

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. 14, No. 4

(Completing the Volume)
(Complemento del Volumen)

**THE DISTRIBUTION, ABUNDANCE AND ECOLOGY OF LARVAL
TUNAS FROM THE ENTRANCE TO THE GULF OF CALIFORNIA**

**DISTRIBUCION, ABUNDANCIA Y ECOLOGIA DE ATUNES
LARVALES A LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

by — por

W. L. Klawe, J. J. Pella, and/y W. S. Leet

La Jolla, California

1970

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT.....	507
INTRODUCTION.....	507
ACKNOWLEDGEMENTS.....	508
METHODS AND MATERIALS.....	508
SPECIES COMPOSITION.....	510
GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION.....	511
Yellowfin, <i>Thunnus albacares</i>	511
Frigate mackerel, <i>Auxis</i> sp.....	511
Black skipjack, <i>Euthynnus lineatus</i>	511
TEMPORAL AND OCEANOGRAPHIC EFFECTS.....	512
Frigate mackerel, <i>Auxis</i> sp.....	512
Yellowfin, <i>Thunnus albacares</i> , and black skipjack, <i>Euthynnus lineatus</i>	515
WATER MASSES AND THE DISTRIBUTION OF LARVAL TUNAS.....	516
—————	
FIGURES — FIGURAS.....	517
—————	
TABLES — TABLAS.....	528

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO.....	532
INTRODUCCION.....	532
AGRADECIMIENTOS.....	533
METODOS Y MATERIALES.....	534
COMPOSICION DE ESPECIES.....	535
DISTRIBUCION GEOGRAFICA.....	
Atún aleta amarilla, <i>Thunnus albacares</i>	536
Melva, <i>Auxis</i> sp.....	537
Barrilete negro, <i>Euthynnus lineatus</i>	537
EFECTOS TEMPORALES Y OCEANOGRAFICOS.....	
Melva, <i>Auxis</i> sp.....	537
Atún aleta amarilla, <i>Thunnus albacares</i> , y barrilete negro, <i>Euthynnus lineatus</i>	541
MASAS DE AGUA Y DISTRIBUCION DE ATUNES LARVALES.....	542
—————	
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	543

THE DISTRIBUTION, ABUNDANCE AND ECOLOGY OF LARVAL TUNAS FROM THE ENTRANCE TO THE GULF OF CALIFORNIA

by

W. L. Klawe, J. J. Pella¹ and W. S. Leet²

ABSTRACT

This study is based on collections of larvae of *Thunnus albacares*, *Euthynnus lineatus*, and *Auxis* sp. obtained from surface and oblique net tows made during seven cruises, each along a comparable track in the entrance of the Gulf of California and each during a different month. Concomitant measurements of surface temperature, salinity, and zooplankton were made at each of the plankton stations.

The catches of larval *Auxis* sp. were examined by analysis of variance techniques to determine which environmental features were associated with the spawning of this tuna as indicated by the distribution of larvae and to gain some insight into the behavior of the larvae themselves. The testing indicated that the spawning of *Auxis* sp. varied significantly among the different months of the cruises. The testing also indicated that if the larvae were capable of avoiding the sampling apparatus, this ability was not related to features associated with time of day such as light conditions. The analysis did not detect any change in the vertical distribution of the larvae among the months of the experiment. It was concluded that the larvae did not exhibit a diel vertical movement. The measurements of temperature, salinity, and zooplankton volumes were treated as covariates in the analysis. The surface temperature proved to be a highly important factor in explaining the distribution of larvae, but salinity and zooplankton volumes were not.

Catches of *Thunnus albacares* and *Euthynnus lineatus* were rare during the course of the study; these are discussed in qualitative terms with respect to the time of the year and the surface temperature.

The distribution of larval tunas in the area of study was compared with the distribution of surface water masses. It appeared that these masses had no influence *per se* on the distribution of larvae.

INTRODUCTION

In 1966, the Dirección General de Pesca e Industrias Conexas of Mexico and the Inter-American Tropical Tuna Commission began a cooperative investigation (hereafter called the *Mazatlan Project*) of geographical and seasonal variations of tuna spawning, and attendant oceanographic conditions in the area of the entrance to the Gulf of California. At the beginning of 1967 this project became an integral part of the EASTROPAC program, a cooperative international oceanographic investigation of the eastern Pacific Ocean.

Between October 1966 and August 1967, seven 5-day cruises were made along a triangular track in the mouth of the Gulf of California, between

¹Present affiliation, U. S. Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, Biological Laboratory, Auke Bay, Alaska 99821.

²Present affiliation, U. S. Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, Regional Office, Terminal Island, California 90731.

Mazatlan, Cape San Lucas, and the Tres Marias Islands (Figures 1 through 7). During each cruise 15 to 17 stations were occupied, and oceanographic data were collected; these data have been reported by Leet and Stevenson (1969).

This report presents findings on the distribution, abundance and ecology of larval tunas gathered during the Mazatlan Project. The findings are analyzed, discussed, and compared with previous findings pertaining to the biology of larval tunas.

Information on the spatial and temporal distribution of spawning tunas can be of value in management of the fishery by elucidating the subpopulation structure of the stocks. For instance, multiple, persistent, and distinct spawning strata may suggest the existence of component subpopulations. However, it is difficult to directly observe the spawning of tunas which occurs in the open sea; thus inferences of tuna spawning have been drawn from studies of their gonads, particularly the ovaries, and from the distribution of their young. The pelagic eggs of tunas are not useful in such studies because at present they cannot be identified with respect to the species which spawned them.

Interest in larval forms is not limited to the possibility that they may serve as indicators of subpopulation structure. Investigation of larval ecology may eventually elucidate the relation between reproductive success and environmental features. In the present study, the relationship between larval abundance and several oceanographic variables is analyzed but this is only a preliminary step. The influence of additional oceanographic properties should be investigated.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Mazatlan Project was a joint undertaking of the Dirección General de Pesca e Industrias Conexas (DGP) of the Mexican Government and the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC). The DGP provided the research vessel and laboratory space at the Estación de Biología Marina in Mazatlan for the field work.

Many persons from both organizations assisted with various phases of the project, and it is a great pleasure to express our sincere thanks for all that they have done. We are especially indebted to Anatolio Hernández C., Chief Scientist, Estación de Biología Marina of the DGP in Mazatlan, and Balfre Maldonado G., Master of the R/V *Yolanda*. Without their help this contribution would not be possible. Dr. William H. Bayliff (IATTC) provided constructive criticism in the preparation of this report.

METHODS AND MATERIALS

In investigations concerned with the delineation of area and time of tuna spawning, inferred from the occurrence of their young, the assumption is made that the presence of very young fish indicates recent spawning in

the area of capture. This assumption appears to be reasonable for tuna in our study area because: (1) it is thought that it takes only about 2 days for a tuna egg to hatch; (2) very young tunas grow rapidly; and (3) tuna larvae are planktonic and so are subject to translocation only by ocean currents, the velocities of which are not great within the region of the present investigation. Surface currents play the major role in the displacement of larval tunas. In the area 20° to 21°N and 107° to 108°W the average surface current velocity for the year is 3.7 miles per day, the monthly average ranging from 1.3 miles per day in September to 6.1 miles per day in March (Hubbs and Roden 1964). Since these figures are averages of values collected over a number of years, it is to be expected that larger velocities occasionally occur. Indeed, some of the velocities calculated from the observations made during the Mazatlan Project (Stevenson 1970) are about twice the mean velocities but even so, the resulting translocations of the eggs and larvae would not be too great.

The larval tunas used in this study originated from two types of zooplankton tows, surface and oblique. Both types of tows were made with conical plankton nets having a ring 1-meter in diameter at the mouth. The main body of the net was made of Nitex monofilament material with 0.505-mm mesh openings, whereas the cod end was constructed of Nitex material with 0.333-mm mesh openings. A flow meter was mounted in the mouth of the net.

During the surface tow the net was towed behind the vessel for 15 minutes at about 2 knots. Vessel speed was adjusted to keep the net just below the surface. In spite of this the net occasionally came partially out of the water. Therefore, calculations of the volume of water strained during the tows were not used.

Oblique tows were made by first allowing the net to sink freely at an average speed of 50 m per minute until 110 m of the towing wire were out. The net was then retrieved at a speed of about 20 m per minute. By adjusting the speed of the vessel the angle of the towing wire was maintained at about 45°. Thus an oblique tow represents a haul starting theoretically at a depth of 77.8 m and terminating at the surface.

In most cases four stations were occupied during each day of each cruise. The prescribed times for the four stations were midnight, noon, 6 A.M. and 6 P.M. Nearly all of the stations were occupied within 1 hour of the prescribed time so that the plankton tows can be divided into four groups according to the time of day.

The zooplankton was preserved in a 5-percent solution of Formalin made up with sea water. The volume of zooplankton was measured for each tow. Larval tuna were sorted from the plankton samples at the Mazatlan laboratory and were identified by utilizing various publications, especially the two comprehensive papers by Matsumoto (1958, 1959).

In this report the total length of larval and juvenile tunas is the most direct distance from the tip of the snout to the tip of the shortest median

ray in the caudal fin. Total length was estimated for larvae preserved in a distorted shape.

To examine the effects that certain physical aspects of the environment might have on larval tuna abundance, measurements of surface temperature and surface salinity were taken during the net hauls. The sampling program was designed so that the data could be analyzed by analysis of variance.

SPECIES COMPOSITION

Larvae of the following species of tunas were identified in the samples: yellowfin tuna, *Thunnus albacares*; frigate mackerel, *Auxis* sp.; and black skipjack, *Euthynnus lineatus* (Tables 1—3). *Auxis* sp. may include both *A. rochei* and *A. thazard*. The problems in identifying young *Auxis* spp. have been discussed by Matsumoto (1959), and Fitch and Roedel (1963).

In the area of investigation adults of the following species of tunas are known to be present: yellowfin tuna; bigeye tuna, *Thunnus obesus*; skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*; black skipjack; and frigate mackerel. Yellowfin and skipjack tuna are sufficiently common in the area to be the object of a commercial fishery. Bigeye tuna have been caught occasionally in this region by Japanese tuna longliners (Mr. Susumu Kume, Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japan, *personal communication*). The presence of black skipjack tuna has been reported by Calkins and Klawe (1963). It is surmised from Uchida (1963) and Fitch and Roedel (1963) that both species of frigate mackerel occur in the area of study. Captures of *A. thazard* off Cape San Lucas have been documented by Godsil (1954).

The species composition of the catches of larval tunas from the Mazatlan Project is as follows:

	Number collected	Percentage of total catch
<i>Thunnus albacares</i>	22	3.6
<i>Auxis</i> sp.	577	95.2
<i>Euthynnus lineatus</i>	7	1.2

Klawe (1963) reported on larval tuna taken in zooplankton collections from the area circumscribed by 20°N, 110°W, and the Mexican mainland, during 1958-1959. The composition of the catch of larvae was:

	Number collected	Percentage of total catch
<i>T. albacares</i>	90	9.6
<i>Auxis</i> sp.	852	90.4
<i>E. lineatus</i>	0	0

The difference between the composition of the catches from the present study and the previous one is judged to be insignificant, especially since the seasons of the year in which the plankton tows were made do not correspond well for the two studies. In addition, most of the plankton

hauls of 1958-1959 were made in the open sea, which may account for the absence of *E. lineatus* in collections made at that time. Most of the *E. lineatus* captured during the Mazatlan Project came from oceanographic stations near land.

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION

The cruise tracks and the stations occupied during the seven cruises of the program (cruises were designated as MZ-1 through MZ-6 and MZ-8) are plotted in Figures 1-7. The total catch (the sum of catches made by oblique and surface tows) of larval tunas of each of the three genera is also indicated in these figures. In Figures 8 and 9, which are composites of the seven cruises, each of the symbols represents the position of a station occupied during one of the cruises. The stations where larval tunas of a given genus were caught are differentiated by appropriate symbols from those where no such larvae were caught.

The localities at which larvae of the three genera of tuna were caught are not uniformly distributed among all the stations occupied during the seven cruises (Figures 8 and 9). The geographical distribution of the catches of larval tunas is strongly influenced by the distribution of some of the oceanographic properties. Before dealing with this subject, we shall briefly outline some features of the spatial distribution of the three genera in the area of investigation.

