

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

Bulletin — Boletín

Vol. 17, No. 2

**SPAWNING OF YELLOWFIN TUNA AND
THE DISCRIMINATION OF SUBPOPULATIONS**

**DESOVE DEL ATUN ALETA AMARILLA Y
DISCRIMINACION DE LAS SUBPOBLACIONES**

by — por

Phyllis Farrington Knudsen

La Jolla, California

1977

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT.....	119
INTRODUCTION.....	119
ACKNOWLEDGEMENTS.....	120
METHODS.....	120
Examination of the gonads.....	121
The gonad index.....	121
Identification of spawning groups.....	123
COMPARISON OF SAMPLES ACCORDING TO FISHING GEAR AND SCHOOL TYPE.....	124
RESULTS.....	125
Area 1: Revillagigedo Islands.....	126
Area 2: Tres Marias Islands and Southern Mexico.....	126
Area 3: Gulf of Tehuantepec.....	127
Area 4: Central America.....	127
Areas 5 and 6: Coast of Ecuador and Galapagos Islands.....	128
Area 7: Intermediate Area.....	128
Area 8: Outside the CYRA.....	128
DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	129
<hr/>	
FIGURES — FIGURAS.....	131
TABLES — TABLAS.....	152

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO.....	155
INTRODUCCION.....	155
AGRADECIMIENTO.....	156
METODOS.....	156
Examen gonosomático.....	157
El índice gonosomático.....	157
Identificación de los grupos reproductores.....	159
COMPARACION DE LAS MUESTRAS DE ACUERDO A LAS ARTES DE PESCA Y TIPO DE CARDUMEN.....	160
RESULTADOS.....	162
Zona 1: Islas Revillagigedo.....	162
Zona 2: Las Islas Tres Marías y el sur de México.....	163
Zona 3: El Golfo de Tehuantepec.....	164
Zona 4: La América Central.....	164
Zona 5 y 6: La Costa del Ecuador y las Islas Galápagos.....	164
Zona 7: Zona Intermedia.....	165
Zona 8: Fuera del ARCAA.....	165
DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	166
<hr/>	
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	168

SPAWNING OF YELLOWFIN TUNA AND THE DISCRIMINATION OF SUBPOPULATIONS¹

by

Phyllis Farrington Knudsen

ABSTRACT

The spawning of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean was examined to ascertain the existence of separate subpopulations within this area. Investigations of biochemical genetics of yellowfin indicate that there are a number of genetically distinct groups in the eastern Pacific. In addition, yellowfin belong to two recruitment cohorts, X and Y, which are composed of a mixture of these genetically different groups. Spawning data were collected from 1956 through 1961 from the coastal fishing grounds, and from 1970 through 1973 from the offshore fishing areas. Temporal and spatial aspects of spawning of the fish of the two cohorts were analyzed to determine if yellowfin spawning behavior supports the existence of genetically separate subpopulations.

Spawning condition was inferred from the maturity of the ovaries. It was found that the coastal fish of each cohort exhibit at least two spawning periods per year which vary in length and time of occurrence from year to year. Fish taken from the offshore fishing grounds did not exhibit this variable spawning pattern. Although samples were not available for all months, the data showed that each cohort has a spawning period of at least 7 months and may spawn year around. Samples from offshore areas also had much higher percentages of spawners than those from the coastal areas.

Temporal differences in spawning are not maintaining the genetically separate groups found in the fishery, since fish of both recruitment cohorts spawn at the same time. Also, fish of both the X and Y cohorts spawned in all areas examined; however, these data are insufficient to determine whether spatial isolation of spawning groups is occurring within the areas.

INTRODUCTION

Knowledge of the population structure of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean is important for the proper management of this resource. Investigations of biochemical genetics (Sharp, 1972) indicate that there are a number of subpopulations within this fishery. The terms population, subpopulation and stock as used in this paper are

¹Adapted from a thesis submitted in partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science at San Diego State University.

defined as follows: *population*—all individuals of a species when there are no subspecies (Joseph and Calkins, 1969); *subpopulation*—fraction of a population that is genetically self-sustaining. (Marr, 1957); *stock*—portion of a population, generally inhabiting a specific geographic location, members of which are characterized by certain similarities not necessarily heritable (Joseph and Calkins, 1969). Spawning group isolation, either temporal, spatial, or physiological, is essential for maintaining subpopulations. Physiological mechanisms of isolation are not likely to occur in tunas due to their method of reproduction. Consequently, temporal and spatial differences of spawning groups were examined to attempt to determine if genetically independent subpopulations are being maintained by these methods of isolation.

In addition to these genetically distinct groups, yellowfin in the eastern Pacific belong to two recruitment cohorts (Hennemuth, 1961). The X recruitment cohort enters the fishery during the first half of the year and the Y cohort during the second half of the year (Davidoff, 1969). Each cohort is composed of a mixture of the different genetic groups (Sharp, 1972). In order to examine spawning group isolation, the assignment of spawning fish to age classes and cohorts is necessary. When the X and Y cohort spawners have been identified the yearly spawning habits of these groups in separate areas of the fishery can be determined to ascertain if the spawning areas and times of these two groups are different.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to thank Patrick K. Tomlinson for his computer programs used in this analysis, and for his helpful advice throughout the study.

I am also grateful to William H. Bayliff, Eric D. Forsbergh, and Clifford L. Peterson for their many helpful suggestions about the manuscript.

METHODS

Yellowfin samples were obtained from live-bait and purse-seine vessels at the time of unloading at canneries in Terminal Island and San Diego, California, Manta, Ecuador, and Mancora, Peru. The exact date and location of capture of the fish of each sample were obtained from the logbook of the vessel, and the fork lengths of the fish were measured and recorded. The fish were then thawed, when necessary, and the body cavity opened to determine the sex. If the fish was a female the ovaries were removed and stored frozen for later examination.

The data were collected in two sets. From 1956 through 1961 an attempt was made to collect a sample of 50 females during each month from the 13 areas of the eastern Pacific (Figure 1). Since each of these

areas is not fished during the entire year, the potential number of fish was not collected, the total number being about 8,000. A minimum size of fish for collection of ovaries was established based on determinations of size at first spawning by Schaefer and Orange (1956). For the northern areas (Figure 2, Areas 1 and 2) a minimum size of 80 cm was established, and for the remainder of the areas fish of 70 cm fork length were collected.

A second set of data was collected from 1970 through 1973 from the area to the west of the original coastal fishing grounds, since the fleet's fishing activities had expanded into this area (Figure 1). The specimens were handled in the same manner as the earlier samples except no minimum size of collection was established. Approximately 2,000 females were collected from this area.

Examination of the gonads

The stored ovaries were thawed and then weighed on a beam balance to the nearest 0.1 gram. The ovaries were then opened to determine if there were loose eggs in the lumen. Fish in the first set of data were classified as post spawners if the ovaries contained loose eggs in the lumen, and all other fish were classified as pre-spawners. Fish from the second set of data were defined as post spawners only if they had loose eggs in the lumen and flaccid ovaries. It is possible that a fish with loose eggs in the lumen and turgid ovaries may spawn another batch of eggs (June, 1953). Therefore, the fish with turgid ovaries classified as post spawners in the first set of data may have been in the process of spawning or were going to spawn another batch of eggs, whereas those classified as post spawners in the second set of data with flaccid ovaries were considered to have finished spawning. Hereafter in this study post spawners are defined as all fish with loose eggs in the lumen regardless of ovary condition.

The gonad index

Gonad maturity was determined by using a gonad index, which is the numerical relationship between the weight of both ovaries and the length of the fish. It is defined as:

$$\text{G.I.} = \frac{W}{L^3} \times 10^8 \text{ where G.I.} = \text{gonad index, } W = \text{weight of both ovaries}$$

in grams, and L = fork length in cm.

Chatwin (1959) calculated the length-weight relationship of yellowfin from all areas of the eastern Pacific Ocean and found the regression coefficient of the logarithms of weight on the logarithms of length to be 3.02. Since length is an easier measurement to obtain while sampling at the cannery, length of the fish cubed was used instead of weight in calculating the gonad index.

The degree of sexual maturity is determined most precisely from an ova diameter frequency distribution, by noting the size of the ova in the most mature mode (Yuen, 1955). A similar method, used by Schaefer and Orange (1956), employed the 95th centile of the frequency distribution of ova diameters to indicate the size of the largest mode of the developing ova. Yuen, Schaefer and Orange found that the gonad index was highly correlated with the modal ova diameters. The latter study also showed that the relationship of gonad index and ova diameter does not vary with the size of the fish, and the gonad index was a reliable measurement of the degree of ova development (thus sexual maturity) for pre-spawning fish. Specimens in the post spawning category, however, had a wide range of gonad indices.

A gonad index of 30.0 or above indicates that spawning is imminent. This was determined by examining the ova of fish with gonad indices ranging from 10.5 to 68.6. To examine the ova, a small section was removed from seven ovaries after they had been weighed. The section was taken from the central portion of either the right or left ovary. June (1953) discovered that there was no difference in maturity among the anterior, posterior or central regions of the ovaries. Yuen (1955) arrived at the same conclusion but found that the ova near the wall of the ovary were less developed than the ova near the lumen. Therefore, the section was removed from near the lumen. The eggs were next teased free from the follicles (if possible) and examined under a microscope equipped with an ocular micrometer. The appearance of the eggs was noted, and 50 ova diameters were measured from each ovary. Only the most mature eggs were measured (those that were easily teased free), the ova diameter taken being the one parallel to the microscope scale.

It was found that fish with gonad indices of 30.0 or above had late maturing or ripe ova (Table 1). A late maturing ovum was defined by June (1953) as one that is opaque, has yolk granules, and a diameter of 0.59 to 0.76 mm. A ripe ovum (June, 1953) is translucent, has a distinct oil globule, and is approximately 0.76 mm in diameter or greater.

After the eggs of a mode have reached maturity there is only a short period of time until they are spawned. Clark (1934) stated that sardines (*Sardinops caerulea*) with mature ova (0.7 mm in diameter and translucent) spawn within 3 to 4 weeks. Brock (1954) also noted that the late stages of maturity of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) are transitory, and Simpson (1959) stated that transition from the late maturing opaque stage to the translucent ripe stage for anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) was probably very rapid and occurred shortly after spawning. In this study fish with gonad indices of 30.0 or greater are assumed to spawn within one month of capture and are referred to as spawners.

The fish classified as post spawners with gonad indices over 30.0 from

the first set of data were analyzed together with those classified as spawners since the former were presumably still in a spawning stage. In addition, all fish classified as post spawners from both sets of data, regardless of their gonad indices, were analyzed separately.

Identification of spawning groups

To associate the size groups of spawners with the year classes and the X and Y cohorts I estimated the total weights of fish of each length caught by the vessels from which usable logbook data (Shimada and Schaefer, 1956) were obtained, by 5-degree area and month, for 1956-1961 and 1970-1973. The method was similar to that used by Shingu, Tomlinson, and Peterson (1974). The basic data were 50-fish samples from individual vessels. The lengths of fish in each sample, in 2-cm intervals, were multiplied by a factor to estimate the length frequencies of all the fish caught by the vessel in question in the same area-month stratum. This second set of length frequencies was combined with similar second sets of length frequencies obtained from other vessels which caught fish in the same area-month stratum, and then these combined length frequencies were multiplied by another factor to estimate the length frequencies of all the fish caught in that area-month stratum by all the vessels in the fleet from which usable logbook data were obtained. The lengths in the third set of length frequencies were converted to weights by the length-weight relationship estimated by Chatwin (1959):

$$\log_{10} w = 3.0201 \log_{10} l - 7.410$$

where

$$l = \text{fork length in millimeters and} \\ w = \text{weight in pounds.}$$

This made the modes of large and small fish more nearly equal. These data were then smoothed by a moving average of three, giving the center interval double weight. The 5-degree areas with similar frequencies for all the months of all the years examined were combined, resulting in the areas shown in Figure 2. These data are shown as clear polygons in Figures 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 20, and 21.

The length frequencies of the spawners, in 1-cm intervals, were smoothed by a moving average of three, and then superimposed upon the above figures as stippled polygons. The numbers of spawners found in the samples appear as circled numbers and the percentages of the fish sampled which were spawners are printed below the circles. Because of the smoothing procedure used, single spawners (*i.e.*, individual fish) do not appear on the graphs even though a percentage appears. If only a few spawners were sampled in a given area-month stratum they appear as a stippled polygon if they were all of the same or adjacent lengths, but otherwise they do not.

The length frequencies of the post spawners were treated the same way as those of the spawners. These appear as clear polygons in Figure 6, 9, 12, 15, 16 and 19, along with the stippled polygons of the spawners for the same years. This was done to help to determine the lengths of the spawning periods, and whether or not the fish remained in the areas after spawning. The encircled numbers in these figures are the sample sizes, and the percentages below them represent the percentages of fish sampled which were post spawners.

The positions of the modes of the fish of the X and Y cohorts were determined from the definitions of Hennemuth (1961). The following growth rates (IATTC, 1974) were applied to the data: Areas 1, 2, and 3, 3.59 cm per month; Area 4, 3.04 cm per month; Areas 5 and 6, 4.26 cm per month. Growth rate data for areas 7 and 8 have not been estimated, but the growth for those areas appears similar to that of Area 1, 2, and 3, so it was assumed to be the same. These growth rates are superimposed upon the frequencies of the X-cohort fish in Figures 4-21 as dashed lines. The Y-cohort fish appear in the figures as modes about 20 cm smaller or larger than the X-cohort fish.

COMPARISON OF SAMPLES ACCORDING TO FISHING GEAR AND SCHOOL TYPE

The samples used in this study were taken from catches of two types of fishing vessels, baitboats and purse seiners. The samples also came from two types of schools (those associated with porpoise and non-porpoise schools), representing different fishing methods. Before analyzing the data for spawning areas and times, I first looked to see if any bias in sexual maturity was produced by the two types of fishing gear or by the two kinds of schools from which the samples came.

To determine if gear type biases the sexual maturity of a sample, five pairs of samples from both types of vessels were compared. Each pair of samples was captured in the same 1-degree area during the same month and had fish with similar fork lengths. The samples were assumed to be from non-porpoise schools since they had all been collected very near the mainland or islands. The pertinent data on the samples is given in Table 2.

An analysis of variance test was used to examine the differences between average gonad indices of purse seine- and baitboat-caught fish. A randomized block design with the areas as blocks was used. The data were also tested for normality, using a chi-square goodness of fit test, and no departure from normal was detected. Also no dissimilarities in the variances of the samples were found. The results (Table 2) of the analysis of variance show no differences in the sexual maturity of baitboat- and purse seine-caught fish.

A second comparison of sexual maturity was done between porpoise and non-porpoise associated samples. Five pairs of samples were used which had been collected in the same 5-degree area (Table 3). The only areas in which both porpoise and non-porpoise samples were collected were Revillagigedo Islands and Clipperton Island. The porpoise samples from these areas were taken in 1973, but no non-porpoise samples were collected in that year. All of the non-porpoise samples from these areas are from 1956 to 1960, so each pair of samples was collected in the same month, but not the same year. In addition, the porpoise-associated samples came from areas slightly further from the islands than the non-porpoise samples, since porpoise do not aggregate in large schools near the islands.

A randomized block design analysis of variance test was used to detect differences in the average gonad indices of the porpoise and non-porpoise samples. Each 5-degree area was treated as a block. The samples were tested for normality and homogeneity of variance. No departure from normality or homogeneity was detected. In Table 3 it is shown that the porpoise-associated samples had significantly higher average gonad indices than the non-porpoise samples. I believe that enough samples were compared to eliminate differences in average gonad indices caused by different years being compared. It is possible that porpoise confer some spawning advantage to tuna, and for this reason the tuna associate with the porpoise. It is also possible that the tuna prefer the more offshore waters (where the porpoise are found) for spawning, and associate with the porpoise for some other reason. These results do not affect the analysis of spawning areas and times, but they are important because they may be useful in interpreting reasons for the tuna-porpoise association behavior.

