental. Se observa un gradiente este-oeste en el aumento de talla de los peces. La razón de machos a hembras aumenta en toda la amplitud de tallas examinadas, y sobrepasando los 170 cm los machos comprenden más del 75 por ciento del total. El primer semestre del año es importante como época de desove del patudo. Una relación general entre la madurez sexual y la estructura termal del agua es discutida. Al final del 12avo trimestre de vida el patudo tiene aproximadamente 114 cm de longitud, en el 16avo trimestre 137 cm, y al final del 20avo trimestre cerca de 153 cm. La pesquería palangrera en el Pacífico oriental ha tenido un marcado efecto sobre la composición de tallas de los stocks del patudo, pero no puede determinarse si la pesca ha reducido los stocks bajo el nivel que corresponde a un rendimiento máximo sostenible.

INTRODUCCION

A fines de 1950 la pesquería japonesa palangrera de atunes y peces espada, se extendió rápidamente hacia el Océano Pacífico oriental. Prior a esta época, la pesquería se había concentrado al oeste de los 130°W de longitud. El atún patudo, (*Thunnus obesus*) (Lowe), es el objeto principal de esta pesca en el Pacífico oriental. Suda y Schaefer (1965a) han examinado el desarrollo y condición de esta pesca desde el período de 1956 hasta aproximadamente 1962. Kume y Schaefer (1966) han complementado este estudio hasta 1963.

Suda y Schaefer (1965a) presentaron la tasa de captura por anzuelo del patudo como constante hasta 1961, pero disminuyendo a principios de 1962. A pesar de que esta reducción en la tasa de captura por anzuelo fue acompañada por un aumento en el esfuerzo de pesca, estos autores no pudieron establecer si esto representaba actualmente un cambio real en la abundancia de la especie. Kume y Schaefer, demostraron que existía

¹ Esta investigación fue *en parte* subvencionada por la Atomic Energy Commission, Contrato No. AT(11-1)-34, Proyecto 99.

² Institute of Marine Resources, University of California en San Diego, La Jolla, California.

³ Dirección actual: Nankai Regional Fisheries Research Laboratory, Kochi, Japón.

una continua declinación en la tasa de captura por anzuelo a fines de 1962 y a través del año de 1963. Esta decadencia, fue también concurrente con el aumento en el esfuerzo. Según ésto, sacaron en conclusión que la disminución de la tasa de captura probablemente representaba un cambio verdadero en la abundancia de esta especie, y que el aumento en el esfuerzo de pesca estaba contribuyendo a esta merma. Sin embargo, ellos no descartaron la posibilidad de que este cambio en la abundancia hubiera sido en parte independiente de la pesquería.

A lo largo de la costa del Pacífico del continente americano y alrededor de las islas situadas frente a la costa, la pesca de superficie del atún tropical captura en su mayor parte atún aleta amarilla y barrilete. Se logran también algunas capturas incidentales de patudo. La totalidad en tonelaje de estas capturas es muy pequeña y los peces son generalmente de una longitud menor a los 100 cm (Barrett y Kume, 1965).

Con una demanda siempre en aumento del producto crudo, se tiene casi la certeza de que en el futuro la flota mundial ejercerá mayor esfuerzo sobre el patudo. Por lo tanto, es necesario seguir examinando los cambios temporales y espaciales en la estructura de tallas de estos stocks, para despejar los efectos que tienen los factores dependientes de la pesquería sobre los stocks del patudo.

Estudios anteriores sobre la composición de tallas del patudo en el Océano Pacífico oriental han sido más bien limitados en su alcance, debido a la escasez de datos. Murphy y Shomura (1953, 1955) e Iversen y Yoshida (1956), analizaron la composición de tallas según los datos recolectados durante un crucero experimental con palangre conducido en 1952 por el Pacific Oceanic Fisheries Investigations of the United States, Bureau of Commercial Fisheries. Wilson y Shimada (1955) y Kenneth y Jow (1960), estudiaron los datos de la composición de tallas recolectados en el Océano Pacífico oriental por el California Department of Fish and Game y la Comisión Interamericana del Atún Tropical durante 1953, 1955 y 1956.

Más hacia el oeste, los datos recolectados de la composición de tallas de la pesquería palangrera japonesa, referentes en su mayoría a las áreas centrales y del oeste de la región ecuatorial del Pacífico, han sido analizados por Yukinawa (1958), Kume y Shiohama (1965).

Presentamos aquí un análisis de los datos correspondientes a la composición de tallas del atún patudo, los cuales, han sido tomados por los barcos japoneses de entrenamiento experimental prefectorales, en el Océano Pacífico oriental tropical durante el período de 1958 hasta principios de 1964. Se presentan estimaciones de crecimiento, basadas en las determinaciones de la edad efectuadas por otros investigadores. Además se incluye un capítulo sobre la madurez sexual según ha sido deducida de los índices de las gónadas.

RECONOCIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. A. Takashiba, Director del Nankai Regional Fisheries Research Laboratory (NRFRL), por permitir que el autor principal se incorporara como científico visitante al personal del Institute of Marine Resources y a la Comisión Interamericana del Atún Tropical. También le estamos agradecidos por permitirnos usar en este estudio, los datos que fueron recolectados por el personal de su laboratorio. Se agradece además al Dr. M. B. Schaefer, Director del Institute of Marine Resources, y al Dr. J. L. Kask, Director de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, por el apoyo brindado a este programa. Los Sres. C. Psaropulos y E. B. Davidoff del personal de la Comisión del Atún, prestaron especial ayuda al preparar algunos de los datos para su empleo en los computadores. También deseamos extender nuestro reconocimiento al Dr. W. M. Bayliff quien nos ofreció varias sugerencias útiles, y al Sr. N. Abramson del California Department of Fish and Game por suministrarnos un programa de cómputo con el fin de adaptar la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy.

RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Debido al problema del almacenamiento de los peces en asociación con la pesca de atunes tropicales por barcos japoneses palangreros en áreas distantes de los puntos de embarque; todos los peces capturados que pesan más de 60 kg son fileteados en el barco. Peces más pequeños que éstos, son únicamente desviscerados y se les quitan las branquias. En el Pacífico oriental tropical, se informa que aproximadamente el 70 por ciento del patudo capturado es fileteado; el resto es desviscerado. Por eso es difícil de obtener los datos que son representativos de la captura actual y que reflejan la composición de tallas del patudo, según los descargues en los puertos de desembarque. Para este estudio fue necesario utilizar los datos sobre la composición de tallas que fueron suministrados por varios cruceros de exploración de barcos experimentales de pesca y entrenamiento, auspiciados bajo el programa de investigación cooperativa organizado por el NRFRL.

Los métodos de recolección, la técnica de las medidas y la determinación del sexo, como también la tabulación de los datos han sido descritos por Suda y Schaefer (1965).

Las medidas de longitud usadas en este estudio representan las muestras recolectadas en 1,555 días de pesca, desde mayo de 1958 hasta marzo de 1964. Los formularios, provistos por la Japanese Fisheries Agency, en que se informa a las organizaciones cooperativas prefecturales y a las escuelas superiores de pesca sobre medidas de longitud, exigen *únicamente información sobre individuos dentro de una amplitud de tallas de 82 cm a 184 cm* (Suda y Schaefer, 1965a). Los peces fuera de este

límite eran algunas veces anotados, pero debido a que algunas de estas observaciones eran a veces dudosas, no se utilizaban en el análisis. De los 64,752 peces medidos de 39 cm hasta los 209 cm, 571 (0.9%) eran menores de 82 cm y 1,048 (1.6%) sobrepasaban los 184 cm. Se cree que la influencia en el análisis de la eliminación de este pequeño porcentaje, no vale la pena.

El número de peces medido, tabulado por el trimestre del año en que fue capturado y por áreas principales, es presentado en la Tabla 1. Las áreas principales en esta tabla, son las mismas que las empleadas por Suda y Schaefer (1965), y se indican en la Figura 1. El noventa y siete por ciento de los peces fue registrado por sexo. Las relaciones reportadas por Kume y Shiohama (1964), fueron empleadas para convertir las medidas de longitud a medidas de peso.

Al estudiar los cambios estacionales y geográficos en la madurez sexual del patudo, los índices de las gónadas fueron calculados para 3,502 hembras recolectadas desde el mes de julio de 1962 a marzo de 1964, dentro de las áreas de 5° de latitud y 5° de longitud. Para calcular el índice gonosomático se utilizó el peso de ambos ovarios en la siguiente fórmula:

$$I. G. = (P/L^3) \cdot 10^4$$

en la que

- I. G. = índice gonosomático
- P = peso de los dos ovarios en gr y
- L = longitud de los peces en cm

La recolección y manipuleo de las gónadas ha sido descrito por Kume y Schaefer (1966).

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA COMPOSICION DE TALLAS EN LA CAPTURA

Para examinar las variaciones estacionales y espaciales en la composición de tallas de las muestras empleadas en este estudio, los datos fueron originalmente compendiados por áreas de 5° de longitud por 5° de latitud. Una inspección preliminar de estos compendios reveló bastante variación entre las áreas en el mismo período de tiempo. Antes de poder combinar de nuevo estos datos para ser analizados por áreas más grandes, debía examinarse el significado de esta variación sobre una base estadística; ya que estos datos fueron otra vez tabulados por intervalos de 10 cm de longitud y examinados por medio del análisis del Ji-cuadrado por cada área de 5° en la misma área principal y en el mismo trimestre. En cada caso las diferencias estadísticas altamente significativas entre las distribuciones de frecuencias de tallas para cada categoría, indicaron que las

diferencias eran reales y no debidas al azar. Las distribuciones de frecuencias de tallas que estaban agrupadas por áreas principales fueron comparadas similarmente. También en este caso, las diferencias fueron significativas. Según estas pruebas supusimos, como lo hicieron Suda y Schaefer (1965a), que las diferencias entre los períodos de tiempo en las mismas áreas son debidas al crecimiento estacional, disponibilidad diferencial y a una desigualdad en el muestreo. Por otra parte, las diferencias de las áreas pueden ser atribuidas a la capturabilidad diferencial de las diversas tallas de peces en las distintas áreas y/o a la distribución geográfica diferencial de los peces de diversos tamaños.

Para el siguiente análisis, los peces fueron agrupados por cuadrados de 5° lo mismo que por áreas más grandes. La inspección de la distribución geográfica de las capturas del patudo presenta dos franjas zonales continuas y concentradas en las áreas al norte y al sur del ecuador (Suda y Schaefer, 1965a). Basados en esta división, los datos de la composición de tallas fueron agrupados también por áreas principales al norte y al sur del ecuador.

Variaciones temporales

Las curvas de frecuencia de las muestras frecuencia-longitud correspondientes a cada año desde 1958 a 1963 son presentadas en la Figura 2 en términos de porcentaje. Para quitar la fluctuación aleatoria, se han suavizado los datos por una media móvil de tres, dándole doble peso al valor medio,

$$(n = \frac{n_{i-1} + 2n_i + n_{i+1}}{4}).$$

Según esta fórmula más de la mitad de las muestras en cada año están compuestas de peces mayores de 145 cm. El reclutamiento de la pesquería comienza cuando peces individuales tienen menos de 90 cm en longitud, pero el reclutamiento substancial no aparece hasta que los peces sobrepasen los 120 cm. A pesar de que en la Figura se sugiere un ligero cambio en la composición de tallas de la captura a través del tiempo, a saber un ligero aumento en el grupo de talla menor y una ligerísima disminución en el grupo de talla mayor, la estructura general es más bien constante de un año a otro.