Yellowfin, *Thunnus albacares*

The larvae of this species were captured in only two general areas. Most of the catches came from plankton tows taken at stations lying south of 21°N, but some were caught at two localities just south of the tip of Baja California (Figure 8).

Frigate mackerel, *Auxis* sp.

The larvae of this genus were not only the most numerous in the catches, but they were distributed over a much larger area (Figure 9). However, the distribution of the catches apparently is not random. North of 21°N and west of an imaginary line between Cape Corrientes and Cape San Lucas the catches were infrequent. Thus on nearly all of the cruises no catches were made at stations 6 through 9.

Black skipjack, *Euthynnus lineatus*

Only seven larvae of this species were caught during the cruises. All but one of the five stations where larvae were taken are situated along the line extending westward from Mazatlan (Figure 8). One larva was caught at a station just north of Maria Madre Island in the Tres Marias group. It is well established that the adults and young forms of this species nearly always occur near land masses and islands (Calkins and Klawe 1963) and, unlike the other tunas of the eastern Pacific Ocean, are seldom encountered in purely oceanic localities (Matsumoto and Kang 1967).

TEMPORAL AND OCEANOGRAPHIC EFFECTS**Frigate mackerel, *Auxis* sp.**

Information on catches of larval *Auxis* sp. are presented in Table 2. Concomitant measurements of surface temperature, surface salinity, and zooplankton, as well as other pertinent information, were extracted from a paper by Leet and Stevenson (1969). The structure of the data is akin to a simple split plot design with sampling stations as the whole plots and the shallow and deep zones at the station as the subplots (*e.g.* see Cochran and Cox 1957). The argument leading to this design includes the observation that the catches of larvae in the two hauls at a given station seem to be correlated ($p < .01$) and that by design both a surface and an oblique haul were taken at each station. We consider the stations as a random sample of the possible stations in the sampling region so that our conclusions hereafter tacitly apply to the sampling region. Should this be objectionable to the reader, the conclusions apply only to the stations sampled.

It was impractical to randomize the time of day at which each station was sampled which would have resolved the analysis to a simple split plot design where the whole plots are in a completely crossed design with cruises and times of day as classifications. Rather each particular station was nearly always sampled at the same time of day in all the cruises meaning that station or whole plot effects are tied up with time of day effects. We have attempted to separate at least partially the station and time of day effect by removing variation in catches attributable to temperature and salinity at each station. We shall find that these covariates do account for much of the variation in catches, but cannot be expected to completely remove station effects from time of day effects. If we could consider the stations as random with respect to the larval distribution after accounting for the covariates, then the confounding between station and time of day effects would disappear. This seems plausible on an intuitive basis since *Auxis* sp. are oceanic spawners so we might expect spawning intensity to be random with respect to our station pattern after temperature and salinity are accounted for. Further, mixing of ocean waters should distribute the larvae over the sampling region. Nonetheless, we shall later qualify any statements concerning time of day effects.

We shall assume three-factor interactions between cruise, time of day, and depth of tow to be nonexistent. A preliminary look at the data convinced us that the assumption was valid and it expedited the analysis. Further, we shall assume that cubic polynomials in temperature and in salinity are adequate to describe any relationship between these variables and the larval distribution. A linear relationship between zooplankton and larval abundance is assumed adequate to describe the possible relationship between these variables. We shall observe that these two latter assumptions appear to be borne out in the results of the analysis. Finally we will make the usual assumptions of normality, common variance and indepen-

dence of the error terms of the model. A logarithmic transformation of our catch data is used in order that the analysis of variance assumptions will more likely be met.

The sums of squares attributable to the various factors were calculated by the method of fitting constants using computer program BIMD14 (Dixon 1961). Strictly speaking, the method of fitting constants is appropriate only if the design is completely balanced or all the interactions among the main effects are absent. Our approximate analysis here is justified on two bases: (1) The experiment is only slightly unbalanced. In the whole-plot analysis 23 of the 28 cruise-time of day cells contained 4 observations, 2 cells contained 3 observations, 2 cells contained 5 observations, and 1 cell contained 6 observations. These tows were always evenly divided between oblique and surface tows; (2) If we used the method of analysis for incompletely specified models (*e.g.*, Bancroft 1964), we would arrive at the same conclusions for these data. Using the 25 percent level of testing for interactions, only the cruise \times type of tow interaction would be significant (see table below), and that interaction is not significant at the 10 percent level. We consider this interaction to be improbable on biological grounds. Thus the additive model and the method of fitting constants appears to be appropriate. The sums of squares in the table below would therefore be unbiased, but inefficiently estimated.

Source	df	SS	MS	F
Cruise (C)	6	4.99343	0.83224	4.108**
Time of day (T)	3	0.99224	0.33074	1.632
C \times T	18	4.00791	0.22266	1.099
Station covariates				
temperature	3	5.77373	1.92458	9.499**
linear	1	3.84171	3.84171	18.962**
quadratic	1	1.82761	1.82761	9.021**
cubic	1	0.10441	0.10441	< 1
salinity	3	0.14885	0.04962	< 1
Station error	80	16.20822	0.20260	
Type of tow (D)	1	0.35338	0.35338	5.304*
C \times D	6	0.59739	0.09957	1.494
T \times D	3	0.04298	0.01433	< 1
Depth zone covariate				
zooplankton	1	0.07227	0.07227	1.085
Depth zone error	103	6.86326	0.06663	

We will treat the data as though they were obtained from a balanced design. We see first that the catches of larvae differed significantly among the cruises. This test is valid regardless of the problem mentioned earlier concerning systematic sampling of stations at certain times of the day. The average values of the dependent variable used in the analysis, \log_{10} (number caught + 1) or y , for each cruise are plotted in Figure 10.

* Significant at the 5% level

** Significant at the 1% level

Larval *Auxis* sp. were captured in each month of sampling but from August through November, and especially in October, the larvae were more abundant than in other months. In the 28 collections made in the 1958-1959 period (Klawe 1963), larval *Auxis* sp. were encountered in each month of collection, *i.e.* January, February, June, and September. The February samples, however, contained the largest number of larvae. The later spawning peak suggested by the larval collections from 1958-1959 may be due to differences in sampling locations within the general area, to environmental changes, or to other causes. It should be noted, however, that a spawning peak in the earlier part of the year is consistent with findings based on *Auxis* sp. collections made off Cape Blanco, Costa Rica (Klawe *op. cit.*).

There seems to be no evidence that time of day was an important factor. The test for time of day as well as that for the interaction between time of day and type of tow was nonsignificant. We have already discussed the difficulties in interpreting this particular test because of the systematic sampling. However, as we argued before, it may well be reasonable to accept the station positions as random with respect to the larval distribution after accounting for temperature and salinity. If this is the case, the test is completely valid for judging the effects of time of day. The results would indicate that any ability the larvae may have had to avoid the sampling apparatus was not dependent on features related to time of day such as light conditions.

Furthermore, there seems to be no evidence for significant diurnal vertical movement of the larvae in the water column. If such movement had occurred, we should have detected an interaction between type of tow and time of day, *i.e.*, the surface hauls should differ between times of day whereas the oblique hauls should not since these latter penetrated to the thermocline and hence throughout the depth inhabited by larval tunas (Klawe 1963). The test incidentally is valid regardless of the systematic sampling problem.

The effect of type of tow was detectable. Since the catches could not be standardized to volume of water strained by the two types of tows this result is without meaning.

The interaction of cruise with depth of tow was judged nonsignificant by the test. We interpret this to mean that by our techniques there was no measurable change in the vertical distribution of larvae during the course of the sampling.

The lack of any relationship between zooplankton and larval catches of *Auxis* sp. is in agreement with the findings of Strasburg (1960) and Nakamura and Matsumoto (1966). Salinity likewise proved to be ineffective in explaining the variations in the *Auxis* sp. catches, but this may be due to the small range of salinity in the period of time and area of study. Perhaps the salinities usually encountered by *Auxis* sp. are unimportant in affecting its distribution. On the other hand, salinity may have an

important effect under a different temperature regime (*e.g.* Alderdice and Forrester 1968) but our data are not suitable to examine this possibility.

Temperature is clearly a very important variable for *Auxis* sp. A simple plot of the dependent variable against the temperature suggested a curvilinear relationship (Figure 11). As we see from the analysis of variance, the terms beyond the second degree (a parabola) were not significant. Figure 11 suggests an optimum temperature around 27°C.

Yellowfin, *Thunnus albacares*, and black skipjack, *Euthynnus lineatus*

The catches of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and black skipjack, *Euthynnus lineatus*, were too few to utilize the analysis of variance method to examine the significance of the factors used in the *Auxis* sp. analysis. Therefore, we will discuss these two species in qualitative terms. Because of the paucity of the data we will limit our remarks to the effects of the time of the year and the surface temperature.

Larval yellowfin tuna were captured in August, October, November, and December, with the largest catches in November (Table 1).

The extensive work of Orange (1961) on the development of ovaries of yellowfin tuna from the eastern Pacific Ocean cannot be directly applied here, as none of the individual areas which he chose approximate the region investigated during the Mazatlan Project. It is interesting, however, to examine Orange's findings pertaining to the areas off Central Mexico, Baja California, the Gulf of California, and the Revillagigedo Islands. Orange speculates that spawning in the Gulf of California occurs in August and September, off Baja California in September, and near the Revillagigedo Islands in August. He found that the spawning off Central Mexico occurs during the entire year, with peaks in the second and third quarters, but it should be noted that he had few samples from this area for September and October.

Data reported by Klawe (1963) concerning collections of larvae from the Mazatlan Project area indicate a possible spawning peak in June. From 4 net tows taken in January, 4 in February, 16 in June, and 4 in September, 88 larval yellowfin tuna were found in the June tows and 2 in the September tows. Thus we cannot exclude the interesting possibility of two spawning peaks and two groups of recruits, in the Mazatlan Project area, one in late spring and the other in the fall.

Only seven larvae of the black skipjack, *Euthynnus lineatus*, were caught during the Mazatlan Project (Table 3). These were collected in October, November and December. Klawe (1963) concluded that *E. lineatus* spawns throughout the year in the warmer areas of the eastern Pacific Ocean. Off Cape Blanco, Costa Rica, *E. lineatus* apparently spawns in early spring. Perhaps, as is the case with *Auxis* sp., the spawning peak of this species in the mouth of Gulf of California occurs earlier than off Cape Blanco.

Figures 12 and 13 illustrate the relationship between surface temperature and the distribution of larval *T. albacares* and *E. lineatus*. Figure 12

is based on the few observations from the Mazatlan Project whereas Figure 13 is based on 970 oblique and surface zooplankton tows taken during several years at stations widely distributed over the eastern Pacific Ocean (Klawe 1963: Tables 2 and 5). A marked increase in the proportion of tows containing larval *T. albacares* and *E. lineatus* occurs at stations where the surface temperatures exceed 26° or 27°. This is especially noticeable in Figure 13 but is also evident from the Mazatlan data (Fig. 12) in spite of the fewer observations.

WATER MASSES AND THE DISTRIBUTION OF LARVAL TUNAS

We have already discussed the influence, or lack of influence, of surface temperature, surface salinity, and seasons on the distribution and abundance of larval tunas. It is obvious that the temperature and salinity at a given locality within the area of study are influenced by the circulation within the region and by the insolation and other meteorological conditions, and that these undergo seasonal changes.

The large annual changes in the circulation have been reported by Roden and Groves (1959), Wyrski (1965 and 1967), and Griffiths (1968), Stevenson (1970) and others. Stevenson's report is especially applicable to our study because it is based on data from the Mazatlan Project.

Stevenson (*op. cit.*), following Roden and Groves (*op. cit.*), considers that three water masses are present at the surface of the area dealt with in the Mazatlan Project; *i.e.* (1) California Current Water, (2) Eastern Tropical Water, and (3) Gulf of California Water. For the sake of convenience we will use these same three names in the discussion that follows although we are aware of the problems pointed out by Griffiths (1968).