RESULTS

The spawner length frequencies were first compared with the catch length frequencies to determine which recruitment cohorts were in the areas shown in Figure 2 and how many year classes of each cohort were present. After the recruitment cohorts had been identified, the length and peaks of the spawning period(s) and the yearly spawning pattern of the cohorts was determined. For each area the length of the spawning period was ascertained by the number of consecutive months that spawners were in the samples, and the peak was defined as the month with the highest percentage of spawners.

The post-spawner length frequencies were also examined by areas to corroborate the peak month(s) of spawning, and the end of the spawning period, and to determine how long the spawners remained in the area after spawning.

Area 1: Revillagigedo Islands

The catch length frequencies show that one cohort, the X cohort, prevails in this area, although the Y cohort is also present in some samples (Figure 4). The X cohort shows a strong summer spawning period which lasts from July through September. The peak of the spawning period is in August with 60% of the sample spawning in 1956, 66% in 1957 and 88% in 1958. The Y-cohort spawners also appear in the summer months, but not as frequently as those of the X group. A winter component of spawning occurs in February 1960 (Figure 5), and in February of 1973 (not shown). Another indication that spawning does not occur only during the summer months is afforded by ovary samples taken by Japanese longliners. Fish with high gonad indices were found in this area in the last quarter of the year (Ziro Suzuki, Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japan, personal communication).

The post-spawner length frequencies (Figure 6) show by the high percentage of post spawners in the samples after the spawning period that the spawners remain in the area after spawning. The months with the highest percentages of post spawners are August and September, further indicating a peak of spawning. The percentages of post spawners remain high for 3 to 4 months after the peak, possibly indicating that if a fish spawns only one batch of eggs, then at least 4 months are required to return to a pre-spawning stage of maturity.

Area 2: Tres Marias Islands and Southern Mexico

The X cohort is the dominant group in this area from 1956 to 1958, with one age group, and occasionally two age groups, appearing strongly (Figure 7). The catch length frequencies for 1959 through 1961 show that both groups were in the area, with the Y group appearing strongly in the samples (Figure 8). The complexity of the catch length frequencies in the later years is probably due to two factors: the increased total catch, which rose from 140.5 million pounds in the eastern Pacific Ocean in 1959 to 244.3 million pounds in 1960, and the conversion of most of the bait-boats to purse seiners, which catch less homogeneous size groups of fish (Calkins, 1965).

Gonad samples were not collected in this area in 1956, but the spawner length frequencies for 1957 and 1958 show that fish of the X group spawn at least twice a year (Figure 7). In 1957 there were high percentages of spawners in the winter (January and February), with a decline in the numbers of spawners in March. The percentages of spawners rose again in June and July and declined in October, and then spawners appeared again in November. In 1958 there is a similar pattern of summer and winter spawners, but too few consecutive samples were collected to determine if spawning occurs at other times of the year also. The Y cohort

does not appear in the samples as frequently as the X group, so no pattern of spawning could be discerned, but the Y-cohort spawners always appear in the samples with X-cohort spawners. The remaining years of length frequencies are more difficult to interpret, since both the X and Y cohorts appear strongly in the samples and the length-frequency modes are difficult to separate. The length frequencies (Figure 8) show a similar pattern of a number of spawning periods per year, but these periods vary in length and time of occurrence from year to year.

The post-spawner length frequencies substantiate the sporadic pattern of spawning periods. Also many months show post spawners after the spawning period, indicating that the spawners remain in the area after spawning.

Area 3: Gulf of Tehuantepec

Unlike Areas 1 and 2, spawners appear in Area 3 only infrequently. The length frequencies (Figures 10 and 11) show that both the X and Y cohorts are in this area, but there are no consecutive modes of spawners. In addition, only a few samples were collected that contained high percentages of spawners, indicating that this area is not a major spawning area.

The post-spawner length frequencies show a similar pattern of isolated non-consecutive modes of fish (Figure 12). In the months in which spawners were caught post spawners of the same lengths were also caught; however, in many of the following months the corresponding mode of post spawners does not appear. This may indicate that the spawners do not remain in the area after spawning as they did in Areas 1 and 2.

Area 4: Central America

As for Area 2, the spawner length frequencies for Area 4 (Figures 13 and 14) show at least two spawning periods each year. The beginning, peaks and lengths of the spawning periods varied from year to year in this area. In 1957, 1959 and 1960 there were two spawning periods per year, with a winter peak in December, January or February, a decline in the numbers of spawners in March and/or April and summer spawning peaks in July 1957, August 1959, and May 1960. The other years show more sporadic spawning periods, which vary in length and peak from year to year. Fish of both the X and Y cohorts spawn in this area at the same time. Spawners of the Y cohort appear in many of the samples with the X cohort, but too few consecutive modes of this group were collected to determine if there was a pattern to their spawning periods.

The post-spawner length frequencies show sporadic pattern of high and low percentages of post spawners in this area (Figures 15 and 16). The spawners appear to remain in the area after spawning, since the cor-

responding modes of post spawners occur in the following months. Often the percentages of post spawners remain very high for many months following the peak of spawning, indicating that many months are required to resorb all unspawned eggs in the lumen, and it is this phenomenon that could account for the more sporadic high and low percentages of the post spawners than the spawners.

Areas 5 and 6: Coast of Ecuador and Galapagos Islands

The length frequencies for Areas 5 and 6 were combined since they displayed similar monthly length frequencies for all the years sampled. As can be seen in Figures 17 and 18, only four samples from these areas contained high percentages of spawners. The X cohort is the most conspicuous group in the years examined, but identification of the groups is difficult in some years since the modes of fish do not progress in size. This is likely due to continuous emigration of larger fish from the area and replacement of them by continuous recruitment of smaller fish. The lack of spawners indicates that these areas are not major spawning areas. Three samples containing high percentages of spawners were caught south of the Galapagos Islands in 1973 (not shown), so perhaps this area is an important spawning area which should be sampled more extensively.

The post-spawner length frequencies (Figure 19) show that the post spawners appear sporadically also. No consecutive modes of post spawners were collected, so the fish are probably moving quickly out of the area after spawning.

Area 7: Intermediate Area

The Y cohort was dominant in this area in 1970 and 1971, while the X group was dominant in the samples in 1972 and 1973 (Figure 20). Samples were collected in this area only from January to June and in November, but unlike the coastal areas every sample had a very high percentage of spawners. The spawners in this area do not exhibit the sporadic spawning periods as in the coastal areas. Fish with high gonad indices were found in all the months sampled. Evidence for year-round spawning in this area was found by Shingu, Tomlinson and Peterson (1974), who found high gonad indices of ovary samples taken aboard Japanese longline vessels during every quarter of the year.

No post spawners were collected in this area. Fish collected in this area from 1970 to 1973 were defined as post spawners only if they had flaccid ovaries indicating they had completely finished spawning as mentioned earlier. Since none were found it is possible that fish in this stage occur in the summer months when no samples were collected.

Area 8: Outside the CYRA

The length frequencies show that two age groups of both the X and Y

cohorts are outside the Commission Yellowfin Regulatory Area (CYRA). (Figure 21). Both groups spawn from April through October. No samples were collected in the other months, so the spawning behavior of the fish during these times is not known. This area, like Area 7, shows a continuous spawning period, and the samples contained, on the average, much higher percentages of spawners than the coastal samples.

No post spawners were found in this area, but it is possible that they are in this stage during the winter months when no samples were collected.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Genetic differences among groups of yellowfin in the eastern Pacific suggest the existence of an isolating mechanism to maintain them. Separate subpopulations could be maintained by temporal differences only if the X and Y cohorts spawned at different times, but in none of the areas examined was this the case.

Spatial isolation of the X and Y groups does not appear to be occurring since in all of the areas studied (Figure 2) fish of both cohorts spawned. However, since the genotypes of the spawning fish are not known, it cannot be determined whether the separate genetic components of the X and Y groups are segregating among areas, or perhaps returning to specific spawning sites within the areas. Therefore these data are insufficient to determine if spatial isolation is occurring.

Coastal and offshore spawning differences

The major coastal spawning areas determined by these data are the Revillagigedo Islands, the Tres Marias Islands, the coast of southern Mexico, and the Costa Rican and Panamanian coasts. These areas agree with determinations of spawning areas based on the distribution of larvae (Klawe, 1961). Also, the offshore areas sampled had high concentrations of spawners. These samples were collected from the vicinity of Clipperton Island, and outside the CYRA from 0° to 10°N latitude, and 120° to 130°W longitude. High concentrations of larvae were found outside the CYRA (Matsumoto, 1958) and Clipperton Island (Klawe, 1961).

The fish in the coastal spawning areas displayed sporadic spawning. In some years spawning appeared to occur twice a year, but the peaks and lengths of the spawning periods varied from year to year. Offshore the spawning period was not sporadic as in the coastal areas, and lasted much longer. In Area 7 spawners were found in all of the months sampled (January-June and November) and it is possible that spawning occurs in the other months also. Similarly, in Area 8 spawning takes place at least from April through October. The offshore areas displayed, on the average, much higher percentages of spawners than the coastal areas.

One explanation of the differences in spawning frequency of the coastal and offshore fish might be that they represent different subpopulations which display different spawning behaviors. Evidence for this was found by Schaefer (1952) and Royce (1964), who noted morphological differences between coastal and Hawaiian yellowfin. What is more likely, however, is that different environmental conditions in the two areas cause different spawning behavior. The longer upwelling period along the equator in the offshore areas which occurs for 7 to 9 months of the year (Cromwell, 1953) could account for the longer spawning periods, as opposed to the shorter and more fluctuating upwelling along the coast (Blackburn, 1968; Forsbergh, 1969).

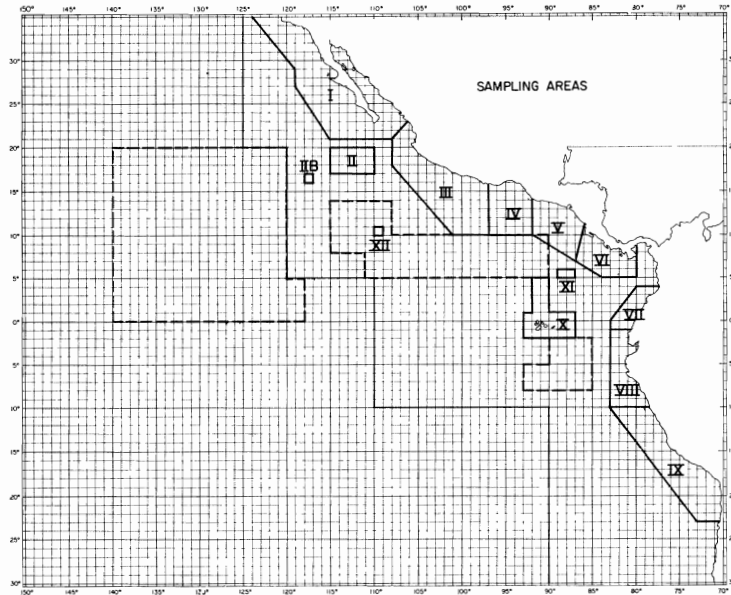


FIGURE 1. Sampling areas. The areas sampled from 1956 through 1961 (from Orange, 1961), comprising the coastal fishing grounds, are bordered by solid lines. The areas sampled from 1970 to 1973, comprising the off-shore fishing grounds, are bordered by dashed lines.

FIGURA 1. Zonas de muestreo. Las zonas muestreadas de 1956 a 1961 (de Orange, 1961), que abarcan la región nerítica de pesca se encuentran perfiladas con líneas sólidas. Las zonas de muestreo de 1970 a 1973, que abarcan la región oceánica de pesca, se encuentran perfiladas por líneas a puntos.

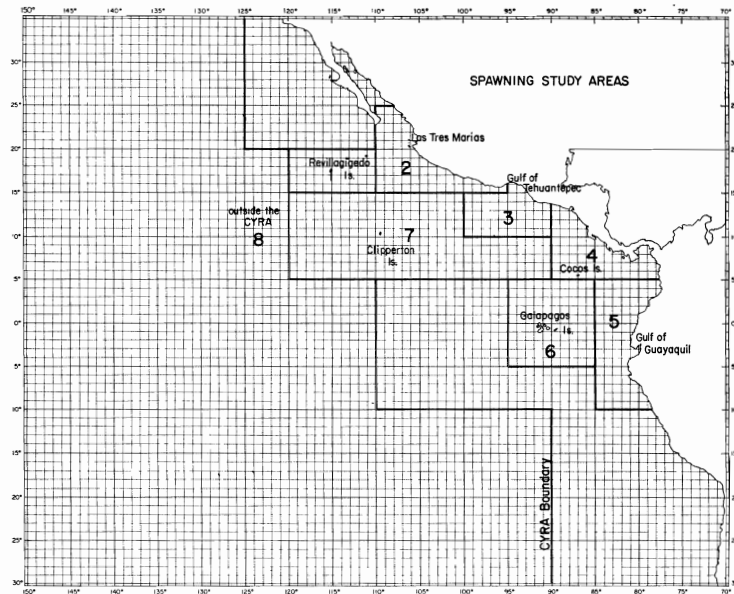


FIGURE 2. Spawning study areas. These areas had similar catch length frequencies, and each area was analyzed for spawning separately.

FIGURA 2. Zonas de desove del estudio. Estas zonas tenían frecuencias similares de talla en la captura y cada zona fue analizada separadamente para estudiar el desove.

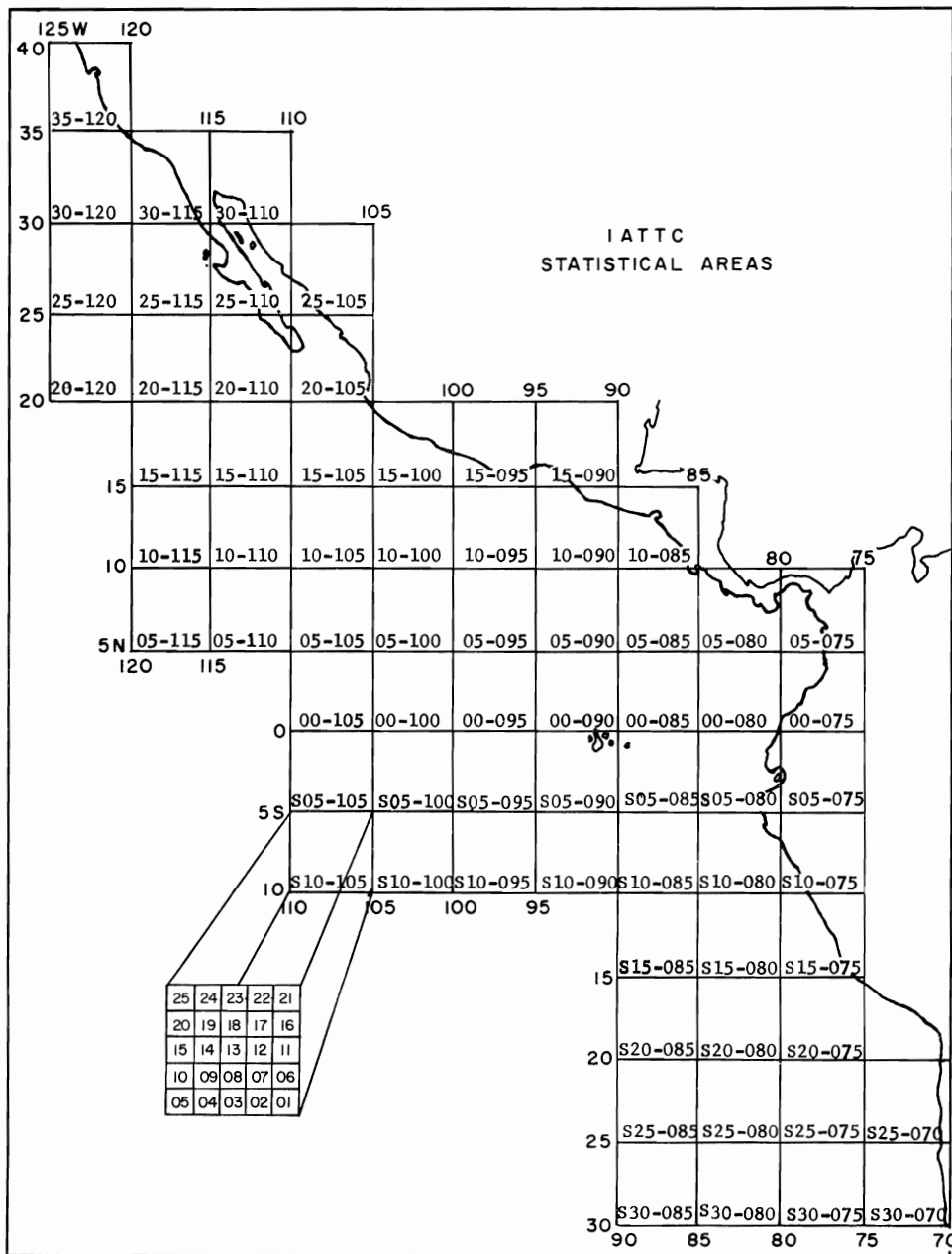


FIGURE 3. Statistical areas of the Inter-American Tropical Tuna Commission.

