

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

Bulletin — Boletín

Vol. 15, No. 2

**SEA SURFACE TEMPERATURE AND THE DISTRIBUTION AND  
APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK (*KATSUWONUS  
PELAMIS*) IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN, 1951-1968**

**TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR, Y LA  
DISTRIBUCION Y ABUNDANCIA APARENTE DEL BARRILETE  
(*KATSUWONUS PELAMIS*) EN EL OCEANO PACIFICO  
ORIENTAL, 1951-1968**

by — por  
**F. Williams**

La Jolla, California  
1970

**CONTENTS — INDICE**

**ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES**

	Page
ABSTRACT.....	231
INTRODUCTION.....	231
ACKNOWLEDGEMENTS.....	233
METHODS.....	233
RESULTS.....	237
Oceanographic conditions as indicated by the surface thermal structure.....	237
Occurrence of skipjack and sea surface temperature.....	240
Apparent abundance of skipjack and sea surface temperature.....	242
Annual thermal conditions and skipjack abundance.....	245
APPENDIX 1. Skipjack abundance and sea surface temperature in Baja California waters in 1955 and 1958.....	246
—————	
FIGURES — FIGURAS.....	248
—————	
TABLE — TABLA.....	255

**VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION**

	Página
EXTRACTO.....	259
INTRODUCCION.....	259
RECONOCIMIENTO.....	261
METODOS.....	261
RESULTADOS.....	266
Condiciones oceanográficas según han sido indicadas por la estructura termal de la superficie.....	266
Aparición de barrilete y temperatura superficial del mar.....	269
Abundancia aparente de barrilete y temperatura superficial del mar.....	272
Condiciones termales anuales y abundancia de barrilete.....	275
APENDICE 1. Abundancia de barrilete y temperatura superficial del mar en aguas de Baja California en 1955 y 1958.....	276
—————	
LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	277
—————	
APPENDIX TABLES 1, 2 — TABLAS 1, 2 DEL APENDICE.....	279

**SEA SURFACE TEMPERATURE AND THE DISTRIBUTION AND  
APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK (*KATSUWONUS  
PELAMIS*) IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN, 1951-1968**

by

**F. WILLIAMS<sup>1</sup>**

**ABSTRACT**

Isograms of sea surface temperature ( $^{\circ}$ C) have been produced for 1949-1968 for the areas of the eastern Pacific Ocean in which the majority of the skipjack catch is taken. These are in the immediate coastal zone, California ( $35^{\circ}$  N) to Chile ( $20^{\circ}$  S), and the Revillagigedo and Galapagos Islands groups. Skipjack occurrence and apparent abundance (as CSDF, i.e., catch per standard days fishing, standardized in purse-seiner units) for 1951-1968 were then superimposed on the surface temperature isograms. Results show that skipjack occur at surface temperatures  $> 17^{\circ}$  C but with the majority between  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  C. Apparent abundance at CSDF  $> 1$  ton/day is normally limited to  $20^{\circ}$ - $29^{\circ}$  C water, except in two areas in certain years; from the Gulf of Tehuantepec to Cape Mala rates of 1-9 tons/day are relatively common at  $29^{\circ}$ - $30^{\circ}$  C, and off Chimbote (Peru) occasionally  $> 9$  tons/day are recorded down to  $18^{\circ}$  C. As expected there were no apparent relationships between annual thermal conditions in the coastal zone and skipjack abundance (total catch or indices of abundance) in the same or 2 subsequent years.

An Appendix to the report determines the quantitative relationships between surface temperature and skipjack abundance in relatively small areal strata in Baja California waters in 1955 and 1958. Relationships generally appeared significant and opposite in these years when temperatures were respectively anomalously cold and warm.

**INTRODUCTION**

Blackburn (1965) and Nakamura (1969) in reviews of tuna ecology, oceanography and migrations, have shown that overall limits of distribution of most tuna species, including skipjack, can be clearly defined by temperature. Laevastu and Rosa (1963) indicated on a world scale that the optimal temperature range for occurrence of skipjack was  $17^{\circ}$ - $28^{\circ}$  C, and for presence in major fisheries  $19^{\circ}$ - $23^{\circ}$  C. Reference to individual regions of the world oceans shows some variations in these limiting isotherms. Robins (1952) found large concentrations of skipjack (no existent fishery due to lack of demand) off S.E. Tasmania in the temperature range  $16^{\circ}$ - $18^{\circ}$  C and with actual presence as low as  $15^{\circ}$  C. Conversely off South

---

<sup>1</sup>Associate Research Biologist, Institute of Marine Resources, Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego, California 92037.

India, Jones and Silas (1963) reported regular catches of skipjack in waters from 27°-30° C. Uda (1957), discussing the species in Japanese waters, gave limits of 17.5°-30° C for occurrence and 20°-24° C in the major fishery.

In the eastern Pacific, Blackburn and associates (1962) and Broadhead and Barrett (1964) showed, with certain exceptions, that a range of 20°-28° C was probably valid for fishable concentrations of skipjack. In recent work (based on data collected from 1959-1966) Blackburn (1969 and pers. comm.) has indicated that in the northern region fishery off western Baja California, the specified lower limit of 20° C was normally correct, except that in June 1964—early in the season—fishable concentrations (> 3 tons/day, baitboat) were located close to the 17° C surface isotherm in one 1-degree square. Otherwise he found that skipjack did not cross the 20° C isotherm even though food was plentiful on the cold side of it, but as the temperature increased on cessation of upwelling so the skipjack began to enter the area of food concentrations. For the upper range limit, 28° C seemed satisfactory, except that in 1956 unusually large fish were caught in water up to 30° C (Broadhead and Barrett, 1964); however, in offshore Baja California water, temperatures > 28° C are rare. In the southern region fishery off the west coast of South America, except again for 1956, the upper range limit could be placed at about 28° C. For the lower limit 17° C was at certain times in a few areas more acceptable than 20° C; however, the major fishery off South America occurred in waters between 20°-24° C. Broadhead and Barrett (1964) suggested that a lower limit of 17° C occurred when surface temperature dropped rapidly due to upwelling during a period of high skipjack abundance.