Con el fin de examinar ésto más cercanamente, se tabulan en la Tabla 2A los datos en términos de peso (kg) por períodos semestrales en las áreas principales desde el año de 1958 hasta el primer semestre de 1964. En la Tabla 2B se presentan estos mismos datos por semestres para las áreas sur y norte, y se combinan todas las áreas para cada año. Al mirar el peso medio a través del tiempo en las áreas principales, la tendencia hacia la disminución de tallas viene a ser mucho más aparente que en la Figura 2. En la área E-1 en donde el esfuerzo ha sido intenso desde 1957 el peso

medio de los peces ha disminuido constantemente de 74.7 kg a 70.3 kg. Esta merma es también bastante evidente en las áreas N-1 y E-2 y en menor grado en las áreas restantes. Para demostrar ésto más claramente, se han graficado los datos de la Tabla 2 (Figura 3). La línea doble gruesa representa el peso medio del patudo, correspondiente a todas las áreas y semestres combinados. Conforme fue evidente en la Figura 2, los datos combinados son constantes sobre el período de los años examinados. Por otra parte, los datos de las áreas E-1, E-2 y N-1, las únicas áreas de las que había suficientes datos, muestran mermas constantes en el peso medio de los peces. En estas tres áreas, se usaron solamente los pesos medios de los seis primeros meses del año, debido a que existen diferencias estacionales consistentes en el peso medio, y a causa de que no se disponía de datos consecutivos para todos los años. Como el peso medio en el primer semestre es constantemente más alto que durante el segundo, la línea ancha que representa el promedio total por años en la Figura 3, es más baja que las tres líneas que representan áreas principales individuales.

Suda y Schaefer (1965a) y Kume y Schaefer (1966) han demostrado que la pesquería japonesa palangrera en el Pacífico oriental se ha intensificado desde su iniciación en 1956. Suda y Schaefer (1965a, Apéndice I) demostraron que la pesca se desarrolló primero en los extremos occidentales de la región bajo observación (Áreas E-1 y N-1), y que se intensificó progresivamente hacia el oriente (áreas E-2, E-3, N-2 y N-3) a través de 1962. Probablemente esta es la razón por la cual las tallas medias combinadas no cambian considerablemente sobre el período de años considerado. Es decir, en cada año desde 1956 hasta fines de 1962 una porción de pesca ha operado en áreas inexplotadas previamente. Estas áreas han contribuido a la pesca con reservas inexplotadas de peces grandes y cuando estos peces son incluidos en las cifras de los pesos medios combinados cubren la reducción de tallas evidente en las áreas principales.

En la Figura 4, se presentan las distribuciones de las frecuencias de tallas por trimestres del año. Estos datos han sido suavizados conforme se describió anteriormente. En la esquina superior izquierda de cada panel se muestra el año, trimestre y número de individuos sobre los que se basa la curva de frecuencia. En los trimestres en que la muestra representa solamente un mes que no fue el del medio, se indica entre paréntesis el mes en que la muestra fue tomada.

Es evidente en esta Figura una variación más bien marcada y constante en la composición de tallas de todos los años y áreas, con excepción de la región del norte en 1963. La proporción de peces grandes disminuye del primer trimestre al cuarto, mientras que aumenta de acuerdo la proporción de peces pequeños y medianos. Según ésto, puede ocurrir algún reclutamiento en las tallas pequeñas y medianas en los últimos tres trimestres del año, con una tendencia al aumento de talla desde el segundo trimestre hasta el cuarto.

Esta variación de la composición de tallas a través del tiempo será examinada más adelante detalladamente.

Diferencias geográficas

Los datos de las muestras combinadas por trimestres y por áreas de 5° , correspondientes al período 1958-1963 son presentados en la Figura 5a-d. Estos datos son graficados en tres categorías de tallas: peces de más de 150 cm, peces medianos desde 120 cm hasta y con inclusión de los 150 cm, y peces menores de 120 cm. Según las cifras parece que algunos de los peces vinieron a ser disponibles a la pesquería en el grupo de talla menor, pero la mayor parte es reclutado en el grupo de talla media. No hay una pauta estacional aparente bien definida correspondiente al reclutamiento; aparentemente ocurre algún reclutamiento durante todo el año.

Si la composición de tallas en las zonas latitudinales de 5° de latitud es comparada entre las zonas de 10°N y 10°S , entonces puede verse por las áreas de 5° que en el primer trimestre y en el cuarto hay una tendencia de reducción en el porcentaje de la captura representado por los grupos de peces más grandes, mientras que el porcentaje para los grupos de talla media aumenta. No hay una pauta aparente en la distribución longitudinal del grupo de talla menor. Esto es también evidente en el tercer trimestre correspondiente al área entre los 5°S y los 10°S . Por otra parte, la proporción del grupo de talla mayor parece aumentar en el segundo trimestre, de oeste a este. No se pueden descubrir diferencias consistentes en la composición de tallas de los peces durante el tercer trimestre, debido al alto grado de variación entre las áreas.

Durante los trimestres primero y cuarto del año, hubo algunos datos disponibles del área de 5° adyacente a la costa del Ecuador. Aquí, una proporción más bien grande de peces pequeños fue cogida durante el primer trimestre; esto no fue el caso en el cuarto trimestre.

Los datos de la composición de tallas muestran menos consistencia en la distribución en una dirección norte y sur, que en los de dirección oeste-este. Una característica que se manifiesta en las figuras es la porción relativamente grande de peces pequeños que se encuentran hacia el sur de los 5°S en el tercer trimestre y la gran porción que se encuentra al sur de los 15°S en el segundo trimestre. Fuera de ésto, la variación entre las áreas de 5° es tan irregular que no hay en los datos tendencias aparentes de norte y sur.