During the October and November cruises (MZ-1 and MZ-2), the larvae appear to be associated predominantly with the Gulf of California Water and the Eastern Tropical Water. During both cruises, however, larvae of *Auxis* sp., and *Thunnus albacares* were caught also near Cape San Lucas in what appears to be California Current Water. During December and January (MZ-3 and MZ-4), the very few larvae caught were associated with the Gulf of California and Eastern Tropical Waters. In February (MZ-5) all 12 larval *Auxis* sp. were collected in what is judged to be Eastern Tropical Water. In April (MZ-6), some of the *Auxis* sp. were caught in the Eastern Tropical Water and some in the Gulf of California Water. In August (MZ-8), larval *Auxis* sp. were encountered in all three water masses, and the single *T. albacares* was found in Eastern Tropical Water.

The Eastern Tropical Water and the Gulf of California Water in which most of the larvae were caught are usually warmer than the California Current Water. Those larvae collected in the California Current Water were taken only when this water mass was warm. This observation, coupled with the fact that in the statistical analysis the salinity did not seem to have a significant influence on the occurrence of larval *Auxis* sp. in our catches, leads us to assume that in the area of study the water masses have no relationship *per se* with the distribution of larval tunas.

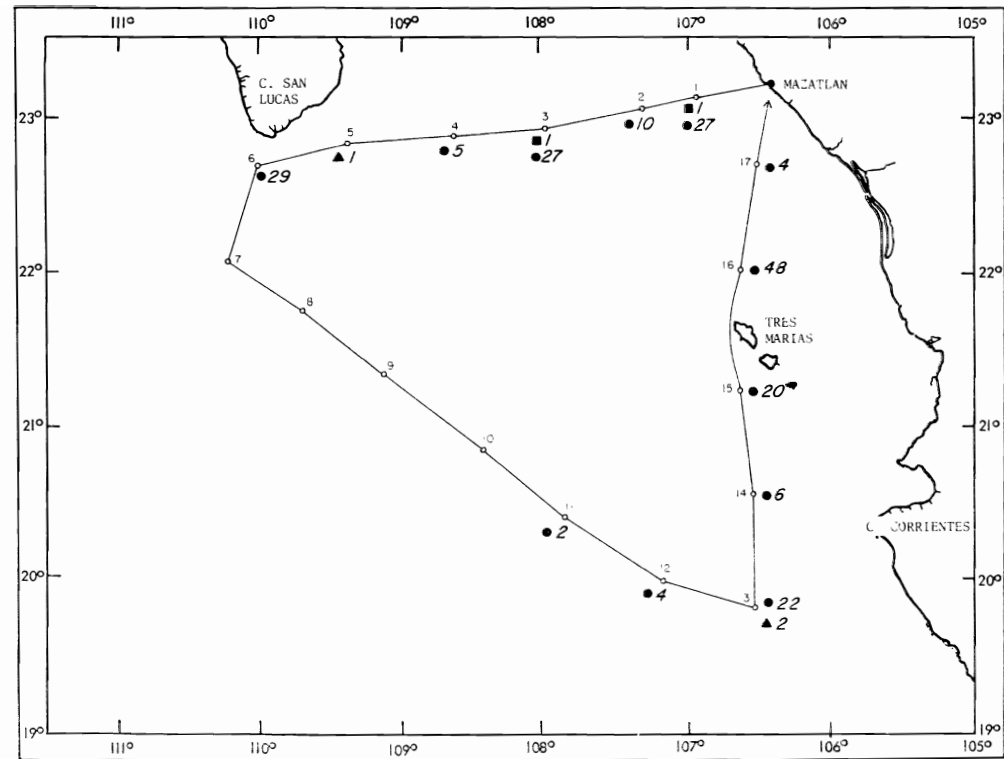


FIGURE 1. Track for Cruise MZ-1, October 1966, with distribution of the stations at which zooplankton hauls were made and distribution and abundance of larval tunas at each of the stations. The symbols (for Figures 1 through 9) are as follows: triangle, *Thunnus albacares*; square, *Euthynnus lineatus*; and solid circle, *Auxis* sp. The large numerals next to the symbols refer to the numbers of larvae at the stations.

FIGURA 1. Derrotero del crucero MZ-1, octubre 1966, con distribución de las estaciones en las cuales se efectuaron los arrastres de zooplancton así como la distribución y abundancia de atunes larvales en cada una de las estaciones. Los símbolos (para las Figuras 1 a la 9) son como sigue: triángulo, *Thunnus albacares*; cuadrado, *Euthynnus lineatus*; y círculo sólido, *Auxis* sp. Los números grandes indicados al lado de los símbolos se refieren al número de larvas en las estaciones.

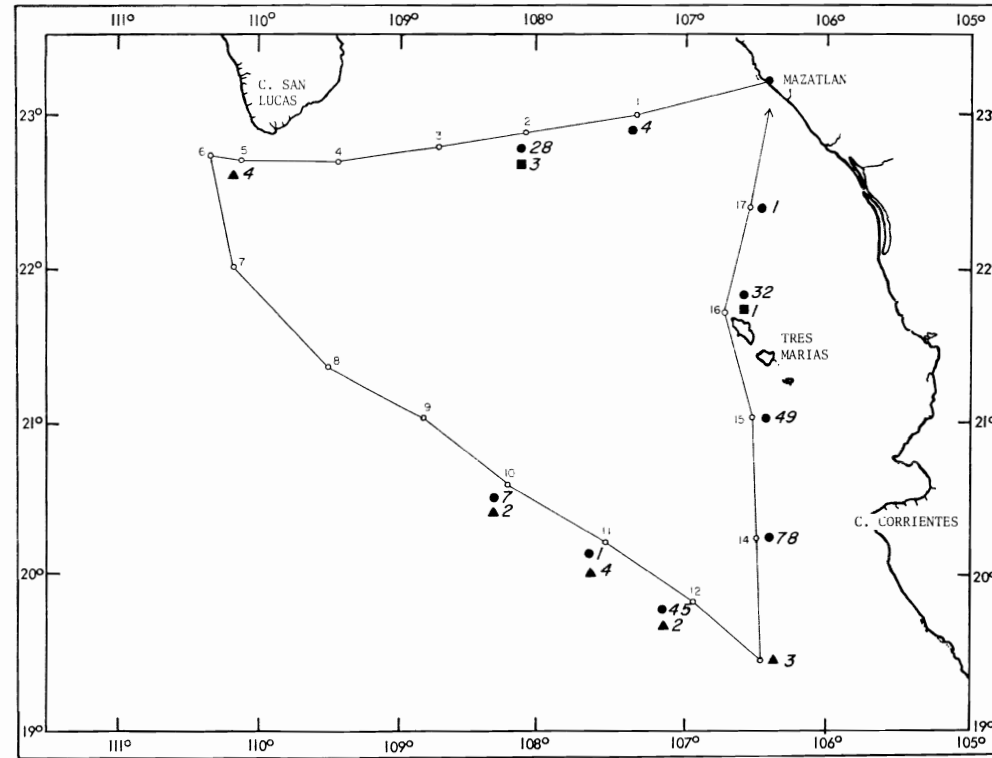


FIGURE 2. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-2, November 1966.

FIGURA 2. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-2, noviembre 1966.

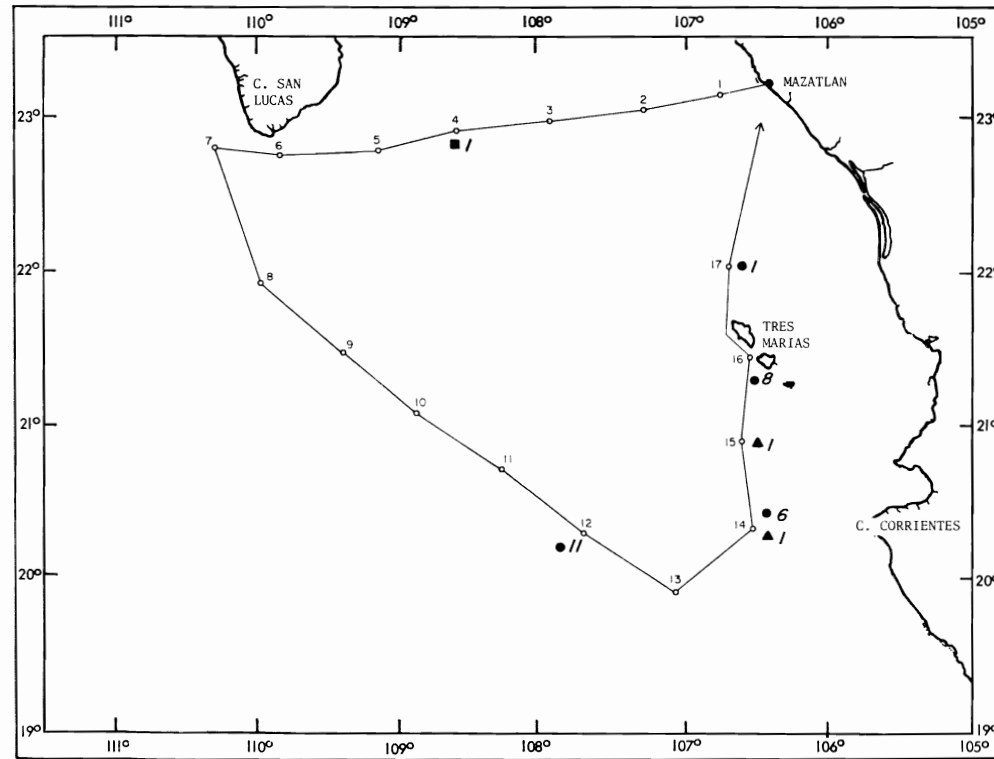


FIGURE 3. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-3, December 1966.

FIGURA 3. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-3, diciembre 1966.

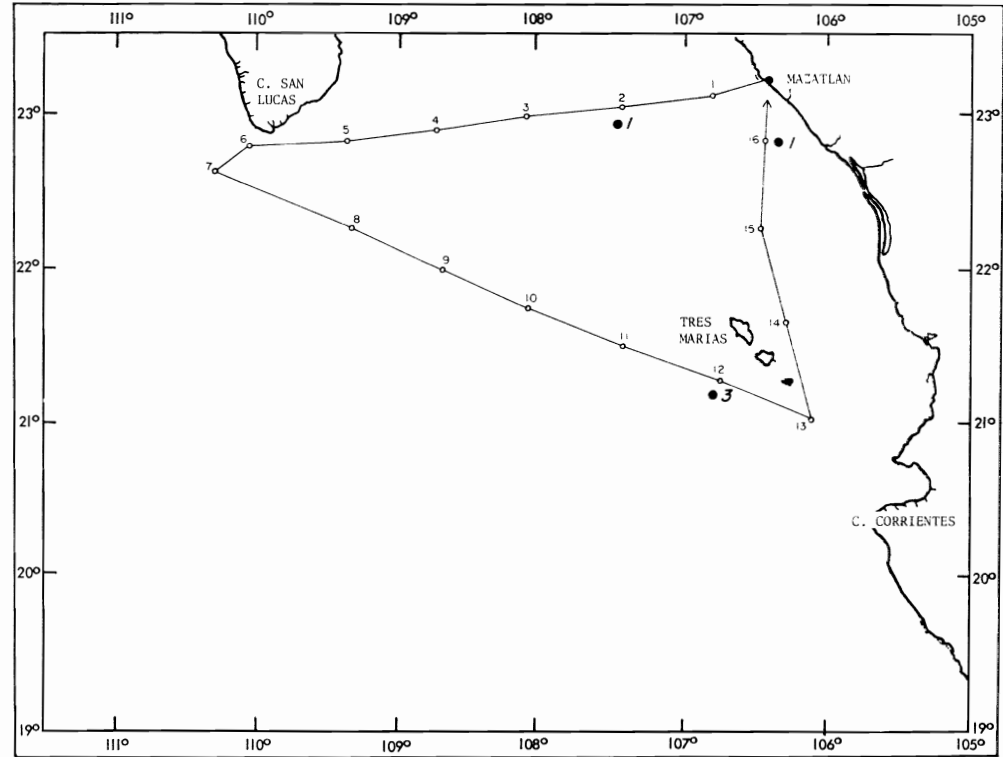


FIGURE 4. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-4, January 1967.

FIGURA 4. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-4, enero, 1967.