It has been proposed by Blackburn (1965, 1969) that within the suitable temperature range, distribution and abundance of skipjack are controlled by distribution and abundance of suitable food.

The work of Broadhead and Barrett (1964), which dealt with both yellowfin and skipjack tuna, covered the period 1951-1960 for baitboat catches only. The present study, which deals only with skipjack, updates the data to the end of 1968; in addition, data on purse-seiner catches for the period 1951-1968 are utilized. Broadhead and Barrett were unable to use the purse-seiner data because at that time it was not possible to compare satisfactorily the efficiency of the two types of gear, and apparent abundance derived from them. However, Joseph and Calkins (1969) derived an expression for the relationship between catch per unit effort for baitboats and purse-seiners which now permits comparison of apparent abundance for the two gears combined with sea surface temperature.

The temperature data are of similar origin to those used in Broadhead and Barrett (1964), i.e., National Weather Bureau, Nashville, records, but now in the form of a sea-surface temperature atlas of the North Pacific Ocean by months for the period 1949-1962 (Eber, Saur and Sette, 1968).

For the period subsequent to 1962, temperature data are derived from monthly charts compiled by the Bureau of Commercial Fisheries, Fishery-Oceanography Center, La Jolla.

Joseph and Calkins (1969), on the basis of data to 1967, have shown there was no apparent relationship between fishing effort and apparent abundance of skipjack in the eastern Pacific, but that there was a positive relationship between total effort and total catch excluding 1951-1953. Therefore variations in the values of apparent abundance (as catch per unit effort) for the period now under review probably reflect the fluctuations in abundance due to fishery-independent factors.

### ACKNOWLEDGEMENTS

I am grateful to the Director of Investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for permission to utilize statistics on the skipjack fishery in the eastern Pacific Ocean collected and processed by the Commission. Appreciation is expressed to M. Blackburn, E. B. Davidoff, E. D. Forsbergh, J. Joseph, A. R. Longhurst, F. R. Miller, C. L. Peterson and M. R. Stevenson, for comments and advice during the preparation of this report. M. Blackburn and J. Joseph also read and made comments on the manuscript.

This work was part of the research of the STOR (Scripps Tuna Oceanography Research) Program. It was supported by the U. S. Bureau of Commercial Fisheries under Contracts 14-17-0007-963 and 14-17-0007-989.

### METHODS

Perhaps the most satisfactory manner in which to consider the overall relationship between skipjack distribution and abundance, and sea surface temperature, would be to superimpose a grid of monthly charts of skipjack catch per unit effort by 1-degree squares on a monthly plot of mean surface temperatures in the form of an atlas for a given series of years (as in Eber, Saur and Sette, 1968). Unfortunately this would require an inordinate amount of time and an excessive number of charts.

Broadhead and Barrett (1964) utilized Marsden sub-areas (blocks of four 1-degree squares) since monthly sea surface temperatures ( $^{\circ}$ F) were available for them. In this manner they covered the coastal tuna fishing areas from California to Chile, and also the major offshore island groups—Revillagigedo and Galapagos Islands (see Fig. 7, Broadhead and Barrett 1964). Similarly catch (C) and catch per standard days fishing (CSDF) were estimated for the Marsden sub-areas from the available data by 1-degree squares. The method of Broadhead and Barrett in giving a continuous time and area sequence along the coast, by plotting time on the

abscissa and areas along the ordinate, was considered satisfactory. However, those authors pointed out that projection of the data in this manner did cause considerable distortion (compression) in the Central American area where the coastline lies northwest-southeast, and also that north-south and east-west sequences were difficult to plot on the same diagram. The present method of projection is an attempt to eliminate the problems concerned with scale distortion in the Central American area.

The area along the coast was divided into statistical units or bands 1-degree wide, the outer boundaries being the average offshore limits of significant catches of skipjack. A guide to these limits is given in the annual charts of skipjack catch given in Joseph and Calkins (1969, Append. Fig. 1A-15A) for the years 1951-1965 and in unpublished Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) data for 1965-1968. In recent years, especially 1969, the increasing offshore penetration by the purse-seine fishery southwestwards towards Clipperton Island, has produced mainly yellowfin tuna, but some significant amounts of skipjack were also taken. Thus "average conditions" of skipjack distribution based on fishery statistics are changing. The boundaries of the coastal zone and offshore island areas used in this report are shown in Figure 1; the 1-degree squares comprising the 1-degree bands shown in Figure 1 are listed in Table 1 using the IATTC numerical code.

It was decided that the projection of 1-degree bands would be latitudinal everywhere except between Cape Corrientes and La Union where, to avoid distortion, it would be on a longitudinal basis, i.e., from meridians 106° W to 88° W. Overlap occurs in the two 1-degree squares shown hatched in Figure 1. The entrance to the Gulf of California is obviously not covered by this projection; however, C and CSDF were never high there and in any case the area is included in a separate transect, that of the Revillagigedo Islands (see Fig. 1, inset). Considerable thought was given to the inclusion of the band between Lat. 6° and 7° N, and Long. 80° and 83° W (south of Cape Mala), an area frequently fished for tuna, but examination of the data showed that the overall relationship of distribution and abundance with surface temperature was not seriously affected by this omission. A break in the projection on the ordinate is necessitated by the geographical configuration of the Gulf of Panama.

In addition to the coastal zone the two offshore areas considered by Broadhead and Barrett (1964), and known to be relatively important for skipjack, were also reexamined. For the Revillagigedo Islands the southwest-northeast geographic and fisheries orientation causes some difficulty. The base line there was considered to be one extending southwest-northeast from a position 15° N, 120° W, to 23° N, 105° W, and with interpretation longitudinally at either side of this base line to the indicated limits of the area (see Fig. 1, inset). For the Galapagos Islands the area was considered

to have a base line along the meridian of 89° W, and data were interpreted in the latitudinal sense (see Fig. 1). Thus only two small areas, around Cocos and Malpelo Islands, were excluded from consideration in this investigation.