Kume y Shiohama (1965) han demostrado que el patudo en el Pacífico ecuatorial está distribuido en tal forma que sugiere una gradiente que empieza con los peces pequeños en el Pacífico occidental, aumentando de tamaño hacia el oriente. Nuestros resultados indican una relación opuesta para el patudo en el Pacífico oriental tropical, especialmente en los trimestres primero y cuarto. Sin embargo, parece existir una pauta razonable

referente a estas distribuciones si se examina de cerca la Figura 5 de Kume y Shiohama. Esta figura indica que en el área de los 130° - 110° W la composición de tallas es similar a la presentada en nuestra Figura 5a-d correspondiente a la misma área, lo que sugiere que existe una gradiente oeste-este en que las tallas de los peces aumentan, que se extiende hasta cerca de los 130° W de longitud. En esta longitud los datos sugieren una ligera gradiente de peces disminuyendo en tamaño, pero no tan clara como la gradiente al oeste de los 130° W. A este respecto es notable que el atún aleta amarilla, que aparece en las mismas áreas generales que el patudo y tal vez ocupa un nicho ecológico muy similar al de éste, siga exhibiendo una gradiente constante oeste-este en la composición de tallas hacia el oriente del litoral (Suda y Schaefer, 1965b). Estos autores sugieren que el atún aleta amarilla de talla mayor puede relativamente estar más fuertemente concentrado cerca del fondo de la capa mixta superior, y debido a que la termoclina disminuye en profundidad hacia el este, los peces más grandes llegan a ser más disponibles a las artes palangreras. Nuestros datos acerca del patudo no apoyan esta hipótesis. Sin embargo, la distribución vertical del patudo con relación al atún aleta amarilla es interesante. Watanabe (1961) ha demostrado en los meses de mayo y junio en el área de los 110° - 140° W de las longitudes entre los 8° N y los 8° S, que el patudo ha sido capturado en su mayoría en aguas entre los 58-112 metros, mientras el atún aleta amarilla ha sido pescado en aguas menos profundas. En esta área general la capa mixta se extiende regularmente hasta una máxima profundidad de 80 m (Wyrski, 1964). Esto sugiere que el atún aleta amarilla puede estar distribuido en su mayoría por encima de la termoclina en esta área, mientras el patudo en su mayor parte está distribuido por debajo de la capa mixta. Suponiendo que este es el caso a todo lo largo del ecuador, entonces conforme las artes palangreras se dirijan hacia el este, pescarán más tiempo en aguas por debajo de la capa mixta, debido al progresivo descenso de la profundidad de la termoclina según se dirija hacia el este. También es verdad que el patudo forma progresivamente un aumento en la proporción de captura comparado con el atún aleta amarilla según uno se dirija en la dirección oeste-este (Suda-Schaefer, 1965a; Kume y Schaefer, 1966). Esto también está de acuerdo con la hipótesis de que hay más cantidad de patudo pescado por artes palangreras que vive por debajo de la capa mixta superior que en ésta.

Comparación entre sexos

Se ha informado una preponderancia de machos en la captura del patudo pescado en el Océano Pacífico (Murphy y Otsu [1954], Iversen [1955], Murphy y Shomura [1955] y Shomura y Keala [1962]). Estos autores observaron que los machos empiezan a predominar en las capturas cuando tienen una longitud de cerca de 120 cm y aumentan en proporción conforme su tamaño aumenta.

Con el fin de examinar esta relación correspondiente a nuestra área los datos se han agrupado, por sexo, en intervalos de 10 cm. La proporción de machos a hembras para cada intervalo ha sido comparada contra una proporción esperada de 1:1 por medio del análisis del Ji-cuadrado. Los datos son presentados en la Tabla 3, la que indica los valores del Ji-cuadrado para cada intervalo de 10 cm en tres áreas, norte del ecuador, sur del ecuador y estas dos combinadas. En todas menos en tres muestras (área del norte) se descartó la hipótesis de nulidad, lo que indica que se aparta significativamente de una proporción 1:1. Los machos predominan en toda la amplitud de longitudes examinadas y la proporción de los machos aumenta con el tamaño hasta un punto en el que los machos comprenden el 75 por ciento de los peces que sobrepasan los 170 cm.

También está indicado en la Tabla 3 el total (agrupado) y la suma de los Ji-cuadrados. Estos son altamente significativos en cada una de las áreas. Fisher y Mather (1936) mostraron que una medida de la inconsistencia de desviación de las proporciones de las muestras de la hipotética, podía derivarse al tomar la diferencia entre los Ji-cuadrados sumados y agrupados; esta medida la llamaron el Ji-cuadrado de heterogeneidad.

En nuestro estudio, el Ji-cuadrado de heterogeneidad del área norte fue relativamente mucho mayor que el del área sur. Esto es a causa del relativo exceso de hembras en los intervalos de 82-89, 121-129 y 131-139 cm. No podemos explicar estas proporciones inconsistentes.

Según lo anterior 1) Hay por lo general una preponderancia de machos a través de toda la amplitud de tallas examinadas en el Pacífico ecuatorial. 2) Hay una porción relativamente menor de machos en las clases de talla media. 3) La proporción de los machos empieza a aumentar considerablemente al sobrepasar los 160 cm. 4) Existe tal vez, una diferencia en las proporciones del sexo, entre las áreas del norte y del sur.

Las pautas observadas en las proporciones del sexo con respecto a las tallas no pueden ser explicadas específicamente, pero uno o más de los siguientes factores pueden ser eficaces: 1) disponibilidad y vulnerabilidad diferencial, 2) mortalidad natural diferencial y 3) crecimiento diferencial entre los sexos. Lo último será examinado más adelante.

MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

Estudios previos sobre la madurez del patudo en el Océano Pacífico tropical muestra que la proporción de peces maduros en las áreas hacia el oriente del Pacífico central (Kikawa, 1962) aumenta considerablemente. Parece probable, que el Pacífico oriental pueda ser en verdad de gran importancia como terreno de desove para los stocks del patudo que habita el Océano Pacífico.

En la Tabla 4 el promedio del índice gonosomático de 3,503 patudos pescados en el Océano Pacífico oriental por trimestres del año y en áreas

de 5° son indicados, así como el número de peces en cada área de 5°. En su estudio sobre la actividad de desove del patudo, Kikawa (1962) consideró todos los peces con los índices de las gónadas 3.1 o mayores como maduros y próximos a desovar; peces con los índices de las gónadas menores de 3.1 no se consideraron próximos a desovar. Kikawa pocas veces encontró que peces menores de 100 cm eran maduros. En este estudio hemos escogido las designaciones de Kikawa para determinar la madurez sexual de las hembras de los atunes patudos en el Pacífico oriental. Como solamente 1.7 por ciento de todos los peces examinados en este estudio eran menores de 100 cm, pueden considerarse casi todos los peces examinados, lo suficientemente grandes para ser maduros. En la Tabla 4 las cifras entre paréntesis indican el número de peces con índice gonosomático de 3.1 o mayor.

Para examinar las distribuciones temporales y espaciales de los índices de las gónadas más detalladamente de lo que es posible según la tabla, los datos han sido presentados gráficamente en la Figura 6. En cada cuadrado de 5°, se presenta la proporción de peces con índice gonosomático ≥ 3.1 (sombreada) y la proporción de los peces con índice gonosomático < 3.1 (estriada) por trimestres del año, siendo el primer trimestre la columna del oeste y el cuarto trimestre la columna del este en los cuadrados de 5°. La cifra encima de cada columna representa el número de peces en la muestra. La cifra pequeña en el rincón del lado derecho superior de cada cuadrado de 5°, representa el número del código de ese cuadrado, como se indica en la Figura 1. La altura a la cual una columna se extiende verticalmente, representa el promedio de los índices gonosomáticos del trimestre apropiado en el correspondiente cuadrado de 5°. Por ejemplo, en el área 63, durante el primer trimestre, hubo 195 peces de los que se determinó el índice gonosomático; más del 90 por ciento de éstos tenían índices de las gónadas ≥ 3.1 (promedio 7.73).

Según la Figura 6, al norte del ecuador se extiende hacia el este una zona de peces maduros hasta los 95°W de longitud y una zona en el sur que se prolonga hasta los 110°W de longitud. La línea longitudinal desde el ecuador a los 5°S parece ser un área de poca actividad sexual con relación a las zonas norte y sur. Estas franjas longitudinales parecen estar de acuerdo con las buenas áreas de pesca. En la región occidental entre los 120° y los 130°W de longitud, limitada por los 10°N y 15°S, la aparición de patudo maduro se nota más o menos en todo el año, con actividad sexual máxima en el área del norte (prolongándose tan lejos como los 95°W) durante los trimestres primero, segundo y tercero. En el área del sur, parece que la estación de mayor actividad sexual sea durante los trimestres primero y segundo, con un índice de las gónadas durante el primer trimestre tan lejos al este como los 105°W.

En algunos de los informes del crucero que se han examinado durante este estudio, varios investigadores a bordo habían anotado cuando los

peces fueron observados en una “completa madurez” o “en condiciones eminentes de desove.” En la Tabla 5 se enumeran el mes, localidad de captura, longitud del pez, peso de las gónadas e índice de éstas, correspondientes a nueve de estas observaciones. A pesar de que estos datos no son muy significativos porque son tan pocos y no pueden compararse con peces en condición de desove menos eminente, son no obstante consistentes en la hipótesis de que el primer semestre del año es más importante que el segundo semestre como estación de desove del patudo.

Es de destacarse una relación general entre la madurez sexual del patudo y la estructura termal del Océano Pacífico oriental tropical. Wyrcki (1964) ha descrito la distribución media anual de las isothermas de superficie en el Océano Pacífico oriental. Demuestra que las temperaturas durante los dos primeros trimestres del año varían generalmente entre los 23-27°C en el área de la que tenemos los datos del índice gonosomático correspondientes al patudo. En agosto, las temperaturas en esta área especialmente al este de los 110°W, empezaron a enfriarse y permanecieron frías, cayendo tan bajo como los 20°C durante la mayor parte del mes de diciembre. Es durante estos últimos meses cuando las temperaturas están bajas, que la actividad sexual está en su mínimo, según lo reflejan las medidas de los índices de las gónadas. Si se comparan también las pautas de las condiciones de pesca, las estaciones de mejor pesca concuerdan hasta cierta medida con la estación en la que el patudo está sexualmente más activo.

CRECIMIENTO

Los grupos modales en los gráficos de frecuencia de tallas presentados en la Figura 4 son evidentes. Aunque muchos modos en la figura no parecen estar de acuerdo con ninguna secuencia, otros pueden seguirse progresivamente a través del tiempo. En estos casos, la progresión modal puede ser atribuible al crecimiento. En el siguiente análisis intentamos hacer las estimaciones del crecimiento del atún patudo en el Pacífico oriental tropical por medio del examen de la progresión de los modos que se supone pertenecen a la misma clase anual. Los valores modales empleados en este estudio se escogieron bajo el criterio de que el porcentaje máximo de la frecuencia de un modo supuesto, compuesto por lo menos de 500 individuos debe ser mayor que uno y debe estar separado por más de 5 intervalos de dos centímetros de la clase de tamaño del siguiente grupo modal. Tales modos están marcados con una flecha (Figura 4). Para algunos de estos modos marcados, se pueden descubrir progresiones trimestrales regulares. Por ejemplo, el grupo modal más pequeño en el primer trimestre de 1962 en el área del norte (Figura 4) puede ser seguido consecutivamente por trimestres hasta el cuarto trimestre de 1963, lo que sugiere una progresión del mismo grupo modal de peces debida al crecimiento.