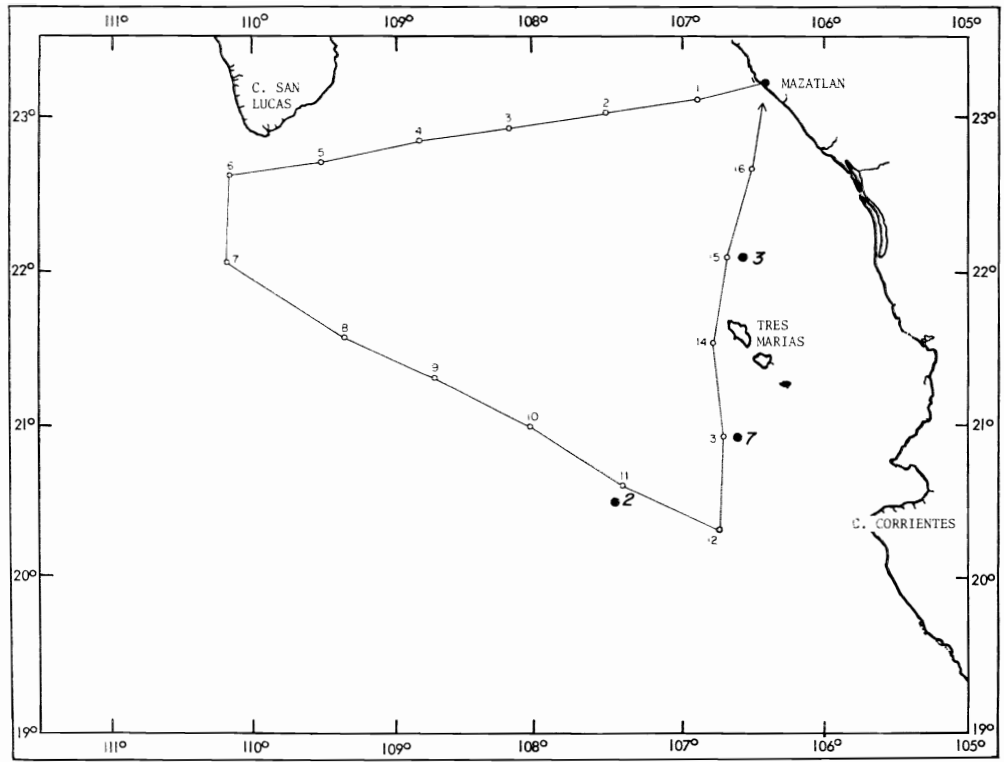


FIGURE 5. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-5, February 1967.

FIGURA 5. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-5, febrero 1967.

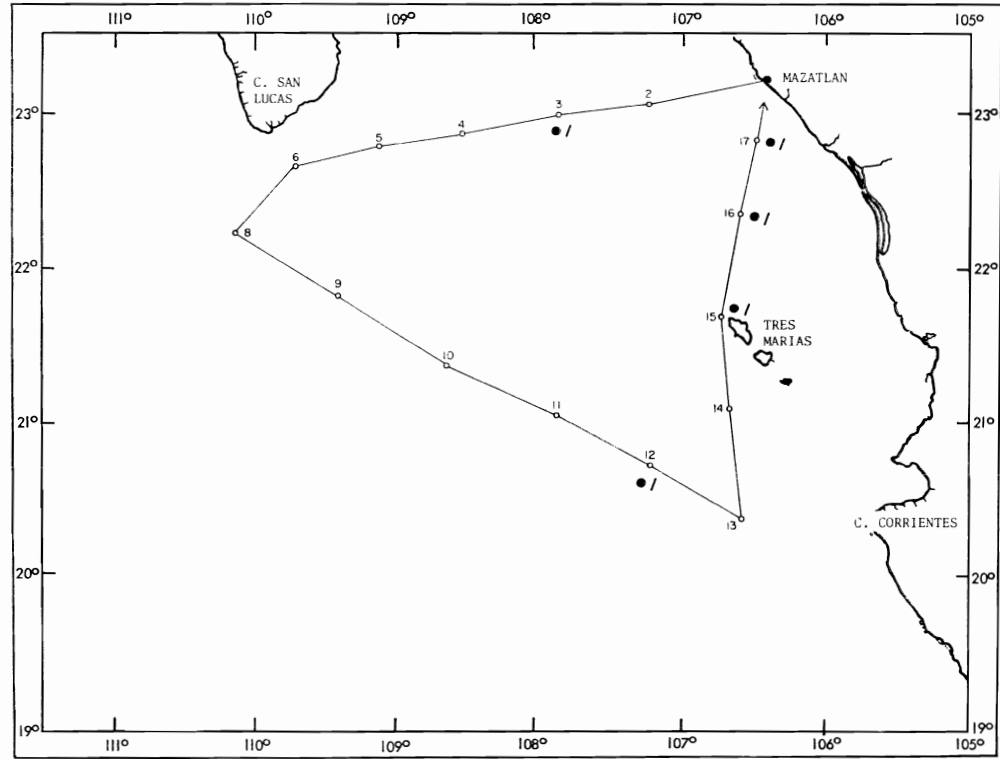


FIGURE 6. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-6, April 1967.

FIGURA 6. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-6, abril 1967.

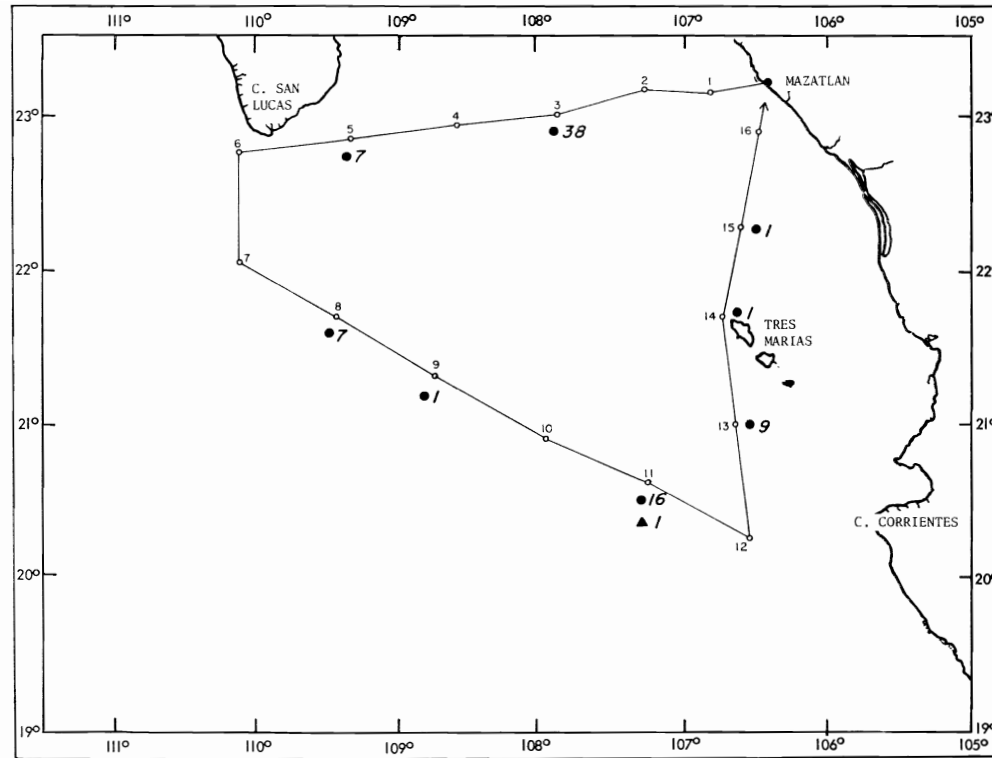


FIGURE 7. Same as Figure 1 but for Cruise MZ-8, August 1967.

FIGURA 7. Lo mismo que la Figura 1 pero aplicable al crucero MZ-8, agosto 1967.

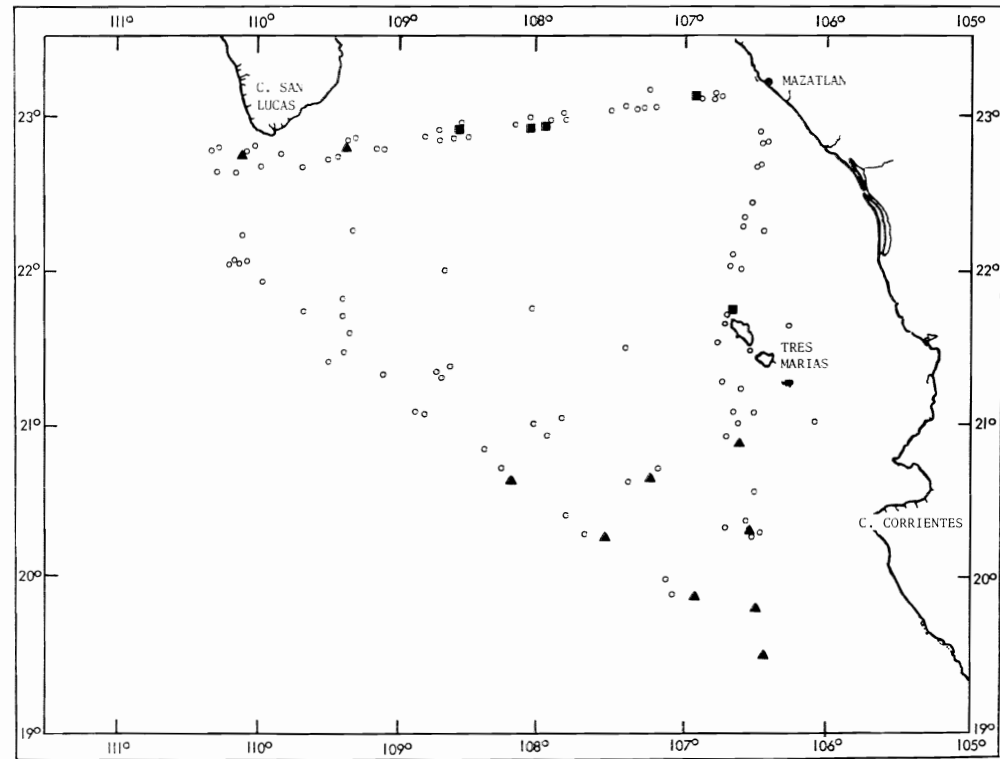


FIGURE 8. Distribution of the stations during the cruises referred to in Figures 1 through 7. The stations at which larval *Thunnus albacares* and *Euthynnus lineatus* were caught are designated by the same symbols as in Figure 1.

FIGURA 8. Distribución de las estaciones durante los cruceros a que se refieren las Figuras 1 a la 7. Las estaciones en las que se capturaron larvas de *Thunnus albacares* y *Euthynnus lineatus* se han señalado con los mismos símbolos que en la Figura 1.

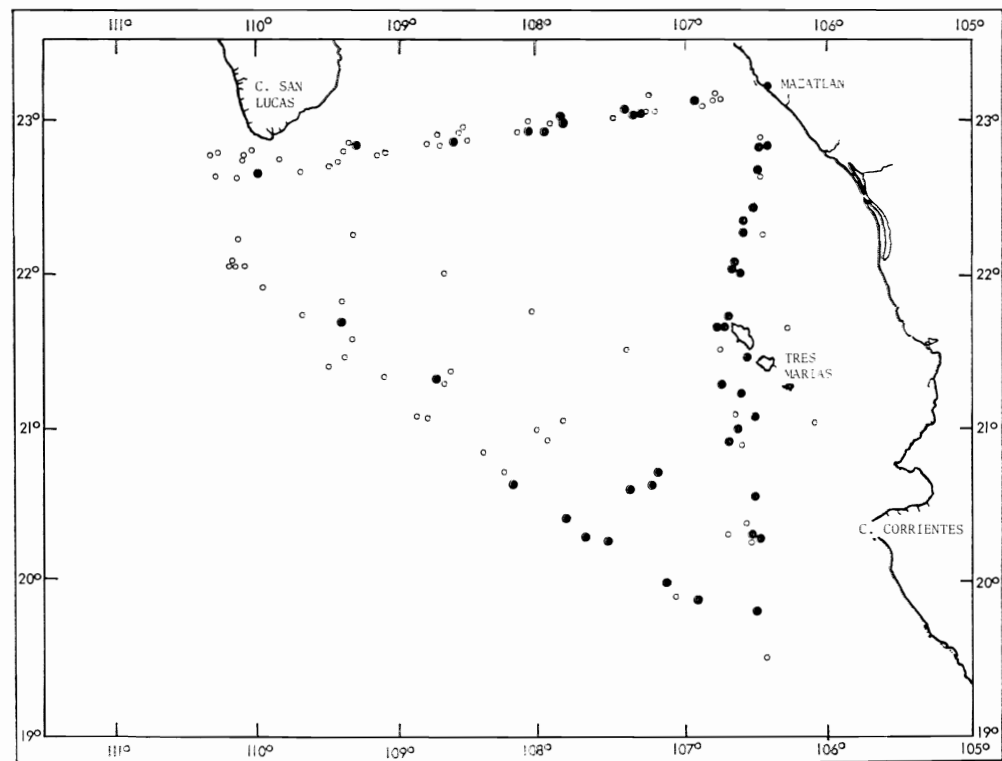


FIGURE 9. Same as Figure 8 but for *Auxis* sp. only.