Distribution of skipjack has been considered in several forms for this report, i) simple occurrence (presence/absence) for baitboat and purse-seiner data combined, and ii) apparent abundance as CSDF (a) of baitboats (standardized to Class 4), (b) of purse-seiners (standardized to Class 3) and (c) of the gears combined (standardized to purse-seiner units). Computer printouts of the statistics of the skipjack fishery in the eastern Pacific were provided by the IATTC for 1951-1968, giving on a monthly basis by 1-degree squares, standardized effort, catch, prorated catch and CSDF. Griffiths (1960) found that some editing of such data was necessary to eliminate unreliable measures of apparent abundance derived from small amounts of fishing effort. Thus he, and Broadhead and Barrett (1964), used only CSDF data in areas where 6 or more days of fishing effort were expended each month. This criterion has also been applied in this report. The apparent abundance for a 1-degree band was obtained by summing the catch data and effort data, for a specific gear, for the constituent 1-degree squares, thence by division deriving the CSDF, after applying the 6 day per month effort minimum. In the eastern Pacific yellowfin tuna are relatively evenly distributed over the fishing areas and correspond to the distribution of fishing effort rather more closely than do those of skipjack. Joseph and Calkins (1969) indicated that in certain areas of variable geographic extent, particularly in the Gulf of California and along the "Mexican coast," fishing effort is not primarily directed at skipjack, as they are either not present or unavailable to the fishery. For those areas they obtained a better estimate of skipjack (apparent) abundance by eliminating the effort producing zero catch of skipjack from calculations of skipjack CSDF (the 6-day per month effort minimum then being applied). For this report the areas so dealt with are those shown in Joseph and Calkins (1969; Appendix Fig. 1A to 15A) for 1951-1965 and in unpublished IATTC data for 1965-1968.

As mentioned previously, Joseph and Calkins (1969) obtained an expression to estimate CSDF of baitboats from CSDF of purse-seiners, based on 34 measurements of both kinds of CSDF in the same space and time strata during the 1959-1961 transition years. Their regression was:

$$\log \hat{Y} = 0.5317 + 0.277 \log X \quad (1)$$

$$\text{or} \quad \hat{Y} = 3.402 (X^{0.277}) \quad (2)$$

where  $X$  = CSDF for purse-seiners and  $\hat{Y}$  = CSDF for baitboats (Class 4).

With the virtual disappearance of baitboats from the tropical tuna

fishery it is now of more interest to express all catches in terms of purse-seiner units. Joseph and Calkins' original data were therefore used to calculate the regression of purse-seiner CSDF on baitboat CSDF, which was:

$$\log \hat{Y} = 0.829 \log X - 0.1212 \quad (3)$$

$$\text{or } \hat{Y} = 0.756 (X^{0.829}) \quad (4)$$

where  $X$  = CSDF for baitboats (Class 4) and  $\hat{Y}$  = CSDF for purse-seiners. The standard deviation from the regression (3) is 0.4628 and the regression coefficient is significant at the 1 percent level of probability. The correlation coefficient is 0.4790 and significant at the 1 percent level with 32 degrees of freedom.

Equation (3) was used to convert baitboat CSDF into estimated purse-seiner CSDF; the estimated purse-seiner CSDF and the actual purse-seiner CSDF, if any, were then averaged. It should be noted that the estimated CSDF is in terms of unstandardized purse-seiner units whereas the actual CSDF (taken from computer printouts) is in terms of Class 3 seiner units. It is considered valid to combine them because of the wide contour intervals used in mapping skipjack abundance (see p. 237). The same circumstances seem to justify the use of a conversion equation (3) that is based on so few data. Unfortunately the 34 pairs of measurements used by this author, and Joseph and Calkins (1969), are all that are available. As a matter of interest, skipjack CSDF (gears combined) was charted against temperature and time (Fig. 3) in two ways, each based on a different conversion of baitboat CSDF to an estimate of purse-seiner CSDF (then averaged with actual seiner CSDF, where present). The first conversion was from equation (3) described above. The second was made by algebraically solving for  $X$  in equation (1). The resulting plots differed very little. Figure 3 is based upon the first conversion, utilizing equation (3).

The temperature data contained in the Atlas of Eber, Saur and Sette, 1968, for the period 1949-1962, were subjected to a very rigorous quality control prior to publication. Nevertheless the authors, as did Saur (1963), indicated that temperatures, obtained principally from merchant ship observations, are probably about 1° F (< 0.5° C) above the actual sea surface temperature (not corrected for in this report). For the data subsequent to 1962, the temperatures are based on direct voluntary reports to the BCF, Fishery-Oceanography Center, La Jolla, by merchant vessels and have not been subject to the rigorous quality control of the earlier data. Thus there may be some errors due to this difference in data quality after 1962. For the area south of the Gulf of Panama temperature data are extremely sparse subsequent to 1962, due to changes in vessel movements and reporting systems.



The basic sea surface temperature chart prepared for this report thus gives a continuous time (20 years) and area sequence. No attempt has been made to plot all isotherms, instead only those close to the temperatures already considered near limiting for skipjack have been utilized. These are the 18°, 19°, 20°, 21° C isotherms at the lower end of the range and the 28°, 29°, 30° C isotherms at the upper end. The plotting technique was to locate the mean positions at which these isotherms intersect the 1-degree wide latitudinal/longitudinal bands in the coastal zone or the island transects (see Fig. 1). Some difficulty was encountered in correctly assigning these positions where given isotherms lay parallel to the coast (or base line) at times of intense upwelling, i.e., off Peru and southern Baja California, and hence there may be some errors attributable to this cause. [Checking back for individual areas and times suggests this is minimal.] On these base charts of surface thermal structure have been superimposed the fisheries data, i) occurrence (gears combined) and ii) apparent abundance for baitboats, purse-seiners, and for gears combined in seiner units. In the case of the coastal zone (California to Chile) the southern limit on the chart is Lat. 20° S; fisheries data are available for the zone Lat. 20-22° S, where skipjack are sometimes caught, but not temperature data. With the wide range of values of CSDF (apparent abundance) it was considered useful to contour the results. A check of frequency distributions of CSDF values indicated no natural divisions, only a steady decline in frequency with increasing CSDF (> 1 ton/day). The contour levels were therefore arbitrarily set at CSDF of 1-3, 3-9, > 9 tons/day. In considering these levels of apparent abundance for gears combined it must be remembered that the setting of a minimum level of 1 ton/day (purse-seiner units) eliminates all baitboat CSDF data less than 1.4 tons/day.