Utilizando la composición de tallas del patudo pescado por artes palangreras en el área de las Islas Hawaianas, Shomura y Keala (1962) han estudiado el crecimiento diferencial entre los sexos. Informan que los machos crecen más rápidamente que las hembras después de tres años (aproximadamente 100 libras o 129 cm) y en el séptimo año los machos (178 cm) pesan 25 libras más que las hembras (171 cm).

Para examinar las distribuciones de frecuencia por sexo del patudo, hemos preparado las curvas frecuencia-porcentaje de las muestras del patudo, separadamente para machos y hembras (Figura 7). Según la figura, los modos de los machos corresponden bastante bien a los modos de las hembras hasta los 150 cm, sin una tendencia aparente de que un sexo crezca más rápidamente que el otro. Para peces mayores de 150 cm, este acuerdo en crecimiento entre los sexos no es evidente, ya que los modos de los machos son consistentemente más grandes que los de las hembras y los machos generalmente comprenden una proporción mayor. Esta situación en los peces más grandes, puede ser el resultado de un crecimiento más lento de las hembras o de una mortalidad mayor y/o de una disminución en la disponibilidad de las hembras. Ya que los valores modales de los machos son generalmente mayores que los correspondientes a las hembras, lo más importante a este respecto es probablemente el crecimiento diferencial. A causa de la inconsistencia de los datos para los grupos de mayor tamaño, para estimar el crecimiento se ha usado únicamente aquella porción del material que comprende los modos de una longitud menor de 150 cm. Consecuentemente las curvas resultantes del crecimiento se aplican a los dos sexos hasta los 150 cm, sobrepasando esa talla se necesitan datos adicionales para describir el crecimiento por sexo.

Se ha graficado (Figura 8) la longitud modal contra el trimestre y el año en que ocurrió, para descubrir la progresión de los modos principales designados en la Figura 4, que pueden incluir grupos de edad individual y por eso reflejar el crecimiento. Los datos para las áreas norte (círculos blancos) y sur (círculos negros) se presentan juntos. Se conectó una línea continua a esos valores modales que nos pareció que correspondían al mismo grupo de edad. Cuando se obtenía al mismo tiempo un modo de cada una de las dos áreas, norte y sur, se empleó la que tenía un modo anterior en la serie. Esos valores modales marcados con un círculo grande no fueron incluidos en el análisis porque no se consideraron representativos de la serie. Por conveniencia en la interpretación, las siete líneas resultantes de este análisis fueron designadas B-1 a B-7 y se supone que representan siete clases anuales distintas de patudo que forman parte de la población explotable desde 1958 hasta 1964. Con excepción de la clase anual B-3, hay un notable acuerdo entre las tasas de crecimiento de los siete grupos si se considera la naturaleza de las distribuciones frecuencia-longitud.

Indicados en la Tabla 6 se encuentran los valores trimestrales de las series modales B-1 a B-7, y las longitudes modales promedio de todas las clases anuales de la misma edad. Para asignar las edades de los grupos modales trimestrales, se supone que cada una de las siete series fue originada del desove en el segundo trimestre de un año. Yukinawa y Yabuta (1963) han presentado curvas de crecimiento del patudo calculadas por cuatro investigadores independientes. Aunque las curvas difieren más bien significativamente, durante los tres primeros años se aproximan una a la otra. En promedio, el patudo es cerca de 40 a 50 cm de largo al final de su primer año, 75-95 cm al final del segundo y 100-130 cm al final de su tercer año. Si es cierto que el crecimiento del patudo durante estos primeros años se coloca en alguna parte dentro de estos límites, y si el patudo en el Pacífico oriental desova principalmente en el segundo trimestre del año, es razonable esperar que los peces representantes de los primeros valores modales en las siete series, con un promedio de 92.0 cm, estén en su noveno trimestre de vida. Según esto, se han asignado por trimestre las edades a cada uno de los valores modales en las series B-1 a B-7 (Tabla 6).

La ecuación de von Bertalanffy ha sido escogida para describir el crecimiento de esta especie en la forma de una continua relación de la longitud con la edad, un método que es fácilmente comparable con otros estudios. La derivación de esta ecuación es presentada por Beverton y Holt (1957) y se basa en el concepto del metabolismo del organismo. La ecuación es:

$$l_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

en la que l_t es la longitud de la edad t , L_{∞} es la longitud asintótica, K es una constante y t_0 es la edad aparente de la longitud cero.

Tomlinson y Abramson (1961) han indicado que los métodos usados anteriormente para ajustar la curva de von Bertalanffy según los valores observados de la longitud de los peces, frecuentemente han requerido el uso de técnicas ineficaces para estimar los parámetros K , L_{∞} , y t_0 . Presentaron un método, usando la técnica de los mínimos cuadrados, para estimar estos parámetros que es equivalente en precisión a las estimaciones de probabilidad máxima. Este método estima los siguientes valores de los parámetros en la ecuación del crecimiento: $L_{\infty} = 186.95$, $t_0 = 2.11$ y $K = 0.095$. Todos ellos fueron calculados sobre una base trimestral.

La curva de esta ecuación se presenta en la Figura 9 y se compara con la curva de Shomura y Keala (1962) y la de Yukinawa y Yabuta (1963). La curva de Shomura y Keala fue calculada de los datos de frecuencias de tallas recolectados de la pesquería palangrera hawaiana, mientras que la de Yukinawa y Yabuta se basó en las escamas de los peces capturados a través de todo el Océano Pacífico. Las tres curvas de crecimiento no son idénticas. Las diferencias pueden ser reales o el resultado

de las diferencias en la estimación de la estación de desove y de la asignación arbitraria de edad. Sin embargo, si la posición de las tres curvas es desviada de manera que corresponda con la abscisa, entonces es esencialmente la misma. Por lo tanto nuestra curva es útil en estimar el crecimiento del patudo en el área de estudio, a pesar de que la edad de los peces es indeterminada.