FIGURA 3. Zonas estadísticas de la Comisión Interamericana del Atún Tropical.

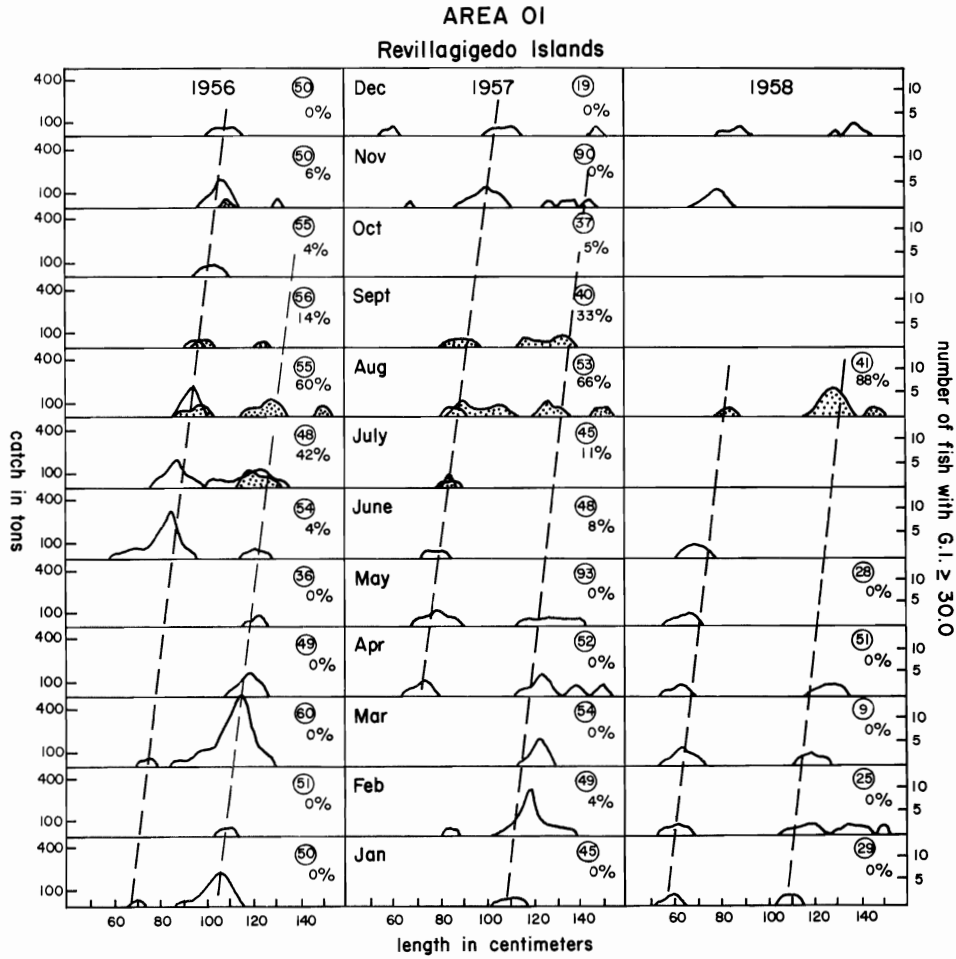


FIGURE 4. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 1 in 1956 through 1958.

FIGURA 4. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 1 de 1956 a 1958.

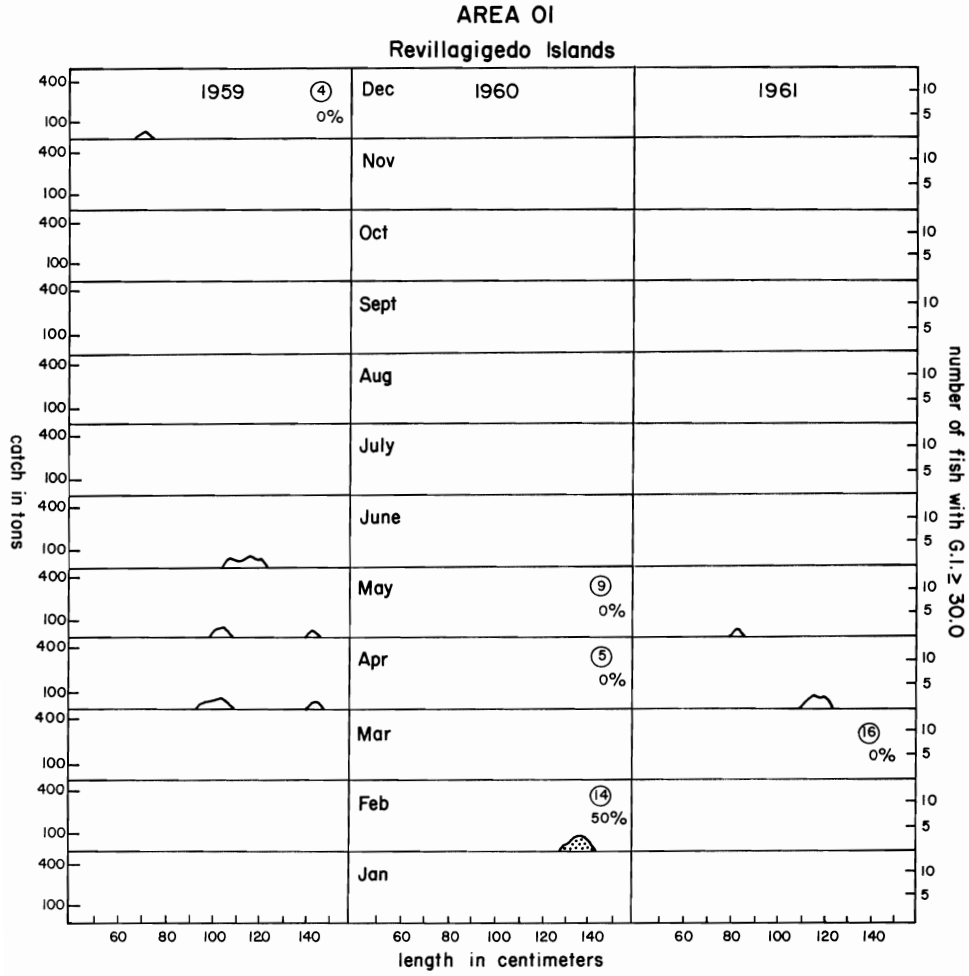


FIGURE 5. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 1 in 1959 through 1961.

FIGURA 5. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 1 de 1959 a 1961.

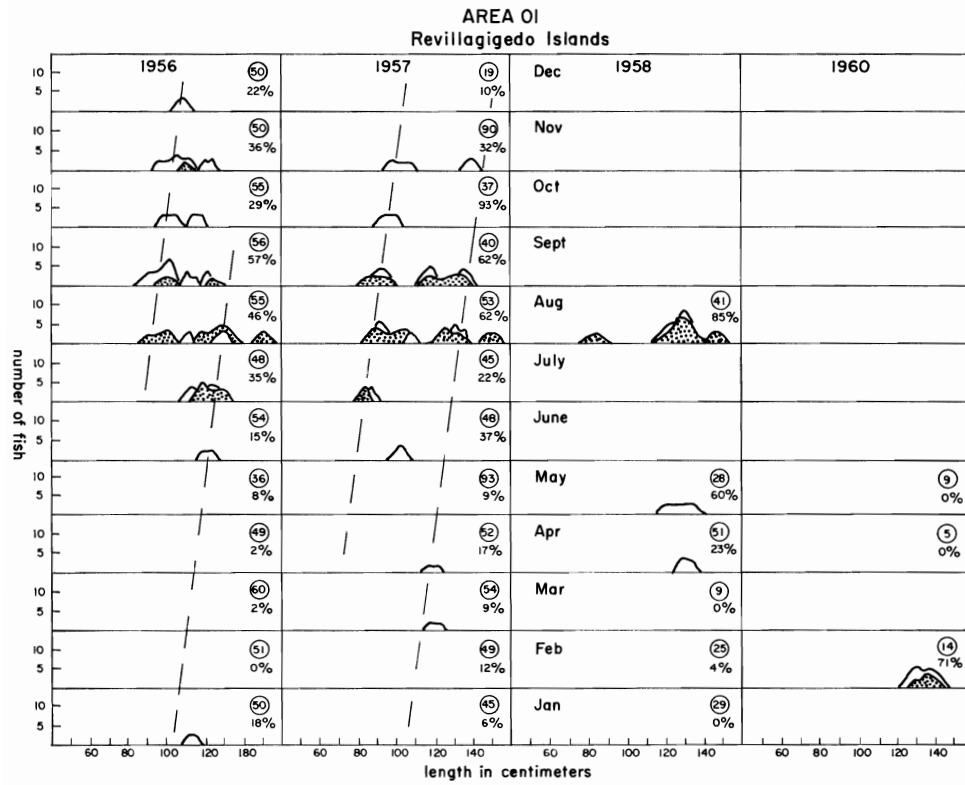


FIGURE 6. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 1 in 1956, 1957, 1958 and 1960.

FIGURA 6. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 1 en 1956, 1957, 1958 y 1960.

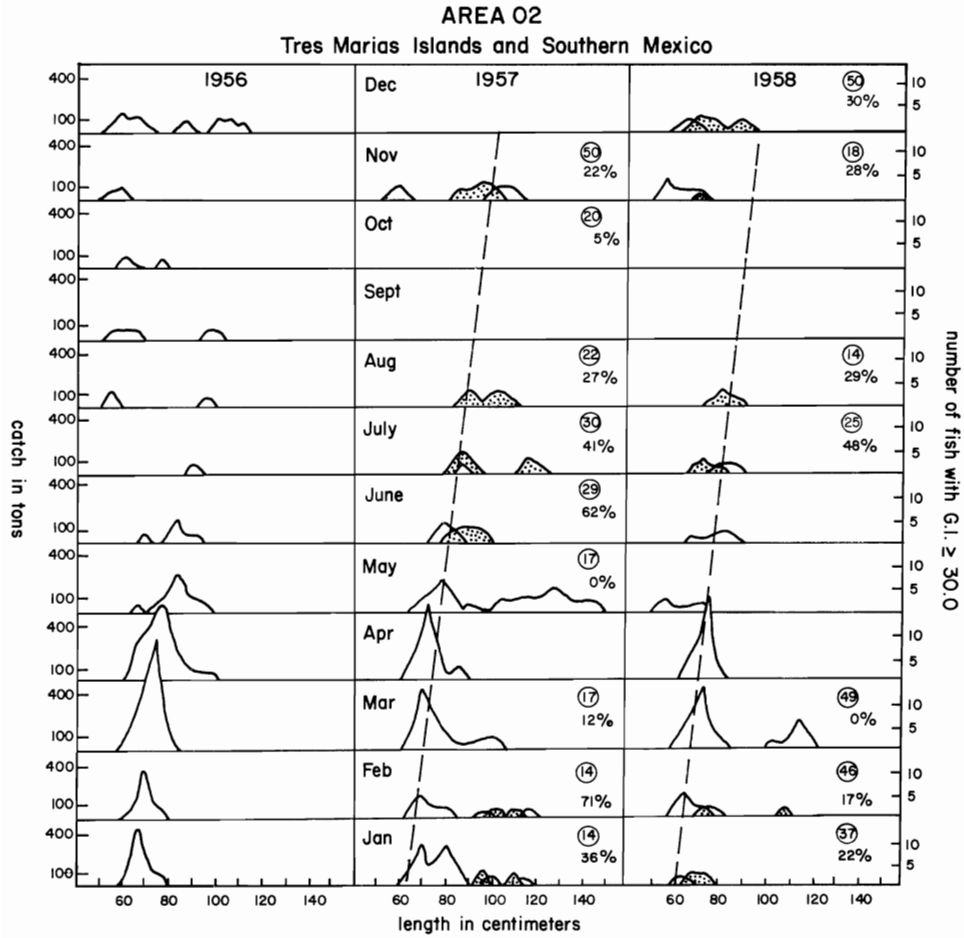


FIGURE 7. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 2 in 1956 through 1958.

FIGURA 7. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 2 de 1956 a 1958.

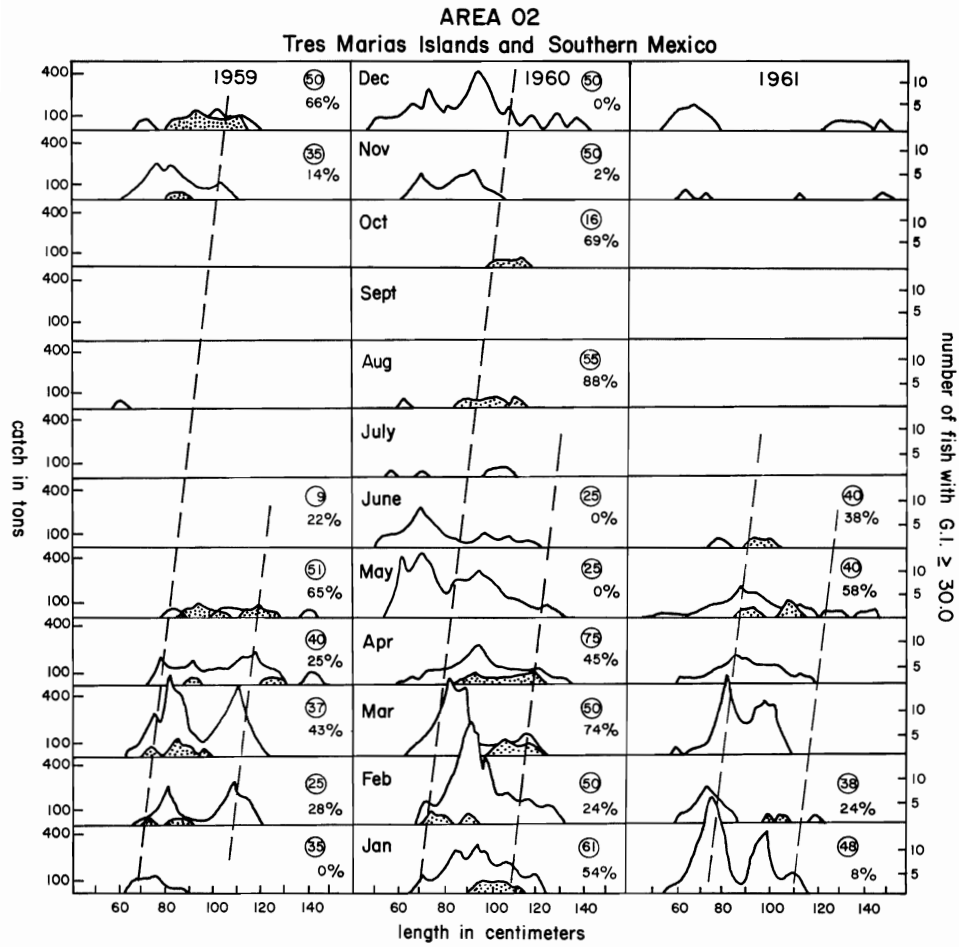


FIGURE 8. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 2 in 1959 through 1961.