[As will be related in the following section, it was decided not to reproduce either the charts for baitboats and purse-seiners separately, or any of the charts for the Galapagos Islands transect.]

## RESULTS

### OCEANOGRAPHIC CONDITIONS AS INDICATED BY THE SURFACE THERMAL STRUCTURE

Detailed assessments of oceanographic phenomena can not be made simply on the basis of annual isograms of sea surface temperature prepared in the manner described in the preceding section on Methods (and shown as basic data in Fig. 2 and 3). Rather the intention is to indicate the salient annual features and the range of inter-annual fluctuations for the period 1949-1968. Broadhead and Barrett (1964) presented surface temperature isograms (°F) for the whole area 1951-1960, Wooster (1961) for Peru (°C) 1939-1956, and Bjerknes (1966) for a transect Costa Rica to Peru (°F) 1935-1965. Blackburn (1969) illustrated the position of the

surface 21° C isotherm off western Baja California for 1951-1965, Renner (1963) published charts showing monthly averages and anomalies of sea surface temperature (°F) for the eastern tropical Pacific, 1949-1958, by Marsden subareas (2-degree squares), and Wyrтки (1964) published charts of mean monthly surface temperatures for the same region. In addition the CalCOFI Atlas No. 1 (Calif. Mar. Res. Comm., 1963) presents 10-meter temperature data for the California Current region for the period 1949-1959. Unfortunately coverage was not constant, in either the temporal or spatial sense, in areas suitable for skipjack.

#### **Coastal Zone (California to Chile)**

The seasonal northward movement of the 18° to 21° C isotherms off the west coast of Baja California is rapid, while the southerly return is somewhat slower. Movement northwards of the 18° and 21° C isotherms normally begins in March-May and April-May respectively; maximum northward displacement of these isotherms occurs in August-September and September-October and lasts from 1 to 4 months depending on the year. The normal southernmost position (northern winter) of the 21° C isotherm is 23° N (from Cape San Lucas to Mazatlán), while that of the 18° isotherm is between 23°-27° N. The strength (duration and intensity) of the warm season (northern summer), if measured by the position of the 18° C isotherm (at 33° to 35° N) is reasonably constant, but if measured by the position of the 21° C isotherm (at 26½° to 34° N) varies considerably.

From 23° N (mouth of the Gulf of California) to 7° N (Cape Mala) there is a region of warm water > 28° C for most of the year, with peak temperatures > 30° C in central sectors during the northern summer in certain years (for mean monthly conditions, see Wyrтки, 1964). Northward penetration of water > 28° C varies little, reaching from 22° N on the Mexican coast to 24½° N off western Baja California. Only rarely does water < 28° C exist along the entire coast north of Cape Mala (7° N). Maximum cooling in the northern sector, west of 100° W (Acapulco), takes place from February to April (as off Baja California). Cooling in the Gulf of Tehuantepec (93°-97° W) is seen from December to February, and also in most years in or near the Gulf of Papagayo (10°-12° N). Wind-induced upwelling may cause temperatures in both areas to drop to 18° C (or less) at individual points, but they are usually > 21° C (Blackburn, 1962; Blackburn and associates, 1962; Hubbs and Roden, 1964). [Certainly mean data used in this report do not show temperatures < 21° C in either area.] The degree of variability (both seasonal and annual) in surface thermal structure east of 90° W appears considerably greater than that west of 90° W. In this Central American region the warming sequence appears to begin in the vicinity of 8°-9° N. Not only do variations in the strength and duration of the warm season appear to be defined by the 28°-30° isotherm,

but the extent of the  $> 29^{\circ}$  C water mass in this central zone seems to be a reasonably good guide to the overall fluctuations of surface thermal conditions in the whole coastal region. In the present time series the coldest year was 1955 and the warmest 1958.

Although somewhat variable from year to year, water  $> 27^{\circ}$  C occupies the Gulf of Panama from  $7^{\circ}$ - $9^{\circ}$  N (occasionally to  $5^{\circ}$  N), except during the winter upwelling period (January to April). Most conspicuous are the periods when warm water,  $> 28^{\circ}$  C, extends continuously southwards to or across the Equator i.e., 1953, 1957, 1958 ("El Niño" years). The similar appearances in 1965, and to a lesser extent 1966, are doubtful because so few data are available. The ACENTO program results (Forsbergh, 1969; Stevenson, Guillén and Santoro, 1970) seem to support the southward extension of warm water,  $> 28^{\circ}$  C, in 1966 but not in 1965.