FIGURA 9. Lo mismo que la Figura 8 pero aplicable a *Auxis* sp. solamente.

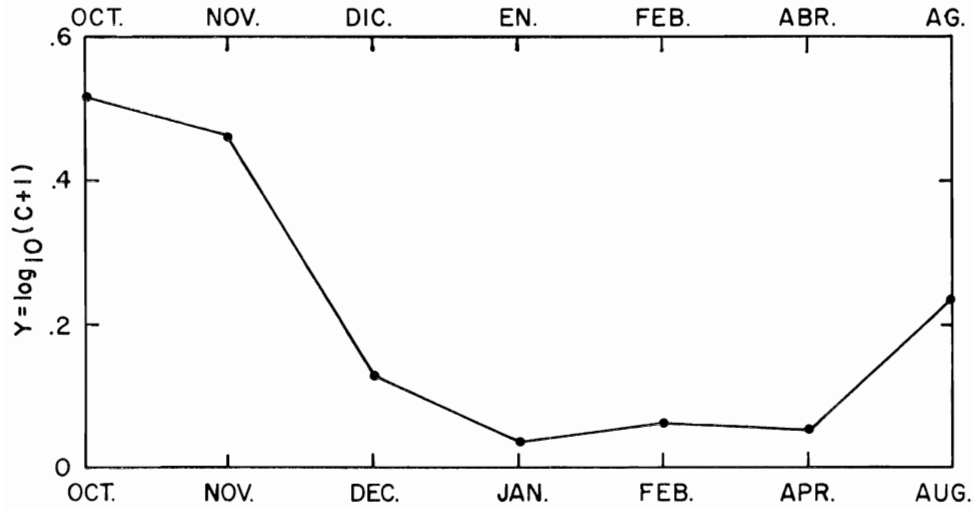


FIGURE 10. Average catches of larval *Auxis* sp. during all the cruises.

FIGURA 10. Capturas promedio de larvas de *Auxis* sp. durante todos los cruceros.

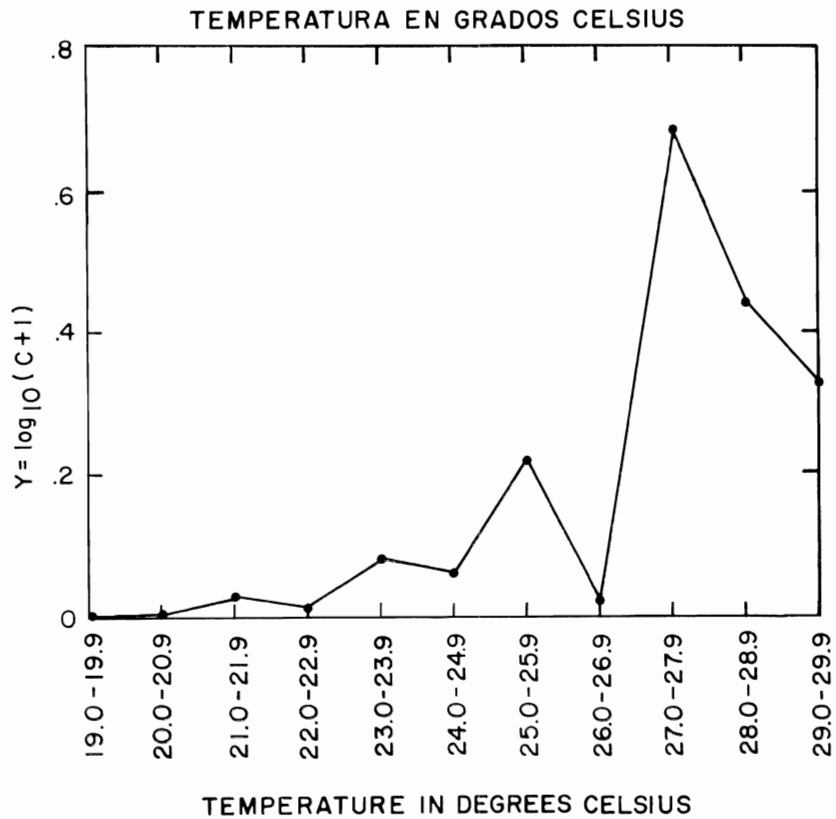


FIGURE 11. Average catches of larval *Auxis* sp. grouped according to surface temperatures prevailing at the time of capture.

FIGURA 11. Capturas promedio de larvas de *Auxis* sp. agrupadas de acuerdo a las temperaturas superficiales prevalecientes al momento de la captura.

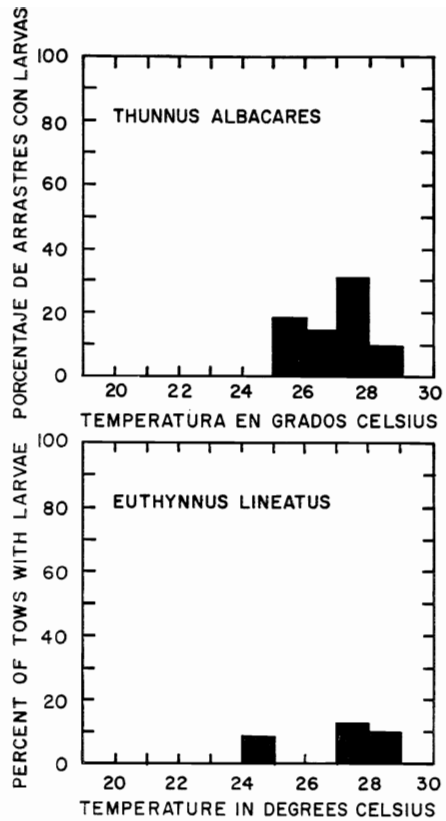


FIGURE 12. Percentage of tows containing larval tunas in relation to surface temperatures, based on Mazatlan Project data.

FIGURA 12. Porcentaje de arrastres de plancton conteniendo larvas de atunes con relación a las temperaturas superficiales, basado en datos obtenidos por Klawe (1963).

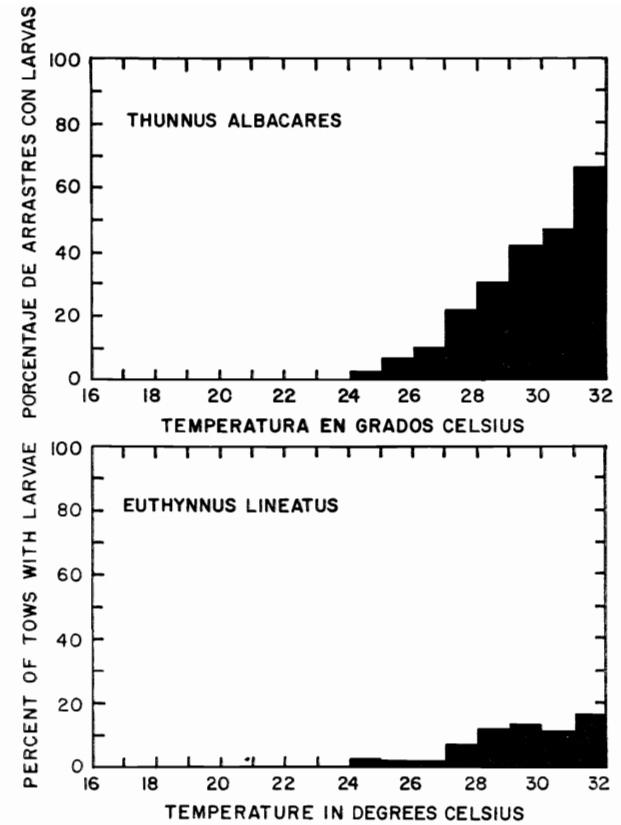


FIGURE 13. Percentage of plankton tows containing larval tunas in relation to surface temperatures, based on data from Klawe (1963).

FIGURA 13. Porcentaje de arrastres conteniendo larvas de atunes con relación a las temperaturas superficiales, basado en datos obtenidos durante el Proyecto Mazatlán.

TABLE 1. The number of larval *Thunnus albacares* captured in plankton tows**TABLE 1.** Número de larvas de *Thunnus albacares* capturadas en arrastres de plancton

SIZE IN MILLIMETERS — TAMAÑO EN MILIMETROS												
Cruise Crucero	Station Estación	Type of tow Tipo de arrastre	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	9.5	> 10.0	TOTAL
MZ-1	5	oblique						1				1
October 1966	13	surface			1			1				2
MZ-2	5	surface							1			1
November 1966	5	oblique				1	2					3
	10	surface									1 (14.0 mm)	1
	10	oblique						1				1
	11	surface	1	1	1							3
	11	oblique			1							1
	12	oblique					2					2
	13	surface			1							1
	13	oblique		2								2
MZ-3	14	surface								1	1 (14.0 mm)	2
December 1966	15	oblique	1									1
MZ-8	11	surface		1								1
August 1967												

Nota: oblique = oblicuo
surface = superficial

TABLE 2. The number of larval *Auxis* sp. captured in plankton tows
TABLA 2. Número de larvas de *Auxis* sp. capturadas en arrastres de plancton

		SIZE IN MILLIMETERS — TAMAÑO EN MILIMETROS																				
Cruise	Station	Type of tow	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	> 10.0	TOTAL	
Crucero	Estación	Tipo de arrastre																				
MZ-1 October 1966	1	surface			6	7	5	2	1												21	
	1	oblique		2	1	1	1		1												6	
	2	surface									3	3	1	1	1						9	
	2	oblique									1										1	
	3	surface			4	4	4	3	2		2										19	
	3	oblique			2	1	1	3	1												8	
	4	surface		1	2	1															4	
	4	oblique				1															1	
	6	surface					1		3	1	1			5	2	5	4	2	1		25	
	6	oblique								1	1	1				1					4	
	11	surface																	1	1(10.5 mm)	2	
	12	surface					1	1	1		1										4	
	13	surface					3	8	5	2	2	1									1(11.0 mm)	22
	14	surface				1	2							1							4	
	14	oblique				1	1														2	
	15	surface				2	2	1	4	1	2	1		1					1		15	
	15	oblique					1	2						1	1						5	
16	surface		3	9	8	6			1											27		
16	oblique	1	7	3	7	2	1	1		1						1				21		
17	oblique						1	1		1										4		
MZ-2 November 1966	1	surface				1				1								1		3		
	1	oblique												1						1		
	2	surface					1	3	2	4	5	1	1							17		
	2	oblique				1	2	4	2	3	3	1								11		
	10	surface							2	1	1				1					5		
	10	oblique									1	1								2		
	11	oblique							1											1		
	12	surface						2	15	5	4	2	1		1						30	
	12	oblique				1	5	3	3	3											15	
	14	surface				2	6	12	8	2	2	1	3	4	1	1	1	1	1		45	
	14	oblique			1	1	4	6	9	2	3	3	3	1	1						33	
	15	surface			1	4	5	4	8	4	3	2									31	
	15	oblique			3	4	3	1	4	4	3										18	
	16	surface				4	1	2	1	2	3	2							2	1(11.0 mm)	18	
	16	oblique				3	4	2	1	1			1	1						1(12.0 mm)	14	

LARVAL TUNAS

TABLE 2. (continued)