FIGURA 8. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 2 de 1959 a 1961.

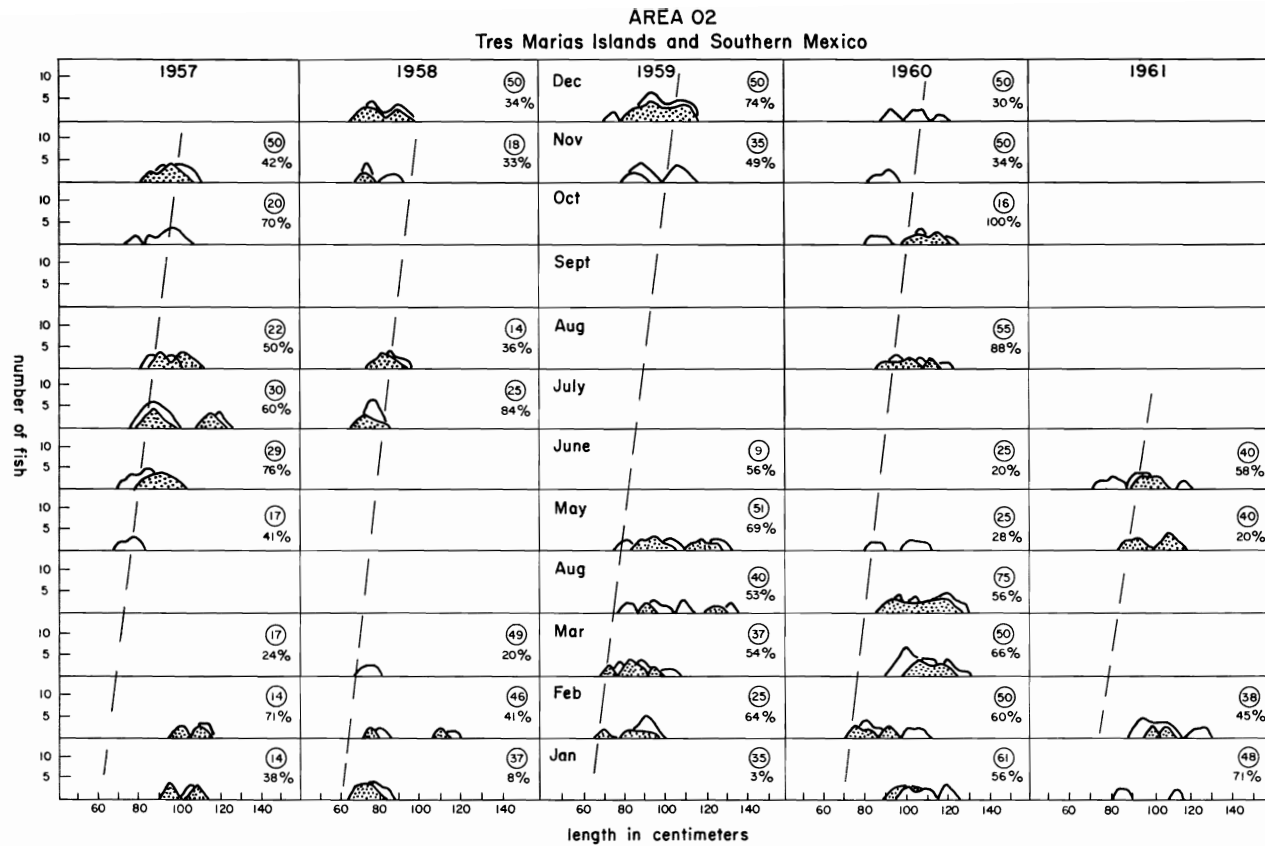


FIGURE 9. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 2 in 1957 through 1961.

FIGURA 9. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 2 de 1957 a 1961.

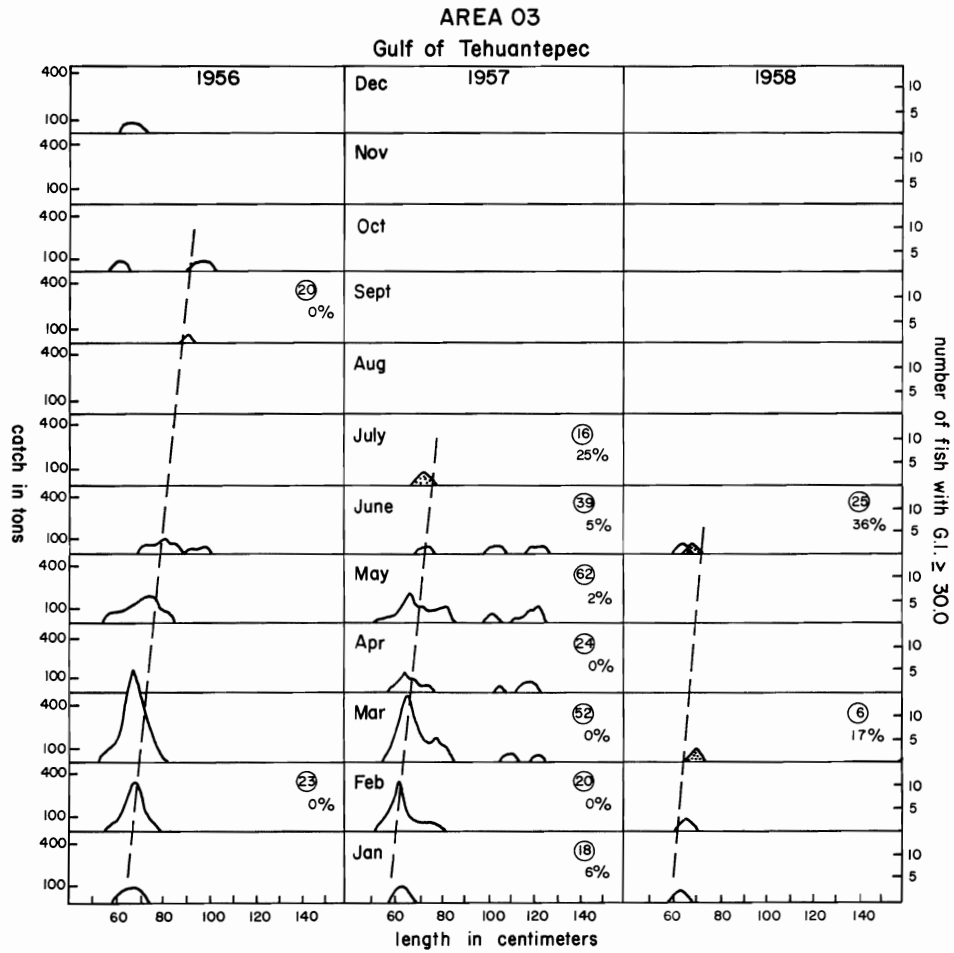


FIGURE 10. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 3 in 1956 through 1958.

FIGURA 10. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 3 de 1956 a 1958.

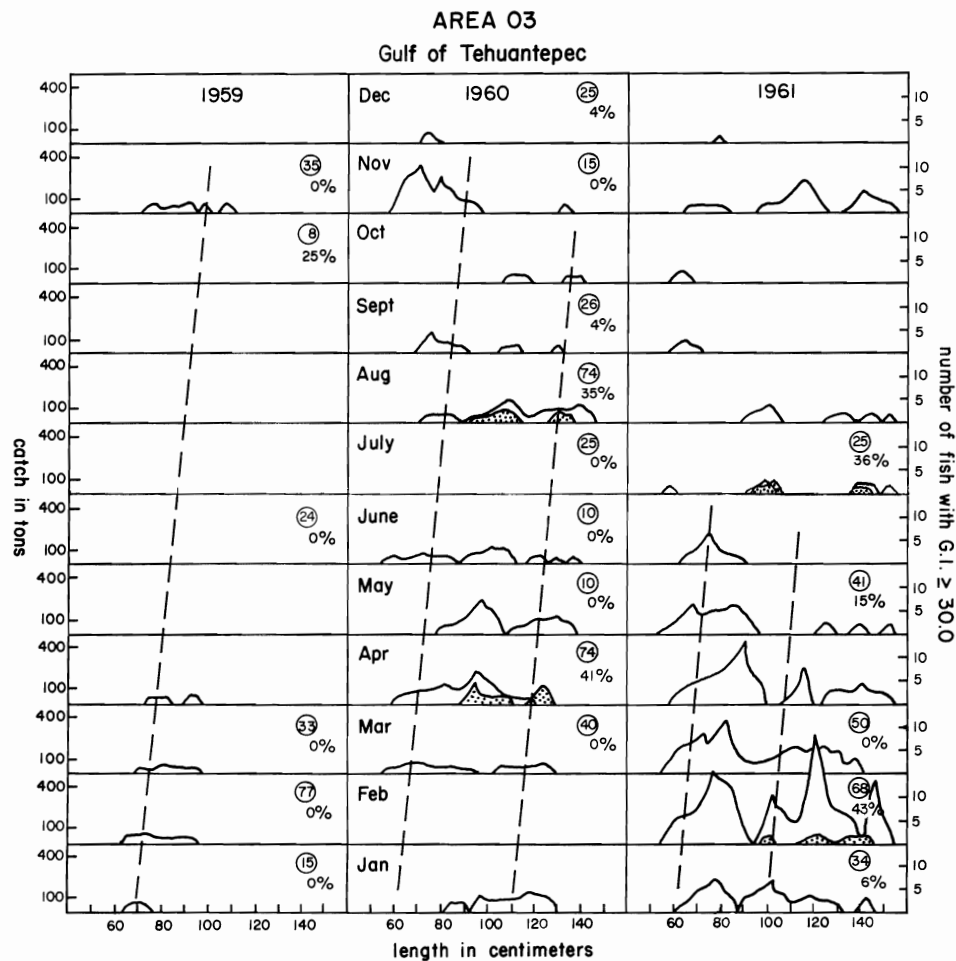


FIGURE 11. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 3 in 1959 through 1961.

FIGURA 11. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 3 de 1959 a 1961.

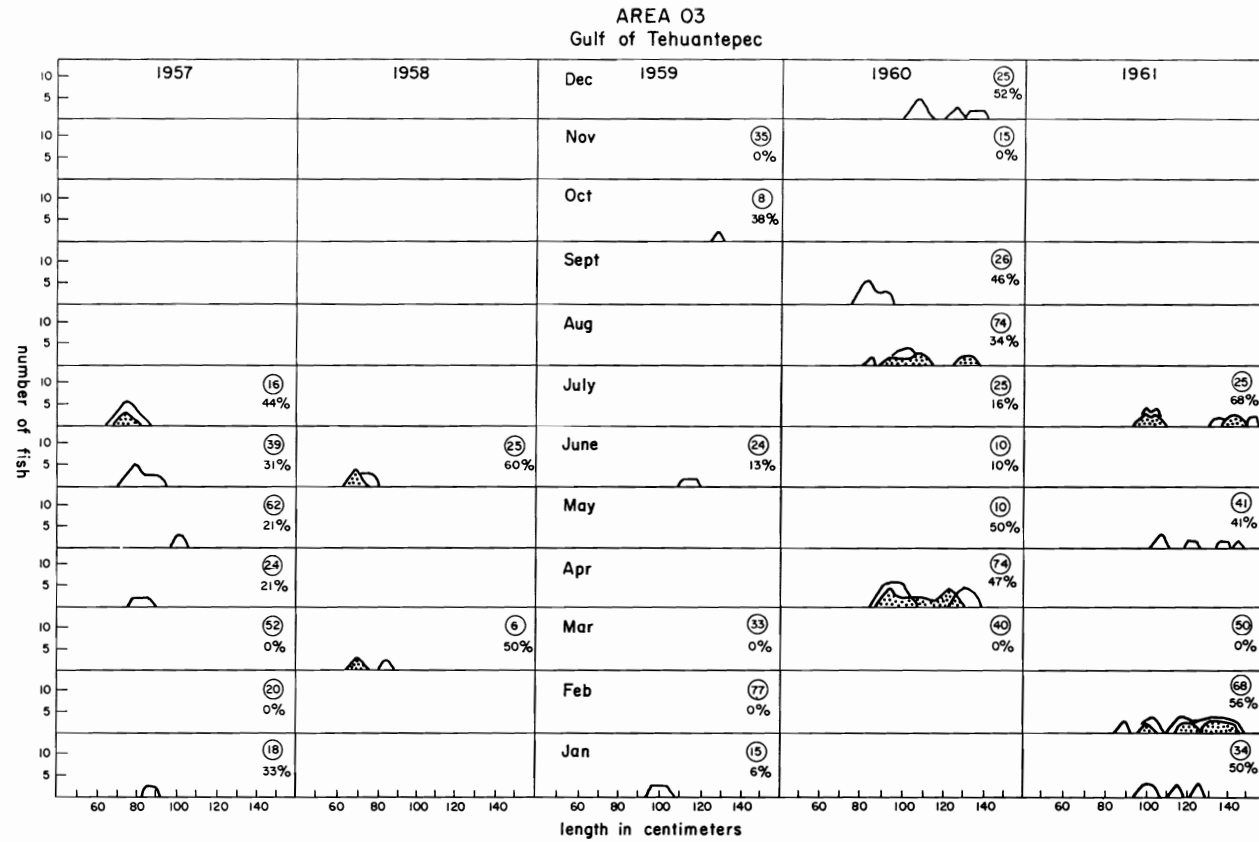


FIGURE 12. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 3 in 1957 through 1961.

FIGURA 12. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 3 de 1957 a 1961.

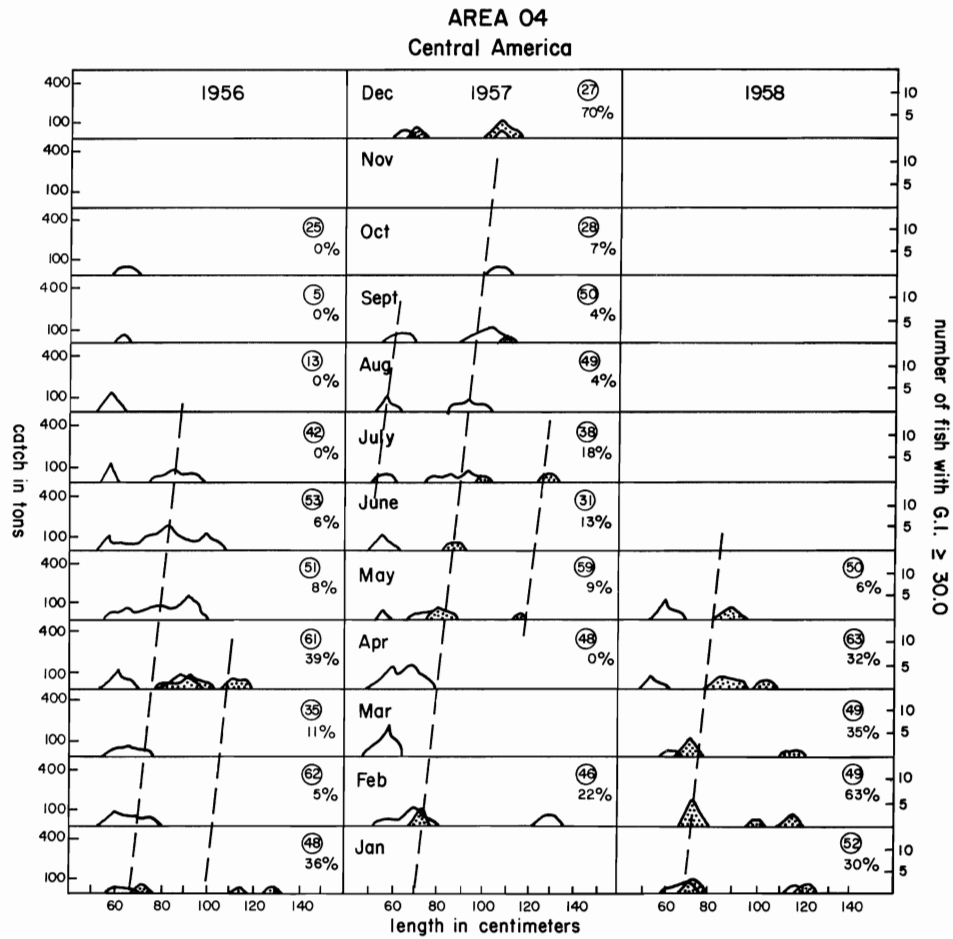


FIGURE 13. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 4 in 1956 through 1958.