Wooster (1961), using data for 1939-1956, described the characteristics of the basically cold water ( $< 20^{\circ}$  C) regime off Peru. The present charts confirm his findings and indicate the extent of the seasonal changes. However, as Wooster noted, not all years are similar and the inter-year differences are considerable. Normally the  $21^{\circ}$  C isotherm is located between Lat.  $2^{\circ}$ - $5^{\circ}$  S, though the duration at this position varies greatly. The northernmost position of the  $18^{\circ}$  C isotherm ( $4^{\circ}$  to  $12\frac{1}{2}^{\circ}$  S) shows considerable annual variation and is perhaps more indicative than the  $21^{\circ}$  C isotherm of the inter-year fluctuations in the intensity and/or duration of the cold regime. The warm (non-upwelling) season is characteristically short (January to March) or almost non-existent. Of course, in some years it is extended dramatically due to "El Niño" phenomena, when warm surface water enters from the west offshore and/or from north of the Equator (Posner, 1957; Bjerknes 1961, 1966). The years 1953 and 1957-1958 were respectively mild and intense "El Niño" periods, and the southward coastal penetration of warm water towards or across the Equator from the Panama Bight (noted previously on this page) may well have been indicative of transequatorial circulation and/or localized heating at this time. In 1965, not regarded as a true "El Niño" year, abnormal warming did occur off Peru, as it did to a lesser extent in 1966. In the case of the southern winter warming off Peru in 1951, referred to by Wooster (1961), it is also interesting to note the simultaneous occurrence of warm water,  $> 28^{\circ}$  C, along the coast as far south as  $2^{\circ}$  S. In true "El Niño" years this is pronounced at least 2 to 3 months earlier.

Of particular importance is the area off Chimbote ( $9^{\circ}$ - $10^{\circ}$  S) in 1953, 1957, 1958, 1965 and 1966, because of the absence of, or delay in, reestablishment of water  $< 18^{\circ}$  C north of this location. In the area  $17^{\circ}$ - $22^{\circ}$  S a "lens" of warm water,  $> 21^{\circ}$  C, usually appears from December to April and according to Wyrski (1964) is probably due mainly to localized heating.

In cold years e.g., 1949 and 1950, water  $> 21^{\circ}$  C was nowhere con-

tinuous along the Peruvian coast whereas in warm years e.g., 1957 and 1958, there is a clear separation of seasons by warm water  $> 21^{\circ}$  C, plus a lack of penetration northwards of  $< 18^{\circ}$  C water.

#### **Revillagigedo Islands Transect**

The alternation of warm and cold seasons can be seen clearly in the charts covering this transect (see Fig. 2b and 3b). Water  $< 21^{\circ}$  C was present only briefly inshore in March 1968. From June-July to October-November a "wedge" of water  $> 28^{\circ}$  C extends offshore southwest from the Mexican coast. There are considerable annual variations in the penetration and intensity (temperature) of this "wedge," from a minimum position around  $20^{\circ}$  N,  $110^{\circ}$  W, (1950, 1955, 1956, 1960) to the formation of a continuous band of warm water out to the western limit of the transect at  $15^{\circ}$  N,  $120^{\circ}$  W (1951, 1954, 1957-1959, 1963, 1966-1967). Water  $> 29^{\circ}$  C was absent from the "wedge" only in 1955 (coldest year), while water  $> 30^{\circ}$  C was present to varying extents in several years, 1953, 1957, 1959, 1961-1963, 1965-1967. [If the  $27^{\circ}$  isotherm were used then a continuous band of warm water would show over the length of the transect during the summer of all years.]

#### **Galapagos Islands Transect**

The general pattern is one of warm water,  $> 27^{\circ}$  C, in the northern sector with maximum temperatures and penetration southwards in February-April. This warming is due to the extension southwards of the warm water mass off Central America (see Wyrтки, 1964). Temperatures  $> 30^{\circ}$  C are rare; the warmest years were 1953, 1957, 1958 and 1965. Cold water  $< 21^{\circ}$  C is not quite so regular in occurrence and when present very rarely reaches north of the Equator. In 1949, 1950, 1952, and 1954 water of  $< 18^{\circ}$  C was found in the extreme south of the area. The coldest period is usually July to November; 1955 and 1960 were the coldest years. Wyrтки (1964) noted that immediately southwest of the Galapagos Islands the drop in temperature, particularly in September, is due principally to advection from the Peru Current. In this region, oceanographic conditions are correlated with those off both Central America and Peru.

### **OCCURRENCE OF SKIPJACK AND SEA SURFACE TEMPERATURE**

#### **Coastal Zone (California to Chile) (Fig. 2a)**

Altogether there were some 24 instances of skipjack in water  $> 30^{\circ}$  C during the entire time series, and of these 9 were in 1957. In nearly every case these occurrences were in marginal areas and not in the center of  $> 30^{\circ}$  C water masses. There is a high incidence of occurrence in water from  $29^{\circ}$ - $30^{\circ}$  C, particularly in the sector from the Gulf of Tehuantepec to Cape Mala—1956 excepted (as noted earlier, the surface thermal struc-

ture there is more variable than to the west of the Gulf of Tehuantepec). In 1956, skipjack occurred throughout the  $> 29^{\circ}$  water mass, especially in April and May, from La Union ( $88^{\circ}$  W) to Mazatlán/Baja California ( $23^{\circ}$  N). Occurrences in cold water  $< 18^{\circ}$  C off Baja California numbered about 12, mainly at the start of the warm season when temperatures were changing rapidly (none  $< 17^{\circ}$  C); at the height of the season  $20^{\circ}$  C is a good general limit for the occurrence of skipjack. In the Peru sector there were some 11 occurrences at  $< 18^{\circ}$  C, again at times and places where temperatures were changing rapidly (none  $< 17^{\circ}$  C). Apart from appearances at Chimbote ( $9^{\circ}$ - $10^{\circ}$  S) in  $18^{\circ}$ - $20^{\circ}$  C water in 1953, 1958, 1965 and 1966, and in the normally strong temperature gradients between  $2^{\circ}$  and  $5^{\circ}$  S, there were few fish at  $< 20^{\circ}$  C.

Overall occurrence of skipjack is restricted to water with surface temperatures  $> 17^{\circ}$  C, and with the majority between  $20^{\circ}$  and  $30^{\circ}$  C.

#### **Revillagigedo Islands Transect (Fig. 2b)**

Little water  $> 30^{\circ}$  C is present in this region and there was only one occurrence of skipjack in it. Even occurrences at  $> 29^{\circ}$  C are scattered, except in 1956 when fish were present in quantity inshore, the area where water  $> 28^{\circ}$  C is most common.