LAS RELACIONES ENTRE LOS CAMBIOS EN LA COMPOSICION DE TALLAS Y LA ABUNDANCIA APARENTE

Para examinar algunos de los factores relacionados con la composición de tallas del patudo en tiempo y en espacio, y el efecto que la explotación del hombre tiene sobre estos factores, se deben considerar los cambios en la abundancia de los peces. La captura en número de patudos por unidad de esfuerzo (en este caso cien anzuelos [tasa de captura por anzuelo]) se emplea para medir la abundancia aparente relativa de los stocks que se están estudiando. En este análisis se han calculado las tasas de captura del patudo dentro de las tres clases de categoría mencionadas anteriormente, por trimestre del año correspondiente a las áreas norte y sur del ecuador. En las áreas del sur las tasas de captura por anzuelo en el área principal S no se han incluido, porque la albacora es la principal especie allí pescada. Por lo consiguiente, el esfuerzo ejecutado en el área principal S afecta los valores de la tasa de captura por anzuelo del patudo, pero para el objeto de este estudio los efectos de esta eliminación se consideran insignificantes.

La composición trimestral (expresada en término de porcentaje) de tres intervalos de talla del patudo pescado en el Pacífico oriental en las áreas norte y sur del ecuador en 1958 hasta fines de 1963, se dan en la Tabla 7. También se presentan las tasas de captura por anzuelo correspondientes a cada uno de los tres intervalos y a los tres combinados. Como se anotó anteriormente, la abundancia del patudo en el Océano Pacífico oriental, según ha sido reflejada por la tasa de captura ha tendido hacia el descenso durante los últimos años de la pesquería. En el área norte esta tendencia descendente ha continuado desde 1961 (Tabla 6). En el área del sur, la tendencia empieza en 1960 y continúa hasta fines de 1963. Para examinar las pautas estacionales y las tendencias dentro de las tres categorías de talla, la tasa de captura para cada categoría ha sido graficada contra los intervalos trimestrales de tiempo correspondientes a las áreas norte y sur del ecuador (Figura 10); también está indicada en la figura la tasa de captura trimestral de todas las tallas combinadas. A causa de que faltan datos del área del norte, no se muestran líneas de conexión prior a 1961.

Al norte del ecuador la abundancia del grupo de talla menor parece haber permanecido algo constante sobre el período presentado, con excepción de los segundos semestres en 1961 y 1963. La abundancia de los

grupos de tallas mayores y medias muestran una tendencia general descendente en este período, con el grupo de talla media aparentemente nivelándose a fines de 1962 y 1963.

En el área sur, para la que hay datos más completos, se ven pautas estacionales muy marcadas en la abundancia de los grupos de tamaño. Los peces pequeños generalmente exhiben una ligera disminución en la abundancia durante los trimestres primero y segundo del año, y un aumento durante el tercero y cuarto. Se encuentra una relación inversa obvia entre la abundancia de los grupos de talla mayor y media. Los peces que forman el grupo de talla media a menudo vienen a ser más abundantes del primero al cuarto trimestre del año, mientras el grupo de peces más grandes presenta una disminución en la abundancia del primero al cuarto trimestre del año.

La relación inversa entre los grupos de talla mayor y media en un año, puede ser debida en parte al crecimiento en el grupo de talla media y a la remoción por la pesca de los peces del grupo de talla mayor. Sin embargo, esto no es una explicación adecuada especialmente cuando se considera el incremento agudo en el grupo de talla mayor, y el correspondiente descenso en el grupo de talla media desde el cuarto trimestre hasta el primer trimestre. La mayor parte de este incremento agudo en peces grandes está compuesto de peces de talla mayor de 160 cm y el crecimiento por sí solo no puede contribuir a este incremento. El reclutamiento de peces más grandes durante el primer trimestre puede ser la causa de tal situación, pero no parece que sea, porque Kume y Shiohama (1965) han presentado una pauta similar en las áreas entre los 150°W y los 130°W, en donde los peces de más de 160 cm son bastante abundantes. La disminución en el grupo de talla media puede resultar del traspaso hacia el grupo de talla mayor debido al crecimiento. A pesar de que cada una o todas estas explicaciones pueden contribuir al fenómeno, no son adecuadas para explicar cabalmente tal situación. Un factor que no hemos discutido y que ciertamente puede estar contribuyendo a esta situación, es la disponibilidad diferencial de los grupos de talla debida a los cambios estacionales en el ambiente. Por ejemplo, Wyrтки (1964) ha indicado que en el área que nos interesa, la profundidad de la capa mixta aumenta del segundo al cuarto trimestre. Si, como se supuso anteriormente, el patudo está normalmente estratificado debajo de la capa mixta, entonces serán más disponibles a las artes palangreras durante la primera parte del año, cuando la profundidad de la capa mixta superior esté a su mínimo. Si el patudo está también estratificado verticalmente en la columna de agua de acuerdo a su talla, como fue sugerido por Suda y Schaefer (1965a) en lo referente al atún aleta amarilla, entonces esta puede ser la razón de alguna de la variabilidad estacional vista en la Figura 10. El análisis de tales posibilidades está más allá del alcance de este estudio.

Con respecto a las tendencias de término largo de estos tres grupos de talla al sur del ecuador, ha habido una constante reducción en la

abundancia aparente de los patudos de talla media y grande desde 1960. La abundancia del grupo de talla menor conforme lo refleja la tasa de captura por anzuelo, ha permanecido estable en toda la historia de la pesquería, y como fue el caso en el norte, ha constituido progresivamente una mayor porción de la captura.