FIGURA 13. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 4 de 1956 a 1958.

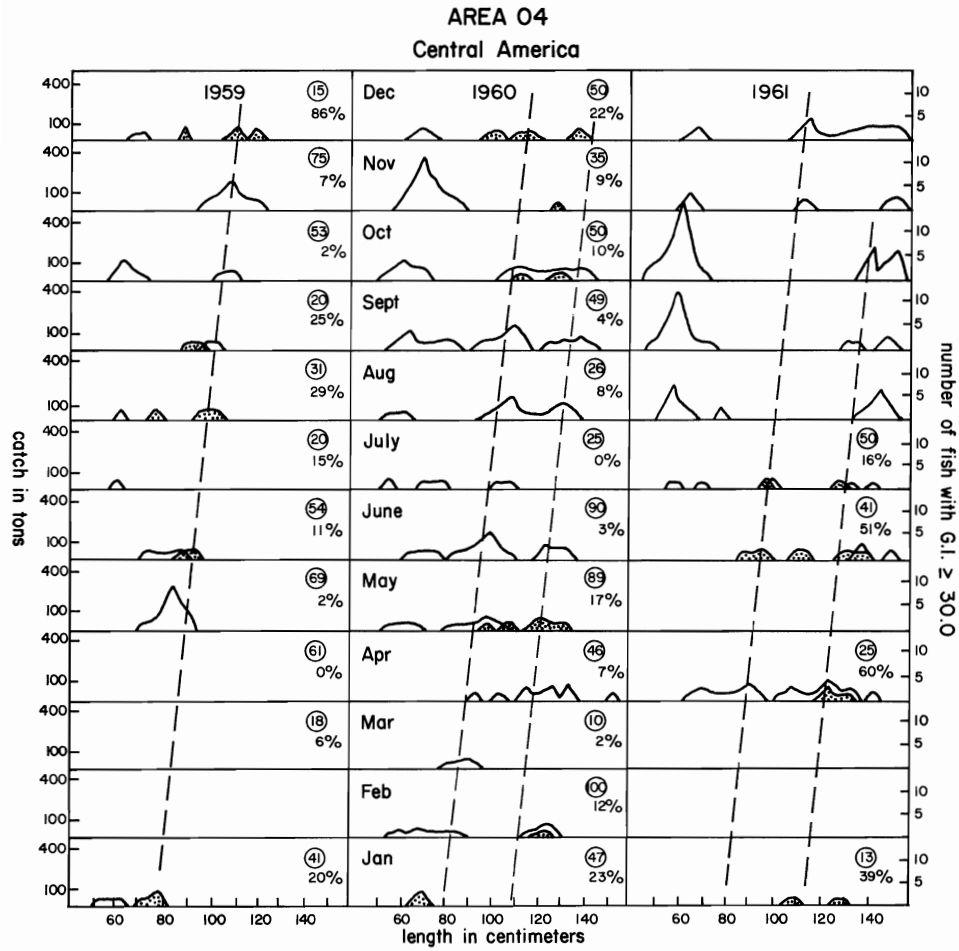


FIGURE 14. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 4 in 1959 through 1961.

FIGURA 14. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 4 de 1959 a 1961.

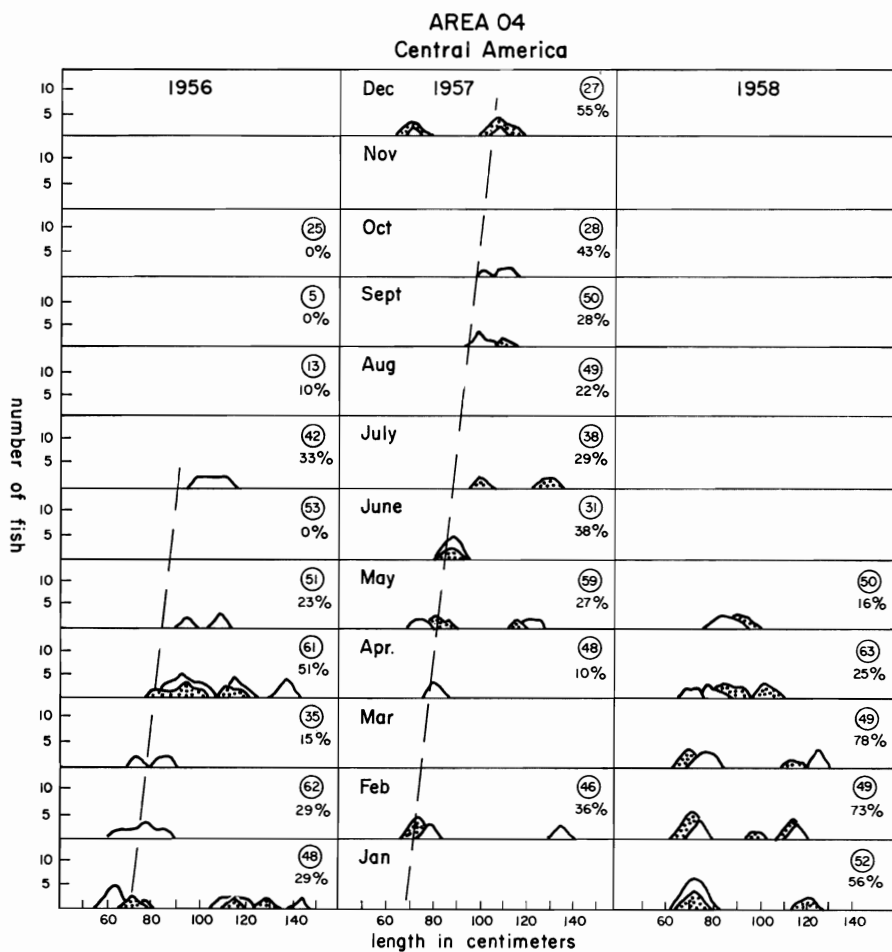


FIGURE 15. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 4 in 1956 through 1958.

FIGURA 15. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 4 de 1956 a 1958.

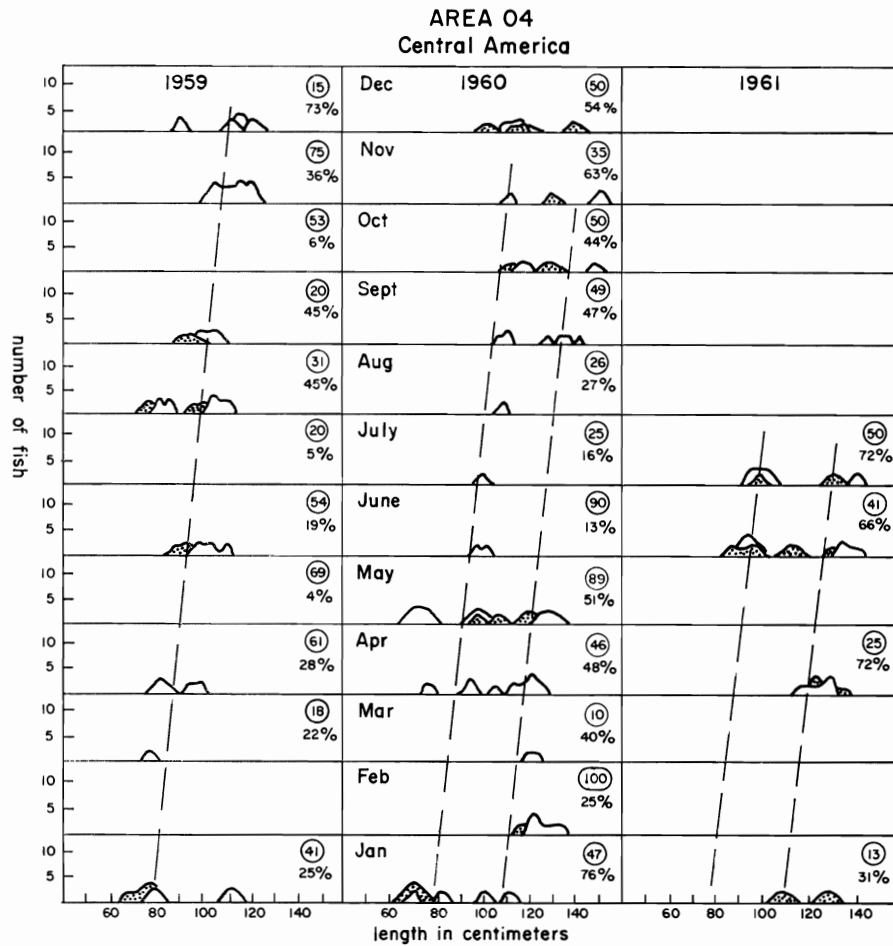


FIGURE 16. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 4 in 1959 through 1961.

FIGURA 16. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 4 de 1959 a 1961.

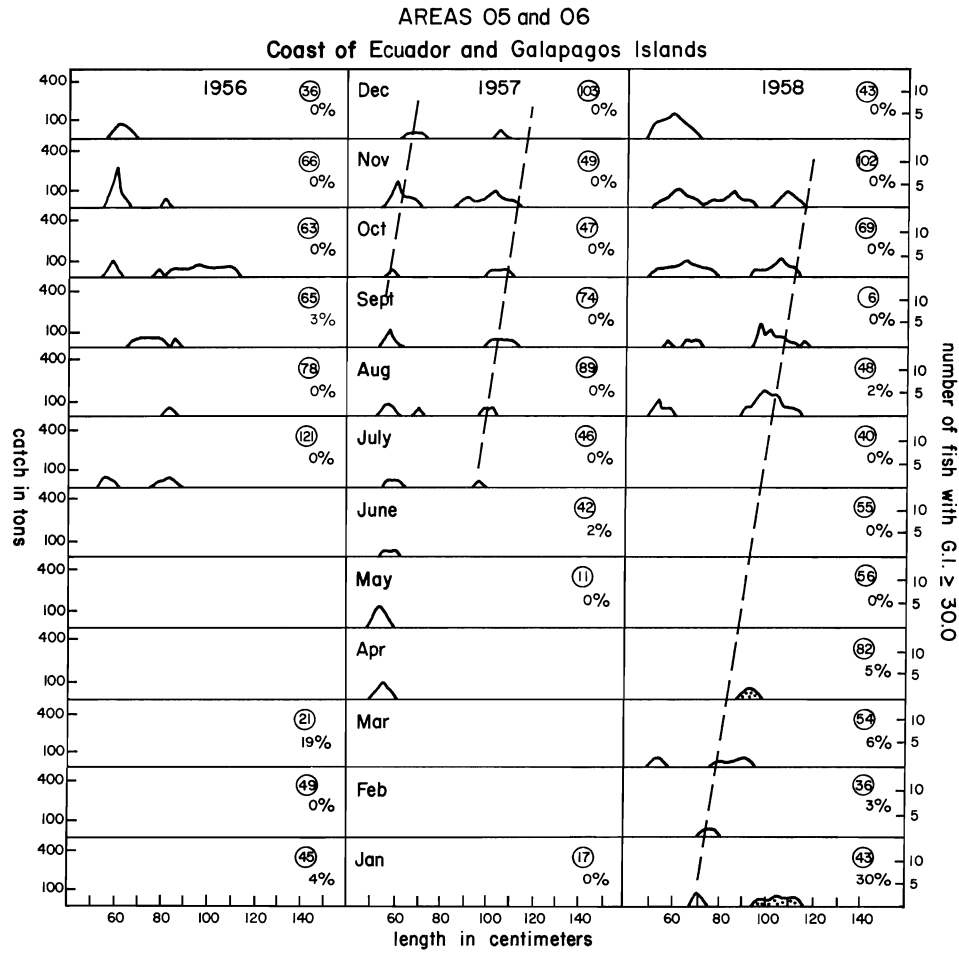


FIGURE 17. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Areas 5 and 6 in 1956 through 1958.

FIGURA 17. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de las Zonas 5 y 6 de 1956 a 1958.

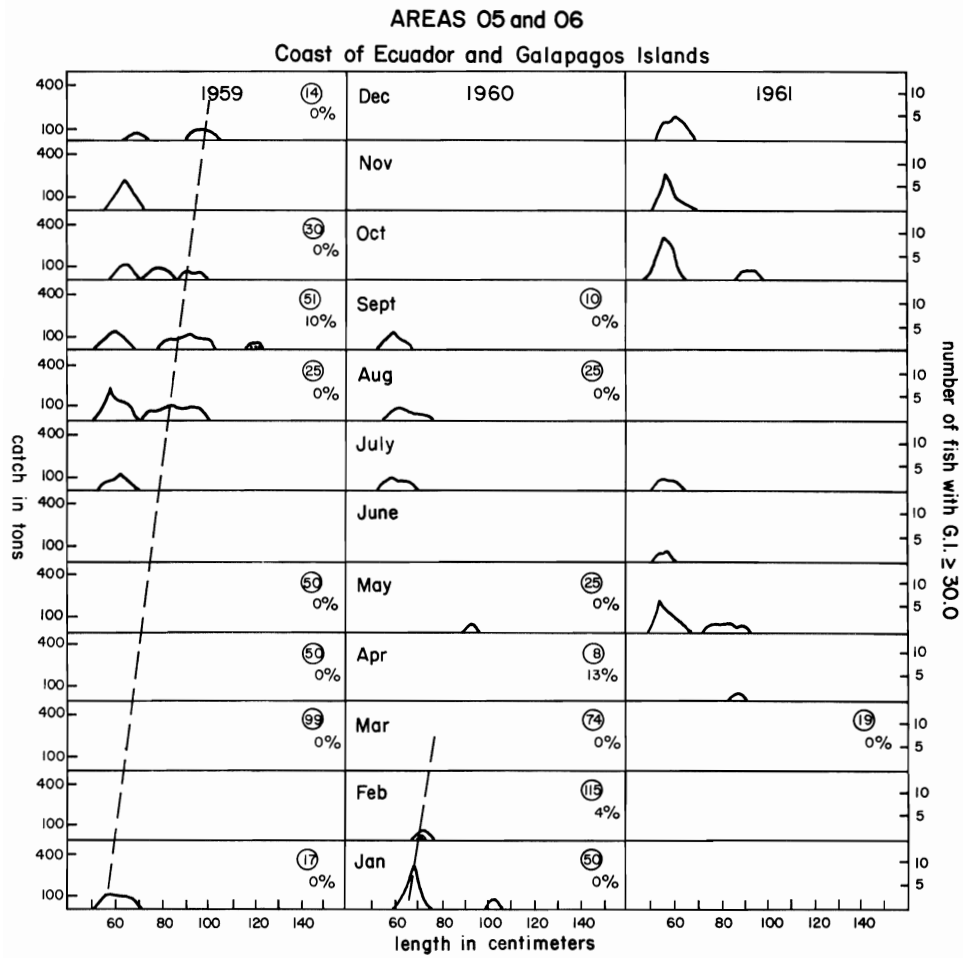


FIGURE 18. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 5 and 6 in 1959 through 1961.

FIGURA 18. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de las Zonas 5 y 6 de 1959 a 1961.