#### **Galapagos Islands Transect**

It was decided not to reproduce the charts for this region as i) subsequent to 1962 only approximate  $21^{\circ}$  and  $27^{\circ}$  C isotherms are available for plotting and ii) occurrences of skipjack are mainly confined to the zone  $3^{\circ}$  N to  $2^{\circ}$  S, where water is rarely  $< 21^{\circ}$  C or  $> 29^{\circ}$  C.

#### **Occurrence of skipjack in relation to the indicated surface thermal structure**

Generally the seasonal pattern of skipjack occurrence off western Baja California corresponds well with the annual advance and retreat of the  $18^{\circ}$ - $21^{\circ}$  C isotherms. The seasons of occurrence of skipjack are distinct, although in many years there is an overlap between the end of one season in December-January and the start of the next in February-March at or south of  $23^{\circ}$  N (north of  $23^{\circ}$  N in warmer years such as 1957-1958). Usually the pattern of both distance and time of northward penetration of fish as shown on the charts is correlated closely with the area of warm water, often close to the general configuration of the  $20^{\circ}$  C isotherm. An example of minimum northward penetration of fish in both depth and width is 1955, the coldest year in the time series, while 1962 shows shallow penetration, but for a relatively long period of time. The deep and/or wide penetrations of fish in 1958, 1959, 1963 and 1965 occurred during some of the warmest years of the time series.

Previously it has been noted that there is an apparent absence of skipjack in any numbers in the inshore region between 22° N and the eastern edge of the Gulf of Tehuantepec (93° W) (Blackburn and associates, 1962; Broadhead and Barrett, 1964). This feature has been used to divide eastern Pacific skipjack into two "subpopulations," and the lack of mixing indicated by few inter-area tag returns has supported this proposal, while results of morphometric studies do not detract from it (Joseph and Calkins, 1969). However, genetic studies (immunological and biochemical) (Fujino, 1970) indicate that a single east-central Pacific skipjack population should be accepted at present, as conclusive evidence to the contrary is still lacking. Simple occurrence data show that this separation was most marked except in the years 1953-1956 and 1963-1964. At these times varying degrees of continuity existed between the northern and southern "subpopulations" in the first and last quarters of the year, when surface temperatures were lowest. Between May, 1958-February, 1959 and July, 1967-February, 1968 virtually no fish were recorded in the coastal zone between 23° N and 3° N.

South of the Gulf of Panama occurrence of skipjack was commonest throughout the year between 3° N and 5° S. Between 3°-9° N occurrences were more variable, but were mainly in the second quarter. This was especially so between 7° and 9° N subsequent to the February-April upwelling [see Forsbergh (1969) for details of correlations between oceanographic features and tuna distribution and apparent abundance in the Panama Bight] but fish may be completely absent during the rest of the year (1956, 1958, 1963, 1964, 1967, 1968). Occurrences at 9°-10° S and 17°-22° S were intermittent. In most years there is some warming off Chimbote (9°-10° S) in the first quarter, but fish are apparently not always present (only fished since 1953). Occurrence later in the year appears dependent on how long the onset of cold water (< 18° C) is delayed, and this was clearly seen in 1953, 1957-1958 and to a lesser extent in 1965-1966. The former periods are those of "El Niño" phenomena and the latter of abnormal coastal warming. South of 17° S occurrences (fished since 1957) have been recorded each year, except 1967 and 1968, in the period November to May, but mainly December to March. These occurrences are clearly correlated with the "lens" of warm water that forms in this area (see p. 239) and with temperatures > 18° C, and usually > 20° C.

#### **APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK AND SEA SURFACE TEMPERATURE**

##### **Coastal Zone (California to Chile)**

*Baitboats*—There are few data from baitboats subsequent to 1962 except in the Baja California area. All baitboat data were plotted on the

basic chart of surface thermal structure and contoured at catch rates of 1-3, 3-9, > 9 tons/day. However, as Broadhead and Barrett (1964) presented the data up to 1960, and baitboat effort has been small since then, the present charts are not reproduced in this report. Only pertinent comments are made.

In the Baja California area separation into seasons is indicated by apparent abundance > 1 ton/day, and for which a good guide is the 20° C isotherm (certainly no catch rates > 9 tons/day were recorded in water < 20° C, and only a few in water > 28° C). Except in early and late 1956, apparent abundance (> 1 ton/day) patterns show a wide gap between Cape Corrientes and the eastern limit of the Gulf of Tehuantepec.

In the southern part of the region the main concentrations of skipjack were located between 3° N and 5° S, and apparent abundance was particularly high between 4°-5° S in the second half of the year. From 3°-9° N apparent abundance was highest during the second quarter of the year. Off Chimbote (9°-10° S) there were one or two cases of apparent abundance > 1 ton/day at less than 18° C, while areas of abundance yielding > 9 tons/day were located in water 18°-19° C, especially in 1957-1958. South of 17° S concentrations giving > 1 ton/day were mainly restricted to water > 20° C; apparent abundance was particularly high in the period 1957-1960.

*Purse-seiners*—Purse-seiner data are mainly for 1961-1968; before then there were some for Baja California waters, but the majority originated in the area 4°-5° S. Purse-seiner apparent abundance data, not previously correlated with temperature, have been plotted on the basic chart of surface thermal structure. The completed chart is not reproduced in this report as the fishing data form the bulk of the post-1961 records presented under apparent abundance for combined gear. However, some notes are given in the following paragraphs.

Apparent abundance shows the usual seasonal pattern of distribution off Baja California. There were only one or two instances of apparent abundance > 1 ton/day in water < 19° C; nor, except in 1958, were there many > 9 ton/day anywhere in the Baja California area. There was also the usual gap in concentrations between Cape Corrientes and the eastern limit of the Gulf of Tehuantepec, save in the last quarter of 1963 and in 1964, when some occurrences at 1-9 tons/day were encountered in an intermediate position; there were none at all in mid-summer (> 29° C) or in the Gulf of Tehuantepec itself. East of the Gulf of Tehuantepec apparent abundance > 3 tons/day was common in > 29° C water. In most of 1965 and all of 1966-1967 there were very few skipjack between Cape Corrientes and Cape Mala, or even Lat. 3° N.