			SIZE IN MILLIMETERS — TAMAÑO EN MILIMETROS																			
Cruise	Station	Type of tow	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	> 10.0	TOTAL	
Crucero	Estación	Tipo de arrastre																				
MZ-2	17	surface													1							1
MZ-3	12	surface			1		1	2	1	1	1				1							8
December 1966	12	oblique					1		1	1												3
	14	surface						1	1					1								3
	14	oblique						1		1	1											3
	16	surface					1		1						1				1			4
	16	oblique					1	1	1	1												4
	17	surface										1										1
MZ-4	2	surface																		1 (13.0 mm)	1	
January 1967	12	surface									1										1	2
	12	oblique												1								1
	16	oblique																		1		1
MZ-5	11	oblique						1				1									2	
February 1967	13	surface						2	1	1	1	1										6
	13	oblique						1														1
	15	surface							1				1		1							3
MZ-6	3	oblique							1												1	
April 1967	12	oblique							1													1
	15	oblique								1				1								1
	16	oblique													1							1
	17	surface					1															1
MZ-8	3	surface			1	3	18	7				2									31	
August 1967	3	oblique					5	1	1													7
	5	surface				1	1	1														3
	5	oblique				4																4
	8	oblique			1	1	4	1														7
	9	surface						1														1
	11	surface			1		3	6	3	1		1									1 (10.5 mm)	16
13	surface				1	2		5													8	
13	oblique					1															1	
14	oblique			1																	1	
15	surface					1															1	

Nota: oblique = oblicuo
surface = superficial

TABLE 3. The number of larval *Euthynnus lineatus* captured in plankton tows

TABLA 3. Número de larvas de *Euthynnus lineatus* capturadas en arrastres de plancton

Cruise Crucero	Station Estación	Type of tow Tipo de arrastre	Size in Millimeters — Tamaño en Milímetros					TOTAL
			4.5	5.0	7.0	8.0	10.0	
MZ-1	1	oblique	1					1
October 1966	2	surface				1		1
MZ-2	2	surface	2	1				3
November 1966	16	surface					1	1
MZ-3	4	surface			1			1
December 1966								

Nota: Oblique = oblicuo
surface = superficial

DISTRIBUCION, ABUNDANCIA Y ECOLOGIA DE ATUNES LARVALES A LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

por

W. L. Klawe, J. J. Pella¹, y W. S. Leet²

EXTRACTO

Este estudio está basado en las recolecciones de larvas de *Thunnus albacares*, *Euthynnus lineatus*, y *Auxis* sp. obtenidas según los arrastres superficiales y oblicuos de la red, realizados durante siete cruceros, cada uno a la entrada del Golfo de California a lo largo de un derrotero comparable, y cada uno durante distintos meses. Las mediciones correspondientes de la temperatura superficial, salinidad y de zooplankton se realizaron en cada una de las estaciones de plancton.

Las capturas de larvas *Auxis* sp. fueron examinadas mediante el análisis de la varianza para determinar cuales características ambientales se encontraban asociadas con el desove de este atún según lo indicaba la distribución de las larvas, y para obtener alguna idea del comportamiento de las larvas en sí mismas. Las pruebas indicaron que el desove de *Auxis* sp. varió significativamente entre los diferentes meses de los cruceros; indicaron también que si las larvas eran capaces de evitar el aparato de muestreo, esta habilidad no se relacionaba a las características asociadas con la hora del día de acuerdo a las condiciones de luz. El análisis no demostró ningún cambio en la distribución vertical de las larvas durante los meses del experimento. Se determinó que las larvas no exhiben un movimiento vertical diario. Las mediciones de temperatura, salinidad, y de los volúmenes de zooplankton fueron tratadas como covariables en el análisis. La temperatura superficial demostró ser un factor altamente importante en la explicación de la distribución de las larvas, pero la salinidad y los volúmenes de zooplankton no lo fueron.

Las capturas de *Thunnus albacares* y *Euthynnus lineatus* fueron pocas durante el curso de este estudio; éstas se discuten en términos cualitativos respecto a la época del año y a la temperatura superficial.

La distribución de los atunes larvales en el área de estudio fue comparada con la distribución de las masas superficiales de agua. Parece que estas masas no tienen influencia *per se* en la distribución de las larvas.

INTRODUCCION

En 1966, la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas de México y la Comisión Interamericana del Atún Tropical comenzaron una investigación en colaboración (denominada de ahora en adelante *Proyecto Mazatlán*) de variaciones geográficas y estacionales del desove de los túnidos y de las condiciones oceanográficas concurrentes en el área a la entrada del Golfo de California. A principios de 1967, este proyecto vino a formar

¹Afiliación actual, U. S. Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, Biological Laboratory, Auke Bay, Alaska 99821.

²Afiliación actual, U. S. Department of the Interior, Bureau of Commercial Fisheries, Regional Office, Terminal Island, California 90731.

parte integral del programa EASTROPAC, una investigación cooperativa internacional oceanográfica del Océano Pacífico oriental.

Entre octubre 1966 y agosto 1967, se realizaron siete cruceros de 5 días a lo largo de un derrotero triangular en la boca del Golfo de California, entre Mazatlán, Cabo San Lucas y las Islas Tres Marias (Figuras 1 a 7). Durante cada crucero se ocuparon de 15 a 17 estaciones y se colectaron datos oceanográficos; estos datos han sido reportados por Leet y Stevenson (1969).

Este informe presenta hallazgos en la distribución, abundancia y ecología de los atunes larvales obtenidos durante el Proyecto Mazatlán. Los hallazgos han sido analizados, discutidos y se han comparado con otros anteriores relativos a la biología de los atunes larvales.

La información sobre la distribución espacial y temporal del desove de los atunes puede ser valiosa en la administración de la pesquería al aclarar la estructura de la subpoblación de los stocks. Por ejemplo, los estratos múltiples, persistentes y diferentes del desove, pueden sugerir la existencia de subpoblaciones componentes. Sin embargo, es difícil observar directamente el desove de los atunes el cual ocurre en alta mar. Así que se han obtenido las conclusiones del estudio de sus gónadas especialmente de los ovarios, y según la distribución de sus juveniles. Los huevos pelágicos de atunes no son útiles en tales estudios porque actualmente no pueden identificarse con respecto a las especies reproductoras.

El interés en las formas larvales no se limita a la posibilidad de que ellas puedan servir como indicadores de la estructura subpoblacional. La investigación de la ecología larval puede eventualmente explicar la relación entre el éxito reproductivo y las características ambientales. Se analiza en este estudio, la relación entre la abundancia larval y varias variables oceanográficas, pero ésto es solamente el primer paso. La influencia de propiedades oceanográficas adicionales debe investigarse.

RECONOCIMIENTO

El Proyecto Mazatlán fue emprendido conjuntamente por la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas (DGP) del gobierno mexicano y la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). La DGP suministró los barcos de investigación y el laboratorio en la Estación de Biología Marina en Mazatlán para el trabajo experimental.

Varias personas pertenecientes a ambas organizaciones ayudaron con las diferentes fases del proyecto y es con el mayor gusto que expresamos nuestros sinceros agradecimientos por todo lo que han hecho. Estamos especialmente agradecidos con el Sr. Anatolio Hernández C., Jefe científico de la Estación de Biología Marina de la DGP en Mazatlán, y con el Sr. Balfre Maldonado G., Capitán del B/I *Yolanda*. Sin su ayuda no hubiera sido posible llevar a cabo esta contribución. El Dr. William H. Bayliff (CIAT) nos favoreció con su crítica constructiva en la preparación de este informe.

MÉTODOS Y MATERIALES

En investigaciones relativas a la delimitación del área y al tiempo de desove de los atunes, inferidas según la ocurrencia de los juveniles, se asume que la presencia de peces muy jóvenes indica un desove reciente en el área de captura. Esta suposición parece ser razonable para los atunes en nuestra área de estudio porque: (1) se cree que solamente se necesitan unos 2 días para que un huevo de atún sea incubado; (2) atunes muy jóvenes crecen rápidamente; y (3) las larvas de atún son planctónicas y por lo tanto están solo sujetas a desplazamiento por las corrientes oceánicas, las velocidades de las cuales no son muy grandes en la región de investigación. Las corrientes superficiales juegan el papel más importante en el desplazamiento de los atunes larvales. En el área de los 20° a 21°N y 107° a 108°W, el promedio de velocidad de la corriente superficial durante el año es 3.7 millas por día; el promedio mensual varía de 1.3 millas por día en setiembre, hasta 6.1 millas por día en marzo (Hubbs y Roden 1964). Como estas cifras son promedios de valores obtenidos durante un número de años, se puede esperar que ocurran ocasionalmente velocidades más grandes. Realmente, algunas de las velocidades calculadas según observaciones realizadas durante el Proyecto Mazatlán (Stevenson 1970) son casi el doble a la media de velocidad, pero aún así, los desplazamientos resultantes de los huevos y de las larvas no serían demasiado grandes.

Los atunes larvales empleados en este estudio son originarios de los tipos de arrastre de zooplancton, superficial y oblicuo. Ambos tipos de arrastre fueron realizados con redes cónicas de plancton teniendo la boca un aro de 1-metro en diámetro. El cuerpo principal de la red está fabricado con un material de monofilamento Nitex con aperturas de malla de 0.505-mm, mientras que el copo está fabricado con un material Nitex con aperturas de malla de 0.333 mm. Se instaló un correntómetro en la boca de la red.

Durante el arrastre superficial se arrastró la red durante 15 minutos detrás del barco, que viajaba a una velocidad aproximada de 2 nudos. La velocidad se ajustó para mantener la red justamente debajo de la superficie. A pesar de esto la red ocasionalmente salía parcialmente fuera del agua. Por lo tanto no se emplearon los cálculos del volumen de agua filtrada durante los arrastres.

Los arrastres oblicuos se realizaron permitiendo primero que la red se hundiera libremente a una velocidad promedio de 50 m por minuto aflojando hasta 110 m del alambre de arrastre. Luego se haló la red a una velocidad de unos 20 m por minuto. Al ajustar la velocidad del barco, el ángulo del alambre de arrastre se mantuvo a unos 45°. Así que un arrastre oblicuo representa una halada de la red que empieza teóricamente a una profundidad de 77.8 m y termina en la superficie.

La mayoría de las veces se ocuparon cuatro estaciones durante cada día en cada crucero. Las horas prescritas para las cuatro estaciones fueron medianoche, mediodía, 6 a.m. y 6 p.m. Casi todas las estaciones fueron

ocupadas en el transcurso de 1 hora del tiempo prescrito, de manera que los arrastres de plancton pueden dividirse en cuatro grupos de acuerdo a la hora del día.

Se preservó el zooplancton en una solución del 5% de formalina preparada con agua de mar. Se midió el volumen de zooplancton para cada arrastre. Los atunes larvales fueron separados de las muestras de plancton en el laboratorio de Mazatlán, y se identificaron mediante el empleo de varias publicaciones, especialmente según los dos estudios de Matsumoto (1958, 1959).

En este informe la longitud total de las larvas y de los atunes juveniles es la distancia más directa desde la punta del hocico hasta el radio mediano más corto de la aleta caudal. Se estimó la longitud total de las larvas que después de haber sido conservadas se encontraban deformadas.

Con el fin de examinar los efectos que puedan tener ciertos aspectos físicos del ambiente en la abundancia de atunes larvales, se tomaron durante las redadas mediciones de la temperatura superficial y de la salinidad superficial. El programa de muestreo fue diseñado para que los datos pudieran ser analizados mediante el análisis de la varianza.

COMPOSICION DE ESPECIES

Se identificaron las larvas de las siguientes especies de atunes en las muestras: atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*; melva, *Auxis* spp.; y barrilete negro, *Euthynnus lineatus* (Tablas 1-3). *Auxis* sp. puede incluir tanto *A. rochei* como *A. thazard*. El problema en identificar *Auxis* sp. jóvenes, ha sido discutido por Matsumoto (1959), y Fitch y Roedel (1963).