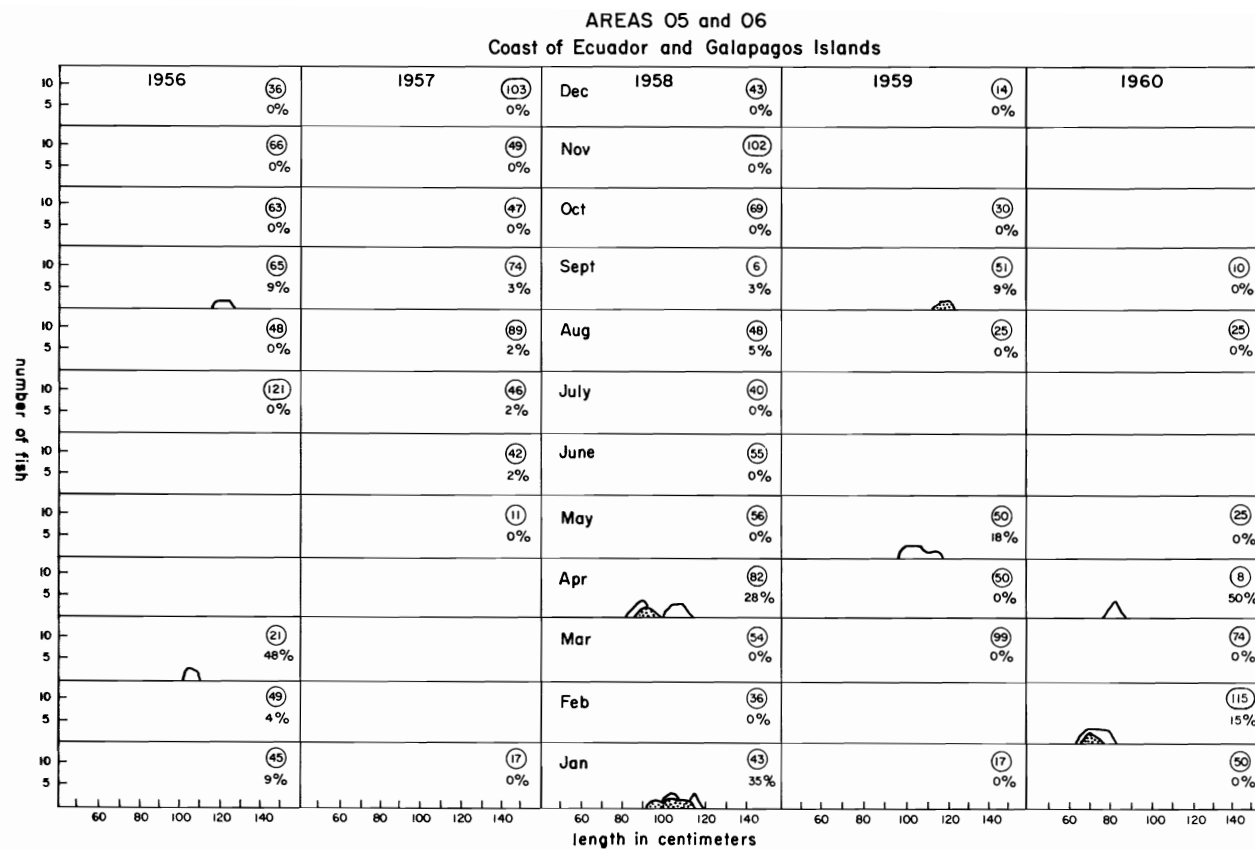


FIGURE 19. Smoothed length frequencies of post spawners (clear) and spawners (stippled) from Area 5 and 6 in 1956 through 1960.

FIGURA 19. Frecuencia de talla suavizada de los postreproductores (en blanco) y de los reproductores (punteada) de las Zonas 5 y 6 de 1956 a 1960.

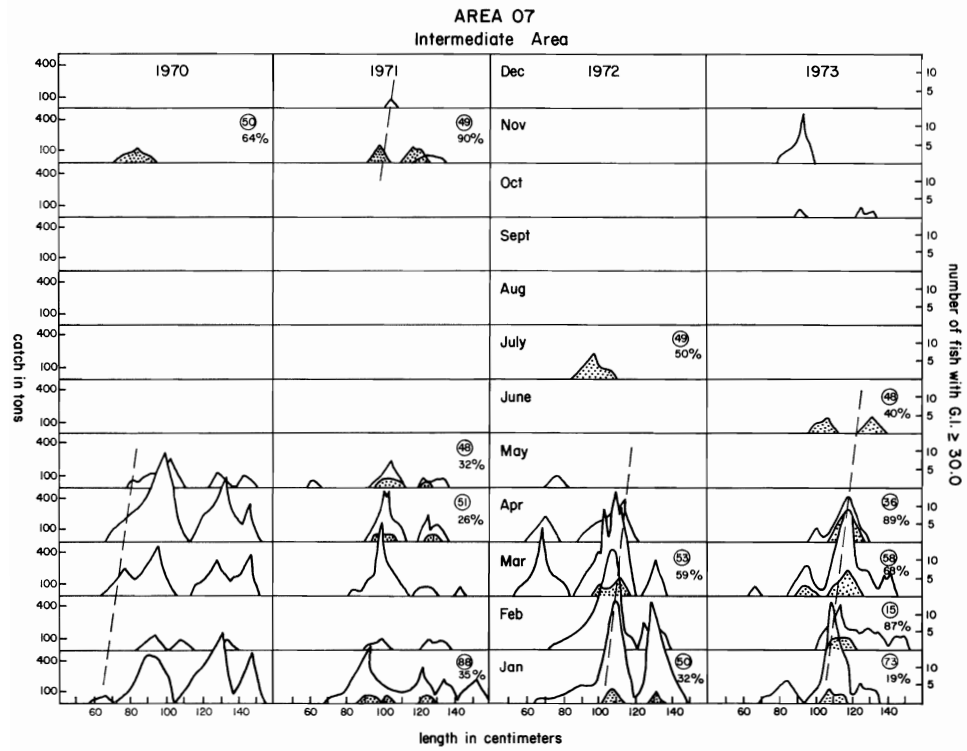


FIGURE 20. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 7 in 1970 through 1973.

FIGURA 20. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 7 de 1970 a 1973.

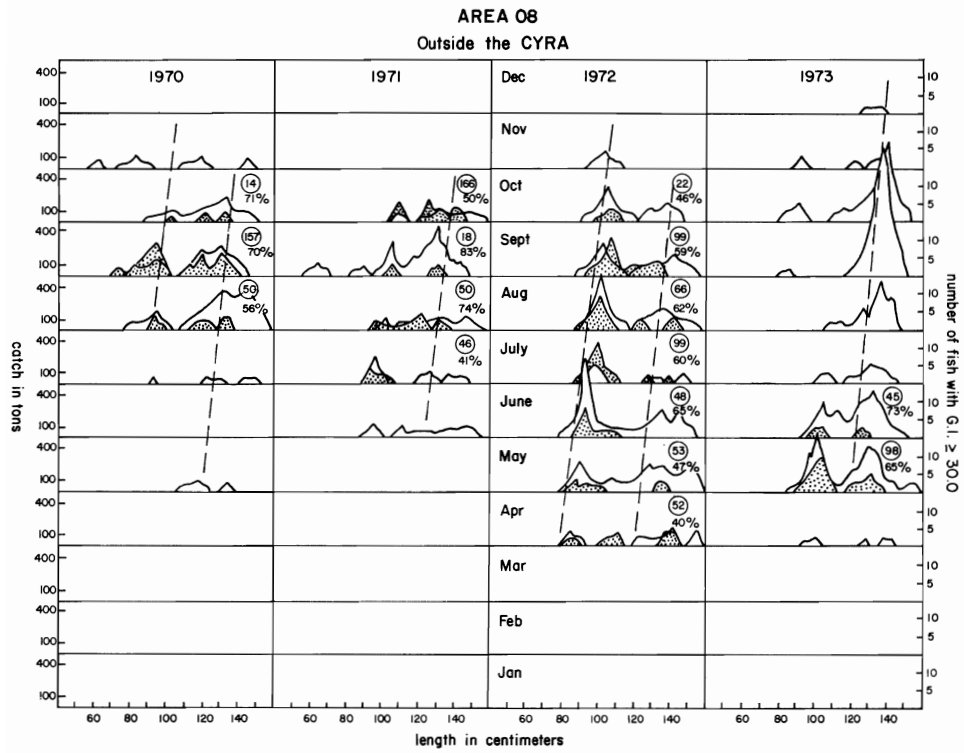


FIGURE 21. Smoothed length frequencies of monthly catches (clear) and spawners (stippled) from Area 8 in 1970 through 1973.

FIGURA 21. Frecuencia de talla suavizada de las capturas mensuales (en blanco) y de los reproductores (punteada) de la Zona 8 de 1970 a 1973.

TABLE 1. The average ova diameter (N=50), and description of the ova from seven ovaries in all stages of sexual maturity.**TABLA 1.** El promedio del diámetro de los óvulos (N=50) y descripción de los óvulos de siete ovarios en todas las etapas de madurez sexual.

Average ova diameter (MM)	Variance	Gonad index	Description of the ova
Promedio del diámetro de los óvulos (mm)	Varianza	Indice gonosomático	Descripción de los óvulos
—	—	10.5	none could be teased free — no se pudo desprender ninguno
.49	.003	20.8	opaque, not easily teased free, no distinct yolk granules — opacos, no se pudieron desprender fácilmente, no se distinguen los gránulos en la yema
.60	.010	30.0	opaque, easily teased free, distinct yolk granules — opacos, se desprenden fácilmente se distinguen los gránulos en la yema
.72	.011	34.1	opaque, easily teased free, oil globule present — opacos, se desprende fácilmente, el glóbulo de aceite está presente
.73	.007	40.3	translucent, distinct oil globule — tránslucidos, se distingue el glóbulo de aceite
.77	.003	50.6	translucent, large central oil globule— tránslucidos, glóbulo de aceite grande y central.
.98	.008	68.6	translucent, large central oil globule — tránslucidos, glóbulo de aceite grande y central.

TABLE 2. Analysis of variance test of the differences between average gonad indices of purse-seine and baitboat samples, and the date and location of capture of each sample. The areas of capture are I.A.T.T.C. statistical areas shown in Figure 3.

TABLA 2. Análisis de la prueba de la varianza de las diferencias entre el promedio del índice de las gónadas de las muestras capturadas por embarcaciones cerqueras y de carnada, fecha y localidad de captura de cada muestra. Las zonas de captura son las zonas estadísticas de la CIAT, presentadas en la Figura 3.

Vessel type	Area of capture	Date of capture	Sample size*	Average fork length (cm)	Average gonad index
Tipo de barco	Zona de captura	Fecha de captura	Magnitud de la muestra*	Promedio de la longitud de horquilla (cm)	Promedio del índice gonosomático
purse seiner cerquero	15-110-20	10/25-26/56	33	101	10.3
baitboat carnada	15-110-20	10/22-23/56	22	103	11.8
purse seiner cerquero	15-110-21	6/6/56	25	108	13.7
baitboat carnada	15-110-21	6/12-18/56	19	102	9.8
purse seiner cerquero	15-110-16,20	8/9-10/56	30	119	27.8
baitboat carnada	15-110-16,20	8/3-4/56	25	106	24.7
purse seiner cerquero	05-85-03	1/8/60	25	86	16.2
baitboat carnada	05-85-03	1/4/60	23	72	22.9
purse seiner cerquero	05-80-20,25	6/27-29/60	23	98	11.9
baitboat carnada	05-80-20	6/2-7/60	25	96	10.3

*Number of fish - Número de peces

Source—Origen	d.f. — g.l.	S.S	M.S.	F
blocks—bloques	4	368.3	92.1	
gear type—tipo de arte	1	0.2	0.2	0.02
residual	4	36.6	9.2	
total	9	405.6		

TABLE 3. Analysis of variance test of the difference between average gonad indices of porpoise and non-porpoise samples, and the date and location of capture of each sample. The areas of capture are IATTC statistical areas shown in Figure 3. The asterisk indicates significance at the .05 level.

TABLA 3. Análisis de la varianza de la diferencia entre el promedio del índice gonosomático de las muestras asociadas y no asociadas con delfines, fecha y localidad de captura de cada muestra. Las zonas de captura son las regiones estadísticas de la CIAT presentadas en la Figura 3. El asterisco indica la importancia al nivel de .05.

School type	Area of capture	Date of capture	Sample size*	Average fork length (cm)	Average gonad index
Tipo de cardumen	Zona de captura	Fecha de captura	Magnitud* de la muestra	Promedio de la longitud de horquilla (cm)	Promedio del índice gonosomático
porpoise delfines	10-105-25	2/27-3/5/73	25	109	44.8
non-porpoise no delfines	10-105-05	2/28-3/8/58	37	108	34.1
porpoise delfines	05-105-25	1/12/73	27	98	12.4
non-porpoise no delfines	10-105-05	1/16-28/60	25	93	11.0
porpoise delfines	15-110-01,03	2/5-12/73	40	113	48.0
non-porpoise no delfines	15-110-21	2/10-20/57	17	108	10.3
porpoise delfines	10-105-14,19	4/4-11/73	22	113	32.9
non-porpoise no delfines	10-105-05	4/3-4/60	33	109	14.9
porpoise delfines	10-110-12,13	3/6-8/73	14	117	46.7
non-porpoise no delfines	10-105-05	3/25-26/60	25	95	18.6

*Number of fish — Número de peces

Source—Origen	d.f.—g.l.	S.S.	M.S.	F
blocks — bloques	4	869.1	217.3	
school type — tipo cardumen	1	919.7	919.7	9.06*
residual	4	406.0	101.5	
total	9	2194.8		

*significant at the 5-percent level — significativo al nivel del 5 por ciento

DESOVE DEL ATUN ALETA AMARILLA Y DISCRIMINACION DE LAS SUBPOBLACIONES¹

por

Phyllis Farrington Knudsen

EXTRACTO

Se examinó el desove del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental para averiguar la existencia de subpoblaciones separadas en esta zona. La investigación genética bioquímica del aleta amarilla indica que existen varios grupos genéticamente distintos en el Pacífico oriental. Además, el aleta amarilla pertenece a dos cohortes de reclutamiento X e Y, formadas por una mezcla de estos grupos genéticamente diferentes. Los datos del desove fueron obtenidos de 1956 a 1961, en las regiones neríticas de pesca y desde 1970 a 1973, en las áreas oceánicas de pesca. Se analizaron los aspectos temporales y espaciales del desove de los peces de las dos cohortes, para determinar si el comportamiento reproductor del aleta amarilla, apoya la existencia de subpoblaciones genéticamente diferentes.

Se derivó la condición del desove según la madurez de los ovarios. Se encontró que los peces costeros de cada cohorte exhibían por lo menos dos períodos anuales de desove que varían en duración y fecha de ocurrencia de un año a otro. Los peces capturados en las regiones oceánicas de pesca no exhibieron este patrón variable de desove. Aunque o se consiguieron muestras en todos los meses, los datos indican que cada cohorte tiene un período de desove por lo menos de 7 meses y puede que desoven durante todo el año. Las muestras de las regiones oceánicas tuvieron porcentajes mucho mayores de reproductores que los de las zonas neríticas.

Las diferencias temporales en el desove no sirven para explicar la presencia de grupos genéticamente separados que se encuentran en la pesca, ya que los peces de ambas cohortes de reclutamiento desovan al mismo tiempo. Además, los peces de ambas cohortes (X e Y) desovan en todas las zonas examinadas; sin embargo, estos datos no son suficientes para determinar si el aislamiento de los grupos de desove ocurre en las zonas.

INTRODUCCION

Es importante conocer la estructura de la población del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental, para poder

¹Estudio adaptado según una tesis presentada para obtener el grado de Maestría en Ciencias en San Diego State University.

administrar apropiadamente este recurso. Las investigaciones de la genética bioquímica (Sharp, 1972) indican que existen varias subpoblaciones en esta pesca. Los vocablos, población, subpoblación y existencia, conforme se emplean en este informe, se definen en la forma siguiente: *población*—todos los individuos de una especie cuando no hay subespecies (Joseph y Calkins, 1969); *subpoblación*—la fracción de una población que se sostiene genéticamente a sí misma (Marr, 1957); *existencia*—parte de una población que habita generalmente una localidad geográfica determinada, cuyos miembros se caracterizan por ciertas similitudes que no son necesariamente hereditarias (Joseph y Calkins, 1969). El aislamiento del grupo de desove, ya sea temporal, espacial o fisiológico, es esencial para mantener las subpoblaciones. El mecanismo fisiológico del aislamiento no ocurre probablemente en los atunes, debido a su método de reproducción. Por lo consiguiente, se examinaron las diferencias temporales y espaciales de los grupos de desove para tratar de determinar si las subpoblaciones genéticamente independientes se mantienen mediante estos métodos de aislamiento.