Off South America apparent abundance was greatest from 3° N to 5° S, with very many instances of catch rates > 9 tons/day. At 2° to 5° S

these occurrences of very high apparent abundance were principally at temperatures  $> 20^{\circ}$  C. North of  $3^{\circ}$  N there were few occasions of high apparent abundance, and then mainly in the first quarter of 1962. Abundance was high off Chimbote in the first half of 1965-1966-1967, when there was also a more or less continuous distribution of fish from  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  S. In 1965-1966 this abundance appeared correlated with abnormal coastal warming, but in 1967 this was not obvious, although there is some indication of water  $> 21^{\circ}$  C in the charts for March-April of that year. Prior to 1961 purse-seining at  $4^{\circ}$ - $5^{\circ}$  S produced catch rates  $> 9$  tons/day.

Certainly high apparent abundance ( $> 9$  tons/day) of skipjack usually appeared correlated with surface temperatures  $> 20^{\circ}$  C.

*Gears combined (standardized to purse-seiner units) (Fig. 3a)*—Off Baja California there are few instances of concentrations of skipjack at  $< 19^{\circ}$  C; the single occurrence in 1967 at  $> 9$  tons/day was in a marginal situation. These “abnormal” distributions were mainly found at the start of the season, or to a lesser extent at the close of the season, i.e., times of rapidly changing temperatures. Skipjack abundance at  $> 1$  ton/day was uncommon between Cape Corrientes and the eastern limit of the Gulf of Tehuantepec, except from December 1955 to December 1956, November 1963 to November 1964, and to a lesser extent November 1953 to April 1954, and then mainly outside water of high temperature ( $> 29^{\circ}$  C). In certain periods, July 1957 to January 1960 and May 1965 to January 1968, there were very few or no occurrences at  $> 1$  ton/day even from the Gulf of Tehuantepec to Cape Mala. An interesting feature is that the periods 1957-1959 and 1965-1967, followed years in which there were “almost continuous” concentrations of skipjack from Baja California to Cape Mala. Of course 1957-1958 were “El Niño” years and 1965-1966 ones of abnormal coastal warming off Peru.

Off South America high apparent abundance was seen mainly between  $3^{\circ}$  N and  $5^{\circ}$  S and at temperatures  $> 20^{\circ}$  C; north of  $4^{\circ}$  N fish were usually most abundant in the second quarter. The high apparent abundance in the area from  $2^{\circ}$  to  $5^{\circ}$  S from 1961 onwards was almost continuous throughout the year; before that time breaks in the continuity were mainly in the first half of the year. Occurrences giving yields  $> 1$  ton/day were recorded off Chimbote ( $9^{\circ}$ - $10^{\circ}$  S) in many years (at  $< 18^{\circ}$  C only in 1958 and 1965) but high apparent abundance ( $> 9$  tons/day) mainly in 1957-1959 and 1965-1966 (warm years) and in 1967, and at temperatures  $> 18^{\circ}$  C. South of  $17^{\circ}$  S apparent abundance was high only from December to March in waters usually  $> 20^{\circ}$  C.

In summary, there were many instances of low to medium apparent abundance (1 to 9 tons/day) of skipjack in  $29^{\circ}$ - $30^{\circ}$  C water, east of the Gulf of Tehuantepec, but only two (of low yield) in  $> 30^{\circ}$  C water. There were few occasions of concentrations of fish at  $< 19^{\circ}$  C, except off Chim-



bote where they occurred down to 17° C but with the majority at 18°-19° C and then only occasionally giving catch rates > 9 tons/day.

### **Revillagigedo Islands Transect**

*Baitboats*—Only in 1956 did apparent abundance yielding > 1 ton/day (but < 9 tons/day) exist in water > 29° C (onshore to the north and east of the Tres Marias Islands). The only years with high apparent abundance north and east of a position 20° N, 110° W were 1955-1956 and part of 1957.

On the basis of solely apparent abundance/occurrence data it is hard to discern any patterns of movement from the Revillagigedo Islands to Baja California, or return, as suggested in Broadhead and Barrett (1964), because the start of the inward and finish of the outward movements appear almost to overlap (outward February, inward March at the Revillagigedo Islands).

There is, except in 1956, some indication that the warm water band present during the third quarter of the year tends to exclude fish in concentrations yielding catch rates > 1 ton/day, although it must be remembered that this is the peak of the skipjack season off Baja California.

*Purse-seiners*—There are few pre-1962 data and all were from < 28° C. The only periods when fish were abundant (> 3 tons/day) in water > 29° C were in the late summer/autumn of 1964 and 1966 at the margins of warm water penetrations. As for baitboats, apparent abundance > 1 ton/day was not found in the third quarter warm water period.

*Gears combined (standardized to purse-seiner units) (Fig. 3b)*—Apparent abundance at levels > 1 ton/day was found only in the second half of 1956, and the third quarters of 1964 and 1966 in water > 29° C, associated with the inshore water mass. Apparent abundance of skipjack was highest at surface temperatures < 28° C. [As stated in a previous section, apparent abundance data do not indicate movements in or out of this area].

### **Galapagos Islands Transect**

Most of the data for this region are from baitboats prior to 1959. Apparent abundance yielding rates > 1 ton/day is very rare at surface temperatures > 28° C. The charts for this area are not reproduced in this report, the main concentrations of skipjack being found in water from 20°-28° C.

## **ANNUAL THERMAL CONDITIONS AND SKIPJACK ABUNDANCE**

From the isograms of surface temperature it is possible to compare the relative surface thermal conditions in the component years of the time

series by direct measurement of area between, above and below specified isotherms. Within the limits of the Coastal Zone of this report, the following areas of specified temperatures, considered important for skipjack distribution, were measured for each year: area of water of  $< 18^{\circ} \text{C}$ ,  $< 21^{\circ} \text{C}$ ,  $> 29^{\circ} \text{C}$ ,  $> 30^{\circ} \text{C}$ ,  $21^{\circ}\text{-}29^{\circ} \text{C}$ ,  $18^{\circ}\text{-}29^{\circ} \text{C}$ ,  $18^{\circ}\text{-}30^{\circ} \text{C}$ . On these data were then regressed both total catch (weight) and average density per unit area (as indices of abundance after Joseph and Calkins, 1969) of skipjack for the same year and for each of the next 2 years. There appeared to be no significant relationships.