Se sabe que en el área de investigación se encuentran adultos de las siguientes especies de atunes: atún aleta amarilla; atún ojo grande (patudo) *Thunnus obesus*; atún barrilete, *Katsuwonus pelamis*; barrilete negro; y melva. El atún aleta amarilla y el barrilete son suficientemente comunes en el área para ser el objeto de una pesquería comercial. El atún ojo grande ha sido obtenido ocasionalmente en esta región por palangreros japoneses atuneros (Sr. Susumu Kume, Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japón, *comunicación personal*). La presencia de barrilete negro ha sido mencionada por Calkins y Klawe (1963). Se supone según Uchida (1963) y Fitch y Roedel (1963) que ambas especies de melva aparecen en el área de estudio. Godsil (1954) ha documentado capturas de *A. thazard* frente al Cabo San Lucas.

La composición de especies de las capturas de atunes larvales del Proyecto de Mazatlán es la siguiente:

	Número colectado	Porcentaje de la Captura total
<i>Thunnus albacares</i>	22	3.6
<i>Auxis</i> sp.	577	95.2
<i>Euthynnus lineatus</i>	7	1.2

Klawe (1963) reportó sobre atunes larvales obtenidos en las recolecciones de zooplancton en el área circunscripta por los 20°N, 110°W, y en el litoral mexicano durante 1958-1959. La composición de captura de las larvas fue:

	Número colectado	Porcentaje de la Captura total
<i>T. albacares</i>	90	9.6
<i>Auxis</i> sp.	852	90.4
<i>E. lineatus</i>	0	0

La diferencia entre la composición de las capturas según este estudio y el anterior se cree insignificante, especialmente desde que las estaciones del año en las que se hicieron los arrastres de plancton no corresponden bien respecto a los dos estudios. Además, la mayoría de los arrastres de plancton en 1958-1959, fueron realizados en alta mar lo cual puede ser la causa del ausentismo de *E. lineatus* en las recolecciones realizadas en esa época. La mayoría de *E. lineatus* capturado durante el Proyecto Mazatlán proviene de estaciones oceanográficas cercanas al litoral.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA

Los derroteros de los cruceros y las estaciones ocupadas durante los siete cruceros del programa (los cruceros fueron designados como MZ-1 hasta MZ-6 y MZ-8) fueron graficados en las Figuras 1-7. La captura total (la suma de las capturas realizadas por arrastres oblicuos y superficiales) de atunes larvales de cada uno de los tres géneros, está también indicada en estas figuras. En las Figuras 8 y 9, compuestas por los siete cruceros, cada uno de los símbolos representa la posición de una estación ocupada durante uno de los cruceros. Las estaciones donde fueron capturados atunes larvales de un género determinado, se diferencian mediante símbolos apropiados de aquellas en las que no se obtuvieron tales larvas.

Las localidades en las que se obtuvieron larvas de los tres géneros de atunes, no están uniformemente distribuidas entre todas las estaciones ocupadas durante los siete cruceros (Figuras 8 y 9). La distribución geográfica de las capturas de los atunes larvales está fuertemente influenciada por la distribución de algunas de las propiedades oceanográficas. Antes de tratar este sujeto, debemos destacar brevemente algunas características en el área de investigación de la distribución espacial de los tres géneros.

Atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*

Las larvas de esta especie fueron capturadas solamente en dos áreas generales. La mayoría de las capturas provinieron de arrastres de plancton realizados en las estaciones ubicadas al sur de los 21°N, pero algunas fueron obtenidas en dos localidades justamente al sur de la punta de Baja California (Figura 8).

Melva, *Auxis* sp.

Las larvas de este género no solamente fueron las más numerosas en las capturas pero estaban distribuidas en un área mucho más grande (Figura 9). Sin embargo, la distribución de las capturas aparentemente no es aleatoria. Al norte de los 21°N y al oeste de una línea imaginaria entre Cabo Corrientes y Cabo San Lucas las capturas fueron infrecuentes. Así que en casi todos los cruceros no se obtuvieron capturas en las estaciones 6 hasta la 9.

Barrilete negro, *Euthynnus lineatus*

Solo se obtuvieron siete larvas de esta especie durante los cruceros. Todas las cinco estaciones donde se obtuvieron larvas, menos una, están localizadas a lo largo de la línea que se extiende desde Mazatlán hacia el oeste (Figura 8). Se obtuvo una larva en una estación justo al norte de la Isla María Madre en el grupo de las Tres Marías. Está bien establecido que las formas adultas y jóvenes de esta especie aparecen casi siempre cerca a las masas litorales e islas (Calkins y Klawe 1963) y, a diferencia de otros atunes del Océano Pacífico oriental, se encuentran rara vez en localidades puramente oceánicas (Matsumoto y Kang 1967).

EFFECTOS TEMPORALES Y OCEANOGRÁFICOS**Melva, *Auxis* sp.**

La información de las capturas de *Auxis* sp. larval se presentan en la Tabla 2. Las mediciones concomitantes de la temperatura superficial, salinidad superficial y zooplancton, como también otra información respectiva fueron compendiadas según el trabajo de Leet y Stevenson (1969). La estructura de los datos es semejante al diseño simple de las parcelas subdivididas con las estaciones de muestreo como parcelas enteras y las zonas someras y profundas en la estación como subparcelas (ej. véase a Cochran y Cox 1957). El argumento que conduce a este diseño incluye la observación de que las capturas de larvas en los dos lances en una estación determinada parecen estar correlacionadas ($P < .01$), y que intencionalmente se realizaron en cada estación lances superficiales y oblicuos. Consideramos las estaciones como una muestra aleatoria de posibles estaciones en la región del muestreo así que nuestras conclusiones en lo sucesivo serán aplicadas tácitamente a la región del muestreo. Si hay alguna objeción de parte del lector, las conclusiones se aplican únicamente a las estaciones muestreadas.

No fue práctico aleatorizar la hora del día en la que cada estación fue muestreada, lo que hubiera reducido el análisis a un simple diseño de las parcelas subdivididas donde todas las parcelas se encuentran en un diseño completamente alternado, con los cruceros y las horas del día como clasificaciones. En vez de esto cada estación particular fue casi siempre muestreada a la misma hora del día, en todos los cruceros, lo cual indica que los efectos de la estación o de la parcela entera están unidos con los efectos

de la hora del día. Hemos intentado separar por lo menos parcialmente el efecto de la estación y la hora del día mediante la eliminación de la variación en las capturas, atribuible a la temperatura y salinidad en cada estación. Encontraremos que estas covariables son causantes de la mayoría de la variación en las capturas, pero no puede esperarse que eliminen completamente los efectos de la estación de los efectos de la hora del día. Si pudiéramos considerar las estaciones como aleatorias respecto a la distribución de las larvas después de tomar en cuenta las covariables, entonces la confusión entre los efectos de la estación y la hora del día desaparecerían. Esto parece factible sobre una base intuitiva ya que *Auxis* sp. se reproduce oceánicamente, así que podemos esperar que la intensidad del desove sea aleatoria con respecto a nuestro modelo de estación después de que se haya tomado en cuenta la temperatura y salinidad. Además la mezcla de las aguas oceánicas debe distribuir las larvas en la región del muestreo. No obstante, más tarde modificaremos cualquier aserto referente a los efectos de la hora del día.

Supondremos que las interacciones de tres factores entre el crucero, hora del día y la profundidad del arrastre no existen. Una ojeada preliminar de los datos nos convenció de que la suposición era válida lo cual hizo que el análisis fuera más rápido. Además, supondremos que los polinomiales cúbicos de la temperatura y salinidad eran adecuados para describir cualquier relación entre esas variables y la distribución larval. Se supone que sea adecuada una relación lineal entre la abundancia del zooplancton y las larvas para describir la posible relación entre esas variables. Deberíamos observar que estas dos últimas suposiciones parece que estén apoyadas por los resultados del análisis. Finalmente haremos la suposición usual de normalidad, de la varianza común y de la independencia de los términos de error del modelo. Una transformación logarítmica de nuestros datos de captura se emplea con el fin de que las suposiciones del análisis de la varianza puedan satisfacerse.

La suma de los cuadrados atribuible a los varios factores fue calculada por el método del ajustamiento de las constantes mediante el empleo del programa computador BIMD14 (Dixon 1961). Estrictamente hablando, el método del ajustamiento de las constantes es solamente apropiado si el cálculo está completamente equilibrado o si todas las interacciones entre los efectos principales se encuentren ausentes. Nuestro análisis de aproximación se encuentra justificado en dos bases: (1) El experimento se encuentra solo ligeramente desequilibrado. En el análisis de la parcela entera 23 de las 28 células crucero-hora contenían 4 observaciones, 2 células contenían 3 observaciones, 2 células contenían 5 observaciones, y 1 célula contenía 6 observaciones. Estos arrastres estaban siempre igualmente divididos entre arrastres oblicuos y superficiales; (2) Si empleamos el método del análisis para modelos especificados incompletos (ejemplo Bancroft 1964), llegaríamos a la misma conclusión respecto a estos datos. Usando el nivel del 25 por ciento de prueba para las interacciones, solo la

interacción entre el crucero y el tipo del arrastre sería significativo (véase tabla más adelante), y esa interacción no es significativa al nivel de 10 por ciento. Consideramos que esta interacción es biológicamente improbable. Por lo tanto el modelo aditivo y el método del ajustamiento de las constantes parece que sean los apropiados. Las sumas de los cuadrados en la tabla que sigue serán por lo tanto insesgadas, pero no lo suficientemente estimadas.

Origen	gl	SC	CM	F
Crucero (C)	6	4.99343	0.83224	4.108**
Hora del día (T)	3	0.99224	0.33074	1.632
C × T	18	4.00791	0.22266	1.099
Covariables de la estación				
temperatura	3	5.77373	1.92458	9.499**
lineal	1	3.84171	3.84171	18.962**
cuadrática	1	1.82761	1.82761	9.021**
cúbica	1	0.10441	0.10441	< 1
salinidad	3	0.14885	0.04962	< 1
Error de la estación	80	16.20822	0.20260	
Tipo de arrastre (D)	1	0.35338	0.35338	5.304*
C × D	6	0.59739	0.09957	1.494
T × D	3	0.04298	0.01433	< 1
Covariable de la zona de profundidad				
zooplancton	1	0.07227	0.07227	1.085
Error de la zona de profundidad	103	6.86326	0.06663	

* significativo al nivel del 5%

** significativo al nivel del 1%

Trataremos los datos como si hubieran sido obtenidos según un cálculo equilibrado. Vemos primero que las capturas de larvas difieren significativamente entre los cruceros. Esta prueba es válida a pesar del problema mencionado anteriormente referente al muestreo sistemático de las estaciones a ciertas horas del día. Se grafican para cada crucero en la Figura 10 los valores promedio de la variable dependiente usada en este análisis, \log_{10} (cantidad obtenida + 1) o y . Se capturaron larvas de *Auxis* sp. en cada mes de muestreo, pero de agosto a noviembre y, especialmente en octubre, las larvas fueron más abundantes que en otros meses. En las 28 recolecciones realizadas en el período 1958-1959 (Klawe 1963), se encontraron larvas de *Auxis* sp. en cada mes de recolección, *i.e.* enero, febrero, junio y setiembre. Las muestras de febrero, sin embargo, incluían la cantidad mayor de larvas. Este último ápice de desove sugerido por las recolecciones larvales de 1958-1959 tal vez es debido a las diferencias de las localidades de muestreo dentro del área general, como también a cambios ambientales o a otras causas. Sin embargo, debe observarse, que un ápice de desove en la primera parte del año es compatible con los hallazgos basados en las recolecciones de *Auxis* sp. realizadas frente a Cabo Blanco, Costa Rica (Klawe *op. cit.*).

No parece que exista evidencia de que la hora del día fuera un importante factor. La prueba para la hora del día como también aquella de la interacción entre la hora del día y el tipo de arrastre no fueron significativas. Ya hemos discutido las dificultades que se encuentran al interpretar esta prueba particular debido al muestreo sistemático. Sin embargo, como se discutió anteriormente, tal vez sería razonable aceptar las posiciones aleatorias de las estaciones con respecto a la distribución larval después de tomar en cuenta la temperatura y salinidad. Si este es el caso, la prueba es completamente válida para juzgar los efectos de la hora del día. Los resultados indicarían que cualquier capacidad que las larvas hubieran tenido en evitar el aparato de muestreo, no estaba sujeta a las características relacionadas a la hora del día, tales como son las condiciones de luz.