Si las relaciones entre los tres grupos de tallas en el área del sur se examinan más de cerca, se verá que a principios de la pesquería, especialmente durante 1959, los peces más grandes eran muy abundantes en las capturas. Esto parece que fue debido mayormente a una reserva de los años anteriores cuando no hubo pesca o muy poca. Los peces de talla media fueron durante este período, por alguna razón que no podemos explicar, menos disponibles a las artes palangreras. Después de 1959, los peces más grandes vinieron a ser menos abundantes con relación al grupo de talla media, probablemente debido a la remoción por la pesca de este exceso de peces grandes que se había acumulado. Aunque la abundancia de los peces pequeños ha permanecido relativamente constante durante el período de la pesquería, el número total cogido ha aumentado invariablemente cuando se considera el incremento en el esfuerzo. Es aparente que la continua disminución en el total de la tasa de captura por anzuelo se debe casi por completo a la reducción en la abundancia aparente de los grupos de talla grande y media. Esto es, después de la remoción inicial de estos componentes mayores del stock que se habían acumulado, la flota ha capturado proporcionalmente más peces pequeños, pescándolos antes de que constituyan grandes proporciones de grupos de talla grande y media.

Así que es evidente que la pesquería palangrera en el Pacífico oriental tropical ha tenido un marcado efecto sobre la composición de tallas de los stocks del patudo. No es posible, sin embargo, descubrir según este estudio si la pesquería ha afectado adversamente el nivel de los stocks en el Pacífico oriental con respecto al rendimiento máximo sostenible.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

Barrett, I., and S. Kume

- 1965 Observations on bigeye tuna caught in the surface tuna fishery in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1964. Calif. Fish and Game, 51(4): 252-258.

Beverton, R. J. H., and S. J. Holt

- 1957 On the dynamics of exploited fish populations. Min. of Agr., Fish and Food (U. K.), Fish Invest. Ser. II, (XIX): 1-533.

Fisher, R. A., and K. Mather

- 1936 A linkage test with mice. Annals of Eugenics, (7): 265-280.

Iversen, E. S.

- 1955 Size frequencies and growth of central and western Pacific bigeye tuna. U. S. Fish and Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept. Fish, (162): 1-40.

_____, and H. O. Yoshida

- 1956 Longline fishing for tuna in the Central Equatorial Pacific, 1954. U. S. Fish and Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept. Fish., (184): 1-33.

Kenneth, F. M. and T. Jow

- 1960 Exploratory longline fishing for tunas in the eastern tropical Pacific, September 1955 to March 1956. Calif. Fish and Game, Bull., 46(2): 117-150.

Kikawa, S.

- 1962 Studies on the spawning activity of the Pacific tunas, *Parathunnus mebachi* and *Neothunnus macropterus*, by the gonad examination. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Occasional Rept., (1): 43-56.

Kume, S., and T. Shiohama

- 1964 On the conversion between length and weight of bigeye tuna landings in the Pacific Ocean (preliminary report). Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rept., (20): 59-67.

_____, and T. Shiohama

- 1965 Ecological studies on bigeye . . . II. Distribution and size composition of bigeye tuna *Parathunnus sibi* in the equatorial Pacific. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rept., (22): 71-83.

Kume, S., and M. B. Schaefer

- 1966 Studies on the Japanese longline fishery for tuna and marlin in the eastern tropical Pacific Ocean during 1963.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.: *in press*.

Murphy, G. I., and R. S. Shomura

- 1953 Longline fishing for deep swimming tunas in the Central Pacific, January-June 1952.
U. S. Fish and Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept. Fish, (108): 1-32.

-----, and T. Otsu

- 1954 Analysis of catches of nine Japanese tuna longline expeditions to the western Pacific.
U. S. Fish and Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept. Fish., (128): 1-46.

-----, and R. S. Shomura

- 1955 Longline fishing for deep swimming tunas in the central Pacific, August-November 1952.
U. S. Fish and Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept. Fish., (137): 1-42.

Shomura, R. S., and B. A. Keala

- 1962 Growth and sexual dimorphism in growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) a preliminary report.
F. A. O. World Sci. Meet. Biol. Tunas and Related Species, Section No. 3, Experience Paper No. 24: 1-9.

Suda, A., and M. B. Schaefer

- 1965a General review of the Japanese tuna long-line fishery in the eastern tropical Pacific Ocean 1956-1962 (in English and Spanish).
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 9(6): 305-462.
- 1965b Size-composition of catches of yellowfin tuna in the Japanese long-line fishery in the eastern tropical Pacific east of 130°W (in English and Spanish).
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 10(4): 265-331.

Tomlinson, P. K., and N. J. Abramson

- 1961 Fitting a von Bertalanffy growth curve by least squares.
Calif. Fish and Game, Fish. Bull., (116): 1-69.

Watanabe, H.

- 1961 Study of tuna hooked layer by longline.
Kanagawa Prefectural Fish. Exper. Station, Data Series (4).

Wilson, R. C., and B. M. Shimada

- 1955 Tuna longlining: Results of a cruise to the eastern tropical Pacific Ocean.
Calif. Fish and Game, 41(1): 91-98.

Wyrтки, K.

- 1964 The thermal structure of the eastern Pacific Ocean.
Ergänzungsheft Reihe A (8°), Nr. 6 zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift: 1-84.

Yukinawa, M.

- 1958 Size frequency of the bigeye tuna caught in the equatorial Pacific.
Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rept., (8): 22-30.

_____, and Y. Yabuta

- 1963 Age and growth of bigeye tuna, *Parathunnus mebachi* (KISHINOUE).
Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rept., (19): 103-120.