Además de estos grupos genéticamente diferentes, el aleta amarilla del Pacífico oriental pertenece a dos cohortes de reclutamiento (Hennemuth, 1961). La cohorte X de reclutamiento entra en la pesca durante el primer semestre del año y la cohorte Y durante el segundo semestre del año (Davidoff, 1969). Cada cohorte está formada por una mezcla de grupos genéticos diferentes (Sharp, 1972). Con el fin de examinar el aislamiento del grupo de desove, es necesario asignar los peces reproductores a cohortes y generaciones de un mismo año. Cuando se han identificado los reproductores de las cohortes X e Y, se pueden determinar los hábitos de desove anuales de estos grupos en diferentes zonas pesqueras, para averiguar si las zonas y fechas de desove de estos dos grupos son diferentes.

AGRADECIMIENTO

Deseo darle las gracias al Sr. Patrick K. Tomlinson por los programas de cómputo usados en este análisis y los consejos útiles que me dió durante todo este estudio.

Además estoy reconocida al Dr. William H. Bayliff, al Sr. Eric D. Forsbergh y al Sr. Clifford L. Peterson, por las muchas sugerencias útiles sobre el manuscrito.

MÉTODOS

Se obtuvieron las muestras de atún aleta amarilla de embarcaciones de carnada y cerqueras cuando estaban descargando en las enlatadoras en Terminal Island y San Diego (California), en Manta (Ecuador) y Mancora (Perú). La fecha exacta y la localidad de captura de los peces de cada muestra se obtuvo del cuaderno de bitácora del barco y se midió y anotó la

longitud de horquilla de los peces. Cuando fue necesario se descongelaron los peces y luego se abrió la cavidad del cuerpo para determinar el sexo. Si el pez era hembra, se sacaron los ovarios y se almacenaron congelados para examinarlos más tarde.

Se obtuvieron datos de dos series. Desde 1956 a 1961, se trató de obtener una muestra mensual de 50 hembras en 13 zonas del Pacífico oriental (Figura 1). Como no se pesca en cada una de estas zonas durante todo el año, no se obtuvo la cantidad potencial de peces, obteniéndose en total unos 8,000. Se estableció una talla mínima de los peces para obtener los ovarios, basada en los cálculos de Schaefer y Orange (1956) de la talla durante el primer desove. En las regiones del norte (Figura 2, zonas 1 y 2) se estableció una talla mínima de 80 cm y en el resto de las zonas se obtuvieron peces de 70 cm de longitud de horquilla.

Se obtuvo la segunda serie de datos de 1970 a 1973, en la zona al oeste de la región nerítica original de pesca, ya que las maniobras de pesca se habían extendido a esta región (Figura 1). Los ejemplares fueron procesados en la misma forma que lo fueron las primeras muestras, excepto que no se estableció una talla mínima para la colección. Se obtuvieron aproximadamente 2,000 hembras en esta región.

Examen gonosomático

Los ovarios almacenados, fueron descongelados y luego se pesaron en una balanza de cruz al 0.1 gramo más próximo. Se abrieron luego los ovarios para determinar si se encontraban óvulos sueltos en el lumen. Los peces de la primera serie de datos se clasificaron como postreproductores si los ovarios contenían óvulos sueltos en el lumen y todos los demás peces fueron clasificados como prerreproductores. Los peces de la segunda serie de datos se clasificaron como postreproductores, solo si tenían óvulos sueltos en el lumen y ovarios flácidos. Es posible que los peces con óvulos sueltos en el lumen y ovarios túrgidos pueden desovar otra tanda de huevos (June, 1953). Por lo consiguiente los peces con ovarios túrgidos, clasificados como postreproductores en la primera serie de datos pueden haber estado en el proceso de desove o iban a desovar otra tanda de huevos, mientras que los clasificados como postreproductores en la segunda serie de datos con ovarios flácidos se consideraron que habían terminado el desove. De ahora en adelante, se define en este estudio a los postreproductores como todos aquellos peces con óvulos sueltos en el lumen prescindiendo de la condición de los ovarios.

El índice gonosomático

La madurez de las gónadas fue determinada mediante un índice gonosomático, que viene siendo la relación numérica entre el peso de ambos ovarios y la longitud del pez. Se define:

$$\text{I.G.} = \frac{P \times 10^8}{L^3}$$
 donde el I.G. = índice gonosomático, P = peso de ambos ovarios en gramos y L = longitud de horquilla en cm.

Chatwin (1959) calculó la relación peso-longitud del aleta amarilla de todas las zonas del Océano Pacífico oriental y encontró que el coeficiente de regresión de los logaritmos del peso en los logaritmos de longitud era 3.02. Como la longitud es una medida más sencilla de obtener cuando se hace el muestreo en las fábricas enlatadoras, se usó la longitud cúbica de los peces, en lugar del peso, al calcular el índice gonosomático.

El grado de madurez sexual se determina más exactamente según la frecuencia de distribución del diámetro de los óvulos, observando el tamaño de los óvulos en la moda de más madurez (Yuen, 1955). Un método similar, empleado por Schaefer y Orange (1956), usó el 95 centesimal de la frecuencia de distribución del diámetro de los óvulos para indicar el tamaño de la moda más grande de los óvulos en desarrollo. Yuen, Schaefer y Orange, encontraron que el índice gonosomático estaba bien correlacionado con los diámetros modales de los óvulos. Este último estudio indicó además que la relación del índice gonosomático y el diámetro de los óvulos no varía con la talla de los peces y que el índice gonosomático era una medida confiable del grado de desarrollo de los óvulos (es decir, la madurez sexual) de los peces prereproductores. Sin embargo, los ejemplares en la categoría de postreproductores, tenían una amplia variación en el índice gonosomático.

Un índice de las gónadas de 30.0 o superior, indica que el desove es eminente. Esto se determinó al examinar los óvulos de los peces con índices gonosomáticos que fluctuaban de 10.5 a 68.6. Para examinar los óvulos, se cortó una pequeña sección de siete ovarios después de haberse pesado. La sección se obtuvo de la parte central, ya sea del ovario derecho o izquierdo. June (1953), descubrió que no había diferencia en madurez entre la región anterior, posterior o central de los ovarios. Yuen (1955), llegó a la misma conclusión, pero encontró que los óvulos cerca de las paredes del ovarios estaban menos desarrollados que los se encontraban cerca al lumen. Por lo consiguiente, se obtuvo una sección cerca al lumen. Los óvulos fueron luego desprendidos de los folículos (cuando fue posible) y se examinaron en un microscopio equipado con un micrómetro ocular. Se observó la apariencia de los óvulos y se midió el diámetro de 50 óvulos en cada ovario. Solo se midieron los óvulos más maduros (aquellos que fue posible desprender fácilmente), siendo el diámetro tomado de los óvulos paralelo a la escala microscópica.

Se encontró que los óvulos de peces con índices gonosomáticos de 30.0 o mayores tenían óvulos casi maduros o en plena maduración (Tabla 1). June (1953), definió un óvulo casi maduro como opaco, con granitos de yema y un diámetro de 0.59 a 0.76 mm. Un óvulo maduro (June, 1953)

es transparente, tiene una gota oleosa evidente y un diámetro de 0.76 mm o mayor.

Después de que los óvulos de una moda han alcanzado la madurez, es poco el tiempo antes de que ocurra el desove. Clark (1934), declaró que las sardinas (*Sardinops caerulea*) con óvulos maduros (0.7 en diámetro y transparentes) desovan en 3 o 4 semanas. Brock (1954) observó también que las últimas etapas de la madurez del atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) son transitorias, y Simpson (1959), declaró que la transición de la etapa casi madura (óvulos opacos) de maduración a la etapa de plena madurez (óvulos transparentes) de las anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) fue probablemente muy rápida y ocurrió poco tiempo antes del desove. En este estudio se supone que los peces con índices gonosomáticos de 30.0 o mayores desovan en el mes de captura y se refiere a ellos como reproductores.

Los peces clasificados como postreproductores con índices gonosomáticos mayores de 30.0 en la primera serie de datos, fueron analizados junto con los clasificados como reproductores ya que los primeros presumiblemente siguen en el estado de desove. Además, todos los peces clasificados como postreproductores de las dos series de datos, prescindiendo de los índices gonosomáticos, fueron analizados separadamente.

Identificación de los grupos reproductores

Con el fin de relacionar la magnitud de los grupos reproductores con las generaciones de un mismo año y las cohortes X e Y, se calculó el peso total de los peces de cada talla, capturados por embarcaciones de los que se obtuvieron datos utilizables de bitácora (Shimada y Schaefer, 1956), por mes y área de 5 grados, para 1956-1961 y 1970-1973. El método fue similar al empleado por Shingu, Tomlinson y Peterson (1974). Los datos básicos provinieron de muestras de 50 peces de embarcaciones individuales. Las tallas con intervalos de 2 cm de los peces en cada muestra, fueron multiplicadas por un factor para estimar la frecuencia de talla de todos los peces capturados por el barco susodicho en el mismo estrato de zona y mes. Esta segunda serie de datos frecuencia-talla fue combinada con series secundarias similares de frecuencia-talla obtenidas de otras embarcaciones que capturaron peces en el mismo estrato de zona-mes, y luego las frecuencias de talla combinadas se multiplicaron por otro factor para estimar la frecuencia-talla de todos los peces capturados en ese estrato zona-mes, por todas las embarcaciones de la flota de las que se obtuvieron datos útiles de bitácora. Las tallas en la tercera serie de frecuencia-talla se convirtieron a peso mediante la relación talla-peso estimada por Chatwin (1959):

$$\log_{10} p = 3.020 \log_{10} l - 7.410$$

en la que

l = longitud de horquilla en milímetros y

p = peso en libras

Esto hace que las modas de los peces grandes y pequeños sean casi iguales. Estos datos fueron luego suavizados por un promedio móvil de tres, dándole al intervalo del centro doble peso. Se combinaron las zonas de 5 grados con frecuencias similares en todos los meses de todos los años examinados, resultando las zonas presentadas en la Figura 2. Estos datos se indican como polígonos claros en las Figuras 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 20 y 21.

La frecuencia-talla de los reproductores, a intervalos de 1 cm, se suavizó por un promedio móvil de tres y luego se sobrepuso sobre las figuras anteriores como polígonos punteados. La cantidad de reproductores, encontrada en las muestras, aparece en cifras rodeadas por un círculo y los porcentajes de los peces muestreados que eran reproductores se colocan debajo de los círculos. Debido al procedimiento de suavización empleado, los reproductores individuales (*e.d.*, peces individuales) no aparecen en los gráficos aún si aparece el porcentaje. Si solo fueron muestreados unos pocos ejemplares en un estrato determinado de zonas, aparecen como polígonos punteados, si tenían la misma talla o tallas inmediatas, pero no de otra manera.

La frecuencia-talla de los postreproductores se procesó de la misma manera que la de los reproductores. Aparece como polígonos claros en las Figuras 6, 9, 12, 15, 16 y 19, junto con los polígonos punteados de los reproductores para los mismos años. Esto se hizo para ayudar a determinar las tallas en los períodos de desove y para averiguar si los peces permanecían o no en las zonas después del desove. Las cifras en círculos en estas figuras indican el tamaño de las muestras y los porcentajes debajo representan los de los peces muestreados que eran postreproductores.

Las posiciones de las modas de los peces de las cohortes X e Y se determinaron según las definiciones de Hennemuth (1961). Se aplicó a los datos el índice siguiente de crecimiento (CIAT, 1974): Zonas 1, 2 y 3, 3.59 cm por mes; Zona 4, 3.04 cm por mes; Zonas 5 y 6, 4.26 cm por mes. No se han estimado los datos del índice de crecimiento de las Zonas 7 y 8, pero parece que el crecimiento en esas regiones es similar al de las Zonas 1, 2 y 3, así que se supuso que era igual. Estos índices de crecimiento se sobreponen como líneas a puntos en las frecuencias de peces de la cohorte X en las Figuras 4-21. Los peces de la cohorte Y aparecen en las figuras con modas de 20 cm más pequeñas o grandes que las de los peces de la cohorte X.

COMPARACION DE LAS MUESTRAS DE ACUERDO A LAS ARTES DE PESCA Y TIPO DE CARDUMEN

Las muestras usadas en este estudio se obtuvieron en capturas de dos tipos de embarcaciones pesqueras, embarcaciones de carnada y cerqueras. Las muestras provienen también de dos tipos de cardúmenes (cardúmenes

asociados con delfines y no asociados), representando diferentes métodos de pesca. Antes de analizar los datos con relación al tiempo y zonas de desove, se observó primero para ver si los dos tipos de artes pesqueras o las dos clases de cardúmenes de los que provinieron las muestras influían en la madurez sexual.

Para determinar si el tipo de arte influye en la madurez sexual de la muestra, se compararon cinco pares de muestras de los dos tipos de embarcaciones. Cada par de muestras fue capturado en la misma área de 1 grado durante el mismo mes y tenían peces con longitudes similares de horquilla. Se supuso que las muestras eran de cardúmenes no asociados con delfines, ya que se habían obtenido muy cerca del litoral o de las islas. Los datos referentes a las muestras se presentan en la Tabla 2.

Se empleó un análisis de la varianza para examinar las diferencias entre el promedio de los índices gonosomáticos de los peces capturados por embarcaciones cerqueras y de carnada. Se empleó un diseño de un bloque aleatorio, siendo las zonas los bloques. Se probaron los datos también para ver si eran normales, usando la prueba de la bondad del ajuste del ji-cuadrado y no se descubrió ninguna desviación de lo normal. No se encontraron tampoco disimilitudes en la varianza de las muestras. Los resultados (Tabla 2) del análisis de la varianza no indican diferencias en la madurez sexual de los peces capturados por embarcaciones cerqueras o de carnada.

Se volvió a comparar por segunda vez la madurez sexual entre las muestras asociadas y no asociadas con delfines. Se utilizaron cinco pares de muestras obtenidas en la misma zona de 5 grados (Tabla 3). Las únicas regiones en las que se obtuvieron muestras asociadas y no asociadas con delfines fueron las islas Revillagigedo y Clipperton. Las muestras con delfines de estas áreas se obtuvieron en 1973, pero en ese año no se consiguieron muestras no asociadas con delfines. Todas las muestras no asociadas con delfines, de esas áreas, fueron obtenidas desde 1956 a 1960, así que se colectó cada par de muestras en el mismo mes pero no en el mismo año. Además, las muestras asociadas con delfines provinieron de zonas algo más alejadas de las islas que las muestras no asociadas, ya que los delfines no se congregan en grandes cardúmenes cerca a las islas.

Se empleó el análisis de la varianza (modificado según un diseño de bloques aleatorizados) para descubrir las diferencias en el promedio del índice de las gónadas de las muestras con y sin delfines. Cada zona de 5 grados fue procesada como un bloque. Se probaron las muestras para ver si la varianza era normal y homogénea. No se descubrió desviación de la normalidad u homogeneidad. En la Tabla 3, se indica que las muestras asociadas con delfines tenían un promedio significativamente más alto en el índice gonosomático que las muestras no asociadas con delfines. Se cree que se compararon suficientes muestras para eliminar las diferencias en

el promedio del índice gonosomático, causadas por la comparación de los diferentes años. Es posible que los delfines proporcionen alguna ventaja a los atunes en el desove y que por esta razón los atunes se asocien a los delfines. Es también posible que los atunes prefieran las aguas más alejadas de la costa (donde se encuentran los delfines) para desovar y se asocien con los delfines por otras razones. Estos resultados no afectan el análisis de las zonas y tiempo de desove, pero son importantes porque pueden servir para interpretar las razones del comportamiento de la asociación atún-delfín.