Además, no parece que haya evidencia respecto a un movimiento vertical diurno significativo de las larvas en la columna de agua. Si hubiera ocurrido tal movimiento, hubiéramos descubierto una interacción entre el tipo de arrastre y la hora del día, *i.e.*, los lances superficiales deberían diferir entre las horas del día, mientras que los lances oblicuos no deberían diferir ya que estos últimos penetran hasta la termoclina y por lo tanto a través de la profundidad habitada por atunes larvales (Klawe 1963). Incidentalmente esta prueba es válida a pesar del problema del muestreo sistemático.

Se descubrió el efecto del tipo de arrastre. Como las capturas no podían standardizarse en relación al volumen de agua filtrada por los dos tipos de arrastre, este resultado no tiene significado.

La interacción del crucero con la profundidad del arrastre no se juzgó significativa según la prueba. Esto lo interpretamos de que por medio de nuestras técnicas no hubo un cambio mensurable en la distribución vertical de las larvas durante el curso del muestreo.

La falta de alguna relación entre el zooplancton y las capturas larvales de *Auxis* sp. está de acuerdo con los hallazgos de Strasburg (1960) y Nakamura y Matsumoto (1966). Similarmente, la salinidad probó ser inefectiva para explicar las variaciones de las capturas de *Auxis* sp., pero puede que esto sea debido a la poca amplitud de los límites de distribución de la salinidad en el período de tiempo y área del estudio. Tal vez las salinidades comúnmente encontradas por *Auxis* sp. no tienen importancia en afectar la distribución. Por otra parte, la salinidad puede tener un efecto importante bajo un régimen distinto de temperatura (ej. Alderdice y Forrester 1968) pero nuestros datos no son adecuados para examinar esta posibilidad.

La temperatura es evidentemente una variable muy importante para *Auxis* sp. Un gráfico sencillo de la variable dependiente contra la temperatura sugiere una relación curvilínea (Figura 12). Según vemos por el análisis de la varianza, los términos más allá del segundo grado (una parábola) no fueron significantes. La Figura 11 sugiere una temperatura óptima de unos 27°C.

Atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y barrilete negro, *Euthynnus lineatus*

Las capturas de atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y de barrilete negro, *Euthynnus lineatus*, fueron muy pocas para utilizar el método del análisis de la varianza para examinar la significación de los factores usados en el análisis de *Auxis* sp. Consecuentemente discutiremos estas dos especies en términos cualitativos. Debido a la escasez de datos limitaremos nuestras anotaciones a los efectos de la época del año y a la temperatura superficial.

Atunes aleta amarilla larvales fueron capturados en agosto, octubre, noviembre y diciembre, con las capturas más grandes en noviembre (Tabla 1).

El trabajo extenso de Orange (1961) sobre el desarrollo de los ovarios del atún aleta amarilla del Océano Pacífico oriental no puede aplicarse directamente aquí, ya que ninguna de las áreas individuales que él escogió se aproximan a la región investigada durante el Proyecto de Mazatlán. Sin embargo, es interesante examinar los hallazgos de Orange referentes a las áreas frente a México Central, Baja California, Golfo de California y las Islas Revillagigedo. Orange considera que el desove en el Golfo de California ocurre en agosto y setiembre, frente a Baja California en setiembre, y cerca a las Islas Revillagigedo en agosto. Encontró que el desove frente a México Central ocurre durante todo el año, con máximos en el segundo y tercer trimestres, pero debe observarse que tenía pocas muestras de esta área para setiembre y octubre.

Los datos reportados por Klawe (1963) respecto a las colecciones de larvas del área del Proyecto Mazatlán, indican un máximo posible de desove en junio. Según 4 arrastres de redes realizados en enero, 4 en febrero, 16 en junio y 4 en setiembre, se encontraron 88 larvas de atún aleta amarilla en los arrastres de junio y 2 en los arrastres de setiembre. Así que no podemos excluir la interesante posibilidad de dos máximos de desove y de dos grupos de reclutas en el área del Proyecto Mazatlán, uno a fines de la primavera y el otro en el otoño.

Se obtuvieron solamente siete larvas de barrilete negro *Euthynnus lineatus* durante el Proyecto Mazatlán (Tabla 3). Estas fueron colectadas en octubre, noviembre y diciembre. Klawe (1963) sacó en conclusión que *E. lineatus* desova durante todo el año en las áreas más cálidas del Océano Pacífico oriental. Frente a Cabo Blanco, Costa Rica, *E. lineatus* aparentemente desova a principios de la primavera. Tal vez, conforme es el caso de *Auxis* sp., el máximo del desove de esta especie en la boca del Golfo de California ocurre más temprano que frente a Cabo Blanco.

Las Figuras 12 y 13 ilustran la relación entre la temperatura superficial y la distribución larval de *T. albacares* y *E. lineatus*. La Figura 12 está basada en las pocas observaciones del Proyecto Mazatlán, mientras que la Figura 13 está basada en 970 arrastres oblicuos y superficiales de zooplancton realizados durante varios años en estaciones ampliamente distribuidas en el Océano Pacífico oriental (Klawe 1963: Tablas 2 y 5). Un

aumento marcado en la proporción de arrastres conteniendo larvas de *T. albacares* y *E. lineatus*, ocurrió en las estaciones donde las temperaturas superficiales excedieron 26° o 27°. Esto es especialmente digno de atención respecto a la Figura 13 pero es también evidente según los datos de Mazatlán (Fig. 12) a pesar de tener menos observaciones.

MASAS DE AGUA Y DISTRIBUCION DE ATUNES LARVALES

Ya hemos discutido la influencia, o falta de influencia, de la temperatura superficial, salinidad superficial y de las estaciones en la distribución y abundancia de los atunes larvales. Es evidente que la temperatura y la salinidad en una localidad determinada dentro del área de estudio se encuentran influenciadas por la circulación dentro de la región y por la insolación y otras condiciones meteorológicas, y que éstas sufren cambios estacionales.

Los grandes cambios anuales en la circulación han sido informados por Roden y Groves (1959), Wyrski (1965 y 1967), Griffiths (1968), Stevenson (1970) y otros. El trabajo de Stevenson puede aplicarse especialmente a nuestro estudio porque está basado en datos del Proyecto Mazatlán.

Stevenson (*op. cit.*), de acuerdo a Roden y Groves (*op. cit.*), considera que en la superficie del área de la cual se trata en el Proyecto Mazatlán se encuentran tres masas de agua; *i.e.* (1) el Agua de la Corriente de California, (2) el Agua Oriental Tropical, y (3) el Agua del Golfo de California. Con el objeto de que sea más conveniente usaremos estos mismos nombres en la discusión que se dará a continuación, aunque nos damos cuenta de los problemas indicados por Griffiths (1968).

Durante los cruceros de octubre y noviembre (MZ-1 y MZ-2), parece que las larvas están asociadas predominantemente con el Agua del Golfo de California y el Agua Oriental Tropical. Sin embargo, durante ambos cruceros, se obtuvieron también larvas de *Auxis* sp., y de *Thunnus albacares* cerca al Cabo San Lucas en lo que parece ser Agua de la Corriente de California. Durante diciembre y enero (MZ-3 y MZ-4), las pocas larvas obtenidas se asociaron con el Agua del Golfo de California y el Agua Oriental Tropical. En febrero (MZ-5) todas las 12 larvas de *Auxis* sp. fueron colectadas en lo que se cree sea el Agua Oriental Tropical. En abril (MZ-6), se capturaron algunas de las *Auxis* sp. en el Agua Oriental Tropical y algunas en el Agua del Golfo de California. En agosto (MZ-8), se encontraron larvas de *Auxis* sp. en todas las tres masas de agua, y la única larva de *T. albacares* fue encontrada en el Agua Oriental Tropical.

El Agua Oriental Tropical y el Agua del Golfo de California en las que se obtuvieron la mayoría de las larvas son por lo general más cálidas que el Agua de la Corriente de California. Aquellas larvas colectadas en el Agua de la Corriente de California fueron obtenidas únicamente cuando esta masa de agua era cálida. Esta observación, junto con el hecho de que según un análisis estadístico no parece que la salinidad tenga una influencia significativa en la aparición de larvas de *Auxis* sp. en nuestras capturas, nos conduce a suponer que en el área de estudio las masas de agua no tienen relación *per se* con la distribución de los atunes larvales.

LITERATURE CITED — LITERATURA CITADA

- Alderdice, D. F., and C. R. Forrester. 1968. Some effects of salinity and temperature on early development and survival of the English sole (*Parophrys vetulus*). J. Fish. Res. Bd. Canada 25(3): 459-521.
- Bancroft, T. A. 1964. Analysis and inference for incompletely specified models involving the use of preliminary test(s) of significance. Biometrics 20(3): 427-442.
- Calkins, Thomas P., and Witold L. Klawe. 1963. Synopsis of biological data on black skipjack *Euthynnus lineatus* Kishinouye 1920. In: Rosa, H., Jr. (Ed.) Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. Fish. Rep., FAO, 2(6): 130-146.
- Cochran, W. G., and G. M. Cox. 1957. Experimental Design. John Wiley and Sons, New York, 2nd ed., : xiv + 611 pp.
- Dixon, W. J. (editor). 1961. BIMD Computer Programs Manual. Division of Biostatistics, Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, University of California, Los Angeles.
- Fitch, John E., and Phil M. Roedel. 1963. A review of the frigate mackerels (genus *Auxis*) of the world. In: Rosa, H., Jr. (Ed.) Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. Fish. Rep., FAO, 3(6): 1329-1342.
- Griffiths, Raymond C. 1968. Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. Spec. Scient. Rep.—Fish., U. S. Fish Wildl. Serv., (573): 47 pp.
- Godsil, H. C. 1954. A descriptive study of certain tuna-like fishes. Fish Bull., Calif. Dept. Fish Game, (97): 185 pp.
- Hubbs, Carl L., and Gunnar I. Roden. 1964. Oceanography and marine life along the Pacific coast of Middle America. In: Wauchope, Robert (Gen. Ed.) Handbook of Middle American Indians. Vol. 1, Natural Environment and Early Cultures. Edited by Robert C. West, : 143-186, University of Texas Press.
- Klawe, Witold L. 1963. Observations on the spawning of four species of tuna (*Neothunnus macropterus*, *Katsuwonus pelamis*, *Auxis thazard* and *Euthynnus lineatus*) in the eastern Pacific Ocean, based on the distribution of their larvae and juveniles. [In English and Spanish]. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 6(9): 447-540.
- Leet, W. S., and M. R. Stevenson. 1969. Oceanographic observations for the Mazatlan Project: October 1966—August 1967. Data Report, Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. (3): 249 pp.

- Matsumoto, Walter M. 1958. Description and distribution of larvae of four species of tuna in central Pacific waters. Fishery Bull. Fish Wildl. Serv., U. S., 58(128): 31-72.
- . 1959. Description of *Euthynnus* and *Auxis* larvae from the Pacific and Atlantic Oceans and adjacent seas. Dana-Rep., Carlsberg Foundation, (50): 34 pp.
- Matsumoto, Walter M., and Tagay Kang. 1967. The first record of black skipjack, *Euthynnus lineatus*, from the Hawaiian Islands. Copeia, (4): 837-838.
- Nakamura, Eugene L., and Walter M. Matsumoto. 1966. Distribution of larval tunas in Marquesan waters. Fishery Bull. Fish Wildl. Serv., U. S., 66(1): 1-12.
- Orange, Craig J. 1961. Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the eastern tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development. [In English and Spanish]. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 5(6): 457-526.
- Roden, Gunnar I., and Gordon W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. J. Mar. Res. 18(1): 10-35.
- Stevenson, M. R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance of the Gulf of California, October 1966-August 1967. [In English and Spanish]. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 14(3).
- Strasburg, Donald W. 1960. Estimates of larval tuna abundance in the central Pacific. Fishery Bull., Fish Wildl. Serv., U. S., 60(167): 231-255.
- Uchida, Richard N. 1963. Synopsis of biological data on frigate mackerel *Auxis thazard* (Lacépede) 1802 (Pacific Ocean). In: Rosa, H., Jr. (Ed.) Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. Fish. Rep., FAO 2(6): 241-273.
- Wyrтки, Klaus. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. [In English and Spanish]. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 9(5): 269-304.
- . 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. Limnol., 1(2): 117-147.