Broadhead and Barrett (1964), for both the northern and southern skipjack fishery regions of the eastern Pacific, similarly found no significant relationship between apparent abundance of skipjack and yearly anomalies of sea surface temperature. Skipjack abundance in the eastern Pacific seems likely to be dependent on both year-class strength (spawning success/larval survival) of recruits and the variations in the percentage of recruits passing through the fishery (migration success). Both events are undoubtedly strongly influenced by environmental conditions in the Pacific Ocean, particularly west of  $120^{\circ} \text{W}$ .

## APPENDIX 1.

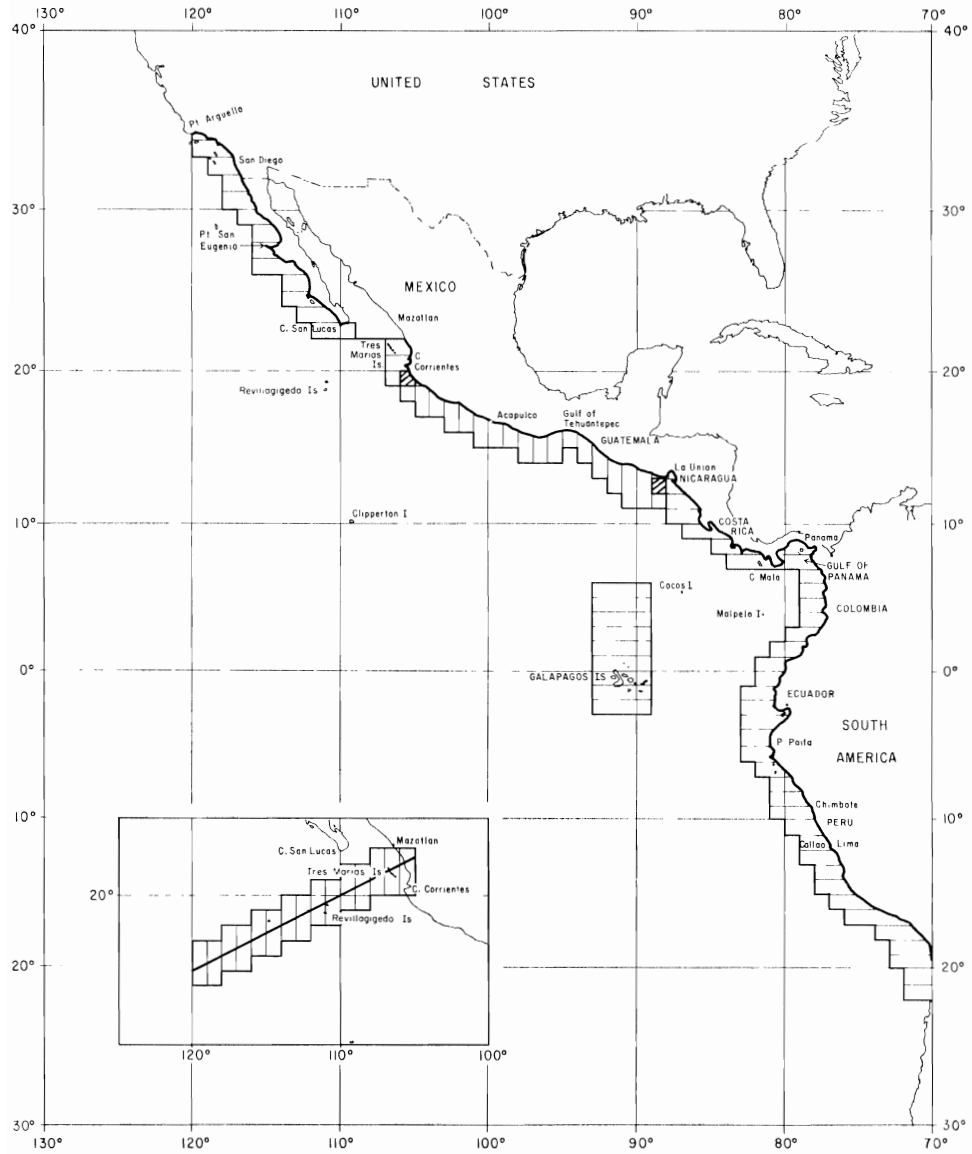
### **Skipjack abundance and sea surface temperature in Baja California waters in 1955 and 1958**

Blackburn (1969) has indicated that in the waters to the west of Baja California occurrence of skipjack in fishable concentrations is restricted to sea surface temperatures from  $17^{\circ}$  to about  $28^{\circ} \text{C}$ , but with the majority of the fish between  $20^{\circ}$  and  $28^{\circ} \text{C}$ . An investigation was made to determine the nature of the quantitative relationship (if any) between abundance of skipjack and surface temperatures (and certain other environmental parameters) for the years 1955 and 1958 which were, in the oceanographic sense, anomalously cold and warm respectively.

The area considered was restricted to that north of  $20^{\circ} \text{N}$  and between the meridians of  $110^{\circ}$  and  $120^{\circ} \text{W}$ , because fishing effort elsewhere in the northern region was considered to be primarily directed at yellowfin tuna. In the first instance comparisons were made by regression analyses of monthly catch per standard days fishing (CSDF) and catch (C) of skipjack on sea surface temperature; all data were derived from baitboats and integrated by latitudinal lines of 1-degree squares. The results of the analyses are given in Appendix Table 1. An attempt was then made to look at the data by smaller areal strata, namely 1-degree squares. Unfortunately there were insufficient matching data on abundance and sur-