RESULTADOS

La frecuencia-talla de los reproductores se comparó primero con la frecuencia-talla en la captura para determinar que cohortes de reclutamiento se encontraban en las zonas presentadas en la Figura 2 y cuántas generaciones de un mismo año se encontraban presentes. Después de que se identificaron las cohortes de reclutamiento, se determinó el patrón del desove anual de las cohortes, la duración y los máximos del período(s) de desove. Se averiguó para cada región la duración y el período de desove mediante el número de meses consecutivos que los reproductores se encontraron en las muestras y se eligió el máximo como el mes con el porcentaje más alto de reproductores.

La frecuencia-talla de los postreproductores fue también examinada por zonas para corroborar el mes o meses máximo(s) de desove y el final del período de desove, y para determinar cuánto tiempo permanecieron los reproductores en la región después del desove.

Zona 1: Islas Revillagigedo

Las frecuencias de talla en la captura indican que una cohorte, la X, predomina en esta zona, aunque la cohorte Y se encuentra también en algunas de las muestras (Figura 4). La cohorte X presenta un fuerte período de desove en el verano que dura de julio a septiembre. El máximo del período de desove es en agosto; en 1956, el 60% de los peces en las muestras desovaron en ese mes, el 66% en 1957 y el 88% en 1958. Los reproductores de la cohorte Y aparecen también en los meses de verano, pero no tan frecuentemente como los del grupo X. Aparece un componente de desove invernal en febrero de 1960 (Figura 5) y en febrero de 1973 (no se presenta). Otra indicación de que el desove no ocurre solamente en los meses de verano es presentada por las muestras de los ovarios, obtenidas por palangreros japoneses. Se encontraron en esta zona peces con altos índices gonosomáticos en el último trimestre del año (Ziro, Suzuki, Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japón, comunicación personal).

La frecuencia de talla de los postreproductores (Figura 6), indica por el alto porcentaje de éstos en las muestras después del período de desove que los reproductores permanecen en el área después del desove. Los meses con los porcentajes más altos de postreproductores son agosto y septiembre, lo que indica aún más, el máximo del desove. Los porcentajes de los postreproductores permanecen altos 3 y 4 meses después del máximo, lo que muestra posiblemente que si un pez desova solo una tanda de huevos, entonces se necesitan por lo menos 4 meses para volver al estado pre-reproductor de madurez.

Zona 2: Las islas Tres Mariás y el sur de México

La cohorte X es el grupo dominante en esta área desde 1956 a 1958, apareciendo vigorosamente un grupo de edad y ocasionalmente dos grupos de edad (Figura 7). La frecuencia de tallas en la captura de 1959 a 1961, indica que ambos grupos estuvieron en el área, apareciendo el grupo Y vigorosamente en las muestras (Figura 8). La complejidad de la frecuencia de tallas en la captura, de 1959 a 1961, se debe probablemente a dos factores: al aumento en la captura total, que ascendió de 140.5 millones de libras en 1959 a 244.3 millones de libras en 1960, en el Océano Pacífico oriental, y al reacondicionamiento de la mayoría de las embarcaciones de carnada a redes de cerco que capturan grupos de peces con tallas menos homogéneas (Calkins, 1965).

No se obtuvieron muestras de gónadas en esta zona en 1956, pero las frecuencias de talla de los reproductores en 1957 y 1958, indican que los peces del grupo X desovan por lo menos dos veces al año (Figura 7). En 1957 hubo allí grandes porcentajes de reproductores en el invierno (enero y febrero), con una reducción en el número de reproductores en marzo. El porcentaje de los reproductores ascendió de nuevo en junio y julio y declinó en octubre y luego aparecieron de nuevo en noviembre. En 1958, existe una pauta similar de reproductores en el verano e invierno, pero se obtuvieron muy pocas muestras consecutivas para determinar si el desove ocurre también en otras épocas del año. La cohorte Y no aparece en las muestras tan frecuentemente como el grupo X, así que no puede percibirse un patrón de desove, pero los reproductores de la cohorte Y siempre aparecen en las muestras con reproductores de la cohorte X. La frecuencia de talla en el resto de los años es más difícil de interpretar, ya que ambas cohortes X e Y aparecen vigorosamente en las muestras y las modas frecuencia-talla son difíciles de separar. La frecuencia de talla (Figura 8) indica una pauta similar de varias épocas de desove por año, pero estos períodos varían en duración y época de ocurrencia de un año a otro.

La frecuencia de talla de los postreproductores apoya la pauta esporádica de los períodos de desove. Además, muchos meses presentan postreproductores después del período de desove, lo cual indica que los reproductores permanecen en la región después del desove.

Zona 3: El Golfo de Tehuantepec

Al contrario de las Zonas 1 y 2, los reproductores aparecen en la Zona 3 solo infrecuentemente. La frecuencia de talla (Figuras 10 y 11) indica que tanto la cohorte X como la Y se encuentran en esta área, pero no hay modas consecutivas de reproductores. Además, solo se obtuvieron unas pocas muestras que contenían altos porcentajes de reproductores, lo cuál indica que esta zona no es una región principal de desove.

La frecuencia-talla de los postreproductores indica una pauta similar, es decir, hay modas aisladas e inconsecutivas de los peces (Figura 12). En los meses en los que los reproductores fueron capturados, se obtuvieron también postreproductores de las mismas tallas; sin embargo, en varios meses siguientes no aparece la moda correspondiente de los postreproductores. Esto puede indicar que los reproductores no permanecen en la región después del desove como lo hicieron en las Zonas 1 y 2.

Zona 4: La América Central

Como en la Zona 2, la frecuencia de talla de los reproductores en la Zona 4 (Figuras 13 y 14) indica por los menos dos períodos de desove en cada año. El comienzo, los máximos y la duración de los períodos de desove variaron de un año a otro en esta región. En 1957, 1959 y 1960, hubo dos períodos de desove por año, con un máximo invernal en diciembre, enero y febrero, una reducción en el número de reproductores en marzo y/o abril, y máximos de desove estival en julio de 1957, agosto de 1959 y mayo de 1960. Los otros años presentan más períodos esporádicos de desove que varían en duración y máximo de un año a otro. Los peces de ambas cohortes X e Y desovan en esta zona al mismo tiempo. Los reproductores de la cohorte Y aparecen en muchas de las muestras con la cohorte X, pero se obtuvieron muy pocas modas consecutivas de este grupo para determinar si existía una pauta en los períodos de desove.

La frecuencia de talla de los postreproductores presenta una pauta esporádica de porcentajes altos y bajos de postreproductores en esta región (Figuras 15 y 16). Parece que los reproductores permanecen en la zona después del desove, ya que las modas correspondientes de los postreproductores ocurren en los meses siguientes. Frecuentemente los porcentajes de los postreproductores permanecen muy altos durante varios meses después del máximo del desove, lo que indica que se necesitan varios meses para que los óvulos que no han sido desovados sean reabsorbidos en el lumen, y es este fenómeno el que puede ser la causa de los porcentajes altos y bajos mucho más esporádicos de los postreproductores que de los reproductores.

Zonas 5 y 6: La Costa de Ecuador y las Islas Galápagos

La frecuencia de talla de las Zonas 5 y 6 se combinaron ya que

mostraban frecuencia de talla mensuales, similares en todos los años muestreados. Como puede verse en las Figuras 17 y 18, solo cuatro muestras de estas zonas contienen grandes porcentajes de reproductores. La cohorte X es el grupo más sobresaliente en los años examinados, pero es difícil identificar los grupos en algunos años, porque las modas de los peces no progresan en talla. Probablemente esto se deba a la emigración continua de la región de grandes peces y su reemplazo mediante el continuo reclutamiento de pequeños peces. La falta de reproductores indica que estas zonas no son regiones importantes de desove. Se capturaron tres muestras con alto porcentajes de reproductores al sur de las Islas Galápagos en 1973 (no se presentan), así que tal vez esta región sea una zona importante de desove que debe muestrearse más extensivamente.

La frecuencia de talla de los postreproductores (Figura 19) indica que éstos aparecen esporádicamente también. No se colectaron modas consecutivas de los postreproductores, así que tal vez los peces se desplazan rápidamente fuera del área después del desove.

Zona 7. Zona Intermedia

La cohorte Y dominó en esta zona en 1970 y 1971, mientras que el grupo X dominó en las muestras de 1972 y 1973 (Figura 20). Se obtuvieron las muestras en esta zona solo de enero a junio y en noviembre, pero a diferencia de la región nerítica, cada muestra tenía un porcentaje muy alto de reproductores. Los de esta zona no exhiben períodos esporádicos de desove como los de la región nerítica. Se encontraron peces con altos índices gonosomáticos en todos los meses muestreados. Shingu, Tomlinson y Peterson (1974) encontraron evidencia de que existe desove durante todo el año en esta región, al descubrir altos índices gonosomáticos en las muestras de los ovarios de peces capturados por embarcaciones palangreras japonesas, durante cada trimestre del año.

No se obtuvieron postreproductores en esta zona. Los peces colectados en esta región de 1970 a 1973, fueron definidos como postreproductores solo si tenían ovarios flácidos, indicando que habían terminado completamente el desove como se mencionó anteriormente. Como no se encontró ninguno, es posible que los peces en esa etapa aparecieran en los meses de verano, cuando no se colectaron muestras.

Zona 8: Fuera del ARCAA

La frecuencia de talla indica que dos grupos de edad de ambas cohortes, la X e Y, se encuentran fuera del Área Reglamentaria de la Comisión de Aleta Amarilla (ARCAA) (Figura 21). Ambos grupos desovan de abril a octubre. No se obtuvieron muestras en los otros meses, así que se desconoce el comportamiento del desove de peces durante esos meses. Esta zona, como la Zona 7, presenta un período continuo de desove

y las muestras incluyen, en promedio, porcentajes mucho más altos de reproductores que las muestras neríticas.

No se encontraron en esta región postreproductores, pero es posible que estuvieran en ese estado durante los meses de invierno cuando no se obtuvieron muestras.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las diferencias genéticas entre los grupos de atún aleta amarilla en el Pacífico oriental, indican la existencia de un mecanismo aislador que los mantiene. Las subpoblaciones pueden mantenerse separadas mediante diferencias temporales, solo si las cohortes X e Y desovan en diferentes épocas, pero en ninguna de las zonas examinadas, fue este el caso.

El aislamiento espacial de los grupos X e Y no parece ocurrir, ya que en todas las zonas estudiadas (Figura 2) desovaron los peces de ambas cohortes. Sin embargo, como no se conoce el genotipo de los peces que desovan, no puede determinarse si los componentes de separación genética de los grupos X e Y están segregando entre las zonas o tal vez regresando a sitios específicos de desove en las zonas. Por lo consiguiente estos datos son insuficientes para determinar si está ocurriendo el aislamiento espacial.

Diferencia del desove en las zonas neríticas y oceánicas

Las zonas principales neríticas de desove determinadas por estos datos son las Islas Revillagigedo, las Islas Tres Marias, la costa del sur de México y las costas de Costa Rica y Panamá. Estas zonas concuerdan con las determinaciones de las regiones de desove, basadas en la distribución de las larvas (Klawe, 1961). Además, la región oceánica muestreada tenía altas concentraciones de reproductores. Estas muestras fueron obtenidas en la vecindad de la Isla Clipperton y fuera del ARCAA desde 0° hasta los 10°N de latitud y desde los 120° hasta los 130°W de longitud. Matsumoto (1958), encontró grandes concentraciones de larvas fuera del ARCAA y en la Isla Clipperton (Klawe, 1961).

Los peces en la región nerítica de desove exhibieron un desove esporádico. En algunos años parecía que el desove ocurría dos veces al año, pero los máximos y la duración de los periodos de desove variaron de un año a otro. El periodo de desove en la región oceánica no fue esporádico como en la zona nerítica y duro mucho más. En la Zona 7, los reproductores se encontraron en todos los meses muestreados (enero-junio y noviembre) y es posible que el desove ocurra también en otros meses. Similarmente, en la Zona 8, el desove ocurre por lo menos de abril a octubre. La región oceánica, indica, en promedio, porcentajes mucho más altos de reproductores que en la zona nerítica.

Puede que la explicación de las diferencias en la frecuencia de desove de los peces de la región nerítica y oceánica sea que representan diferentes subpoblaciones que tienen diferentes comportamientos de desove. Schaefer (1952) y Royce (1964) encontraron evidencia de esto y observaron las diferencias morfológicas entre el aleta amarilla costero y el hawaiano. Sin embargo, lo que es más probable, es que las condiciones ambientales diferentes en las dos regiones, produzcan un comportamiento durante en el desove. El período de afloramiento más largo, que ocurre de 7 a 9 meses del año a lo largo de la línea ecuatorial en la región oceánica (Cromwell, 1953) puede ser la causa de los períodos más prolongados de desove, contrario al afloramiento más corto y de mayor fluctuación a lo largo de la costa (Blackburn, 1968; Forsbergh, 1969).

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Blackburn, M. 1968. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull., **68** (1) 1: 147-176.
- Brock, V. E. 1954. Some aspects of the biology of the aku, *Katsuwonus pelamis*, in the Hawaiian Islands. Pacific Science, **8** (1): 94-104.
- Calkins, T. P. 1965. Variation in the size of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) within individual purse-seine sets (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **10** (8): 461-524.
- Chatwin, B. M. 1959. The relationship between the length and weight of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the eastern tropical Pacific Ocean, (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **3** (7): 305-352.
- Clark, F. N. 1934. Maturity of the California sardine (*Sardina caerulea*) as determined from ova diameter measurements. Cal. Div. Fish Game, Fish. Bull., 42: 49 pp.
- Cromwell, T. 1953. Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific. J. Mar. Res., **12**: 196-213.
- Davidoff, E. B. 1969. Variations in year class strength and estimates of the catchability coefficient of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **14** (1) : 1-44.
- Forsbergh, E. D. 1969. On the climatology, oceanography and fisheries of the Panama Bight (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **14** (2): 45-385.
- Hennemuth, R. C. 1961. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the years 1954-1958 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **5** (1): 1-112.
- I.A.T.T.C., 1974. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1973 (in English and Spanish): 29-30.
- June, F. C. 1953. Spawning of yellowfin tuna in Hawaiian waters. U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull., **54** (77): 47-64..
- Klawe, W. L. 1961. Observations on the spawning of four species of tuna (*Neothunnus macropterus*, *Katsuwonus pelamis*, *Euthynnus lineatus*, and *Auxis thazard*) in the eastern Pacific Ocean, based on the distribution of their larvae and juveniles (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **6** (9): 447-540.

- Marr, J. C. 1957. Contributions to the study of subpopulations of fishes. U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Science Rpt., Fisheries, 208: 1-6.
- Matsumoto, W. M. 1958. Distribution of larval tuna. U. S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull., **58** (128): 121-132.
- Royce, W. F. 1964. A morphometric study of yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre). U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull., **63** (2): 395-443.
- Schaefer, M. B. 1952. A comparison of yellowfin tuna of Hawaiian waters and the American west coast. U. S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull., **52** (72): 353-373.
- Schaefer, M. B. and C. J. Orange. 1956. Studies of the sexual development and spawning of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in three areas of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **1** (6): 281-349.
- Sharp, G. D. 1972. Studies of the biochemical genetics of yellowfin tuna of the eastern Pacific Ocean. Ph.D. Dissertation. Univ. Calif. San Diego: 75 pp.
- Shimada, Bell M. and M. B. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin tuna and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **1** (7): 351-472.
- Shingu, Chiomi, P. K. Tomlinson and C. L. Peterson. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean 1967-1970 (In English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **16** (2): 65-232.
- Simpson, J. G. 1959. Identification of the egg, early life history, and spawning areas of the anchoveta, *Cetengraulis mysticetus*, in the Gulf of Panama (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **3** (10): 437-580.
- Yuen, H. S. H. 1955. Maturity and fecundity of bigeye tuna in the Pacific. U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull., **57** (112): 251-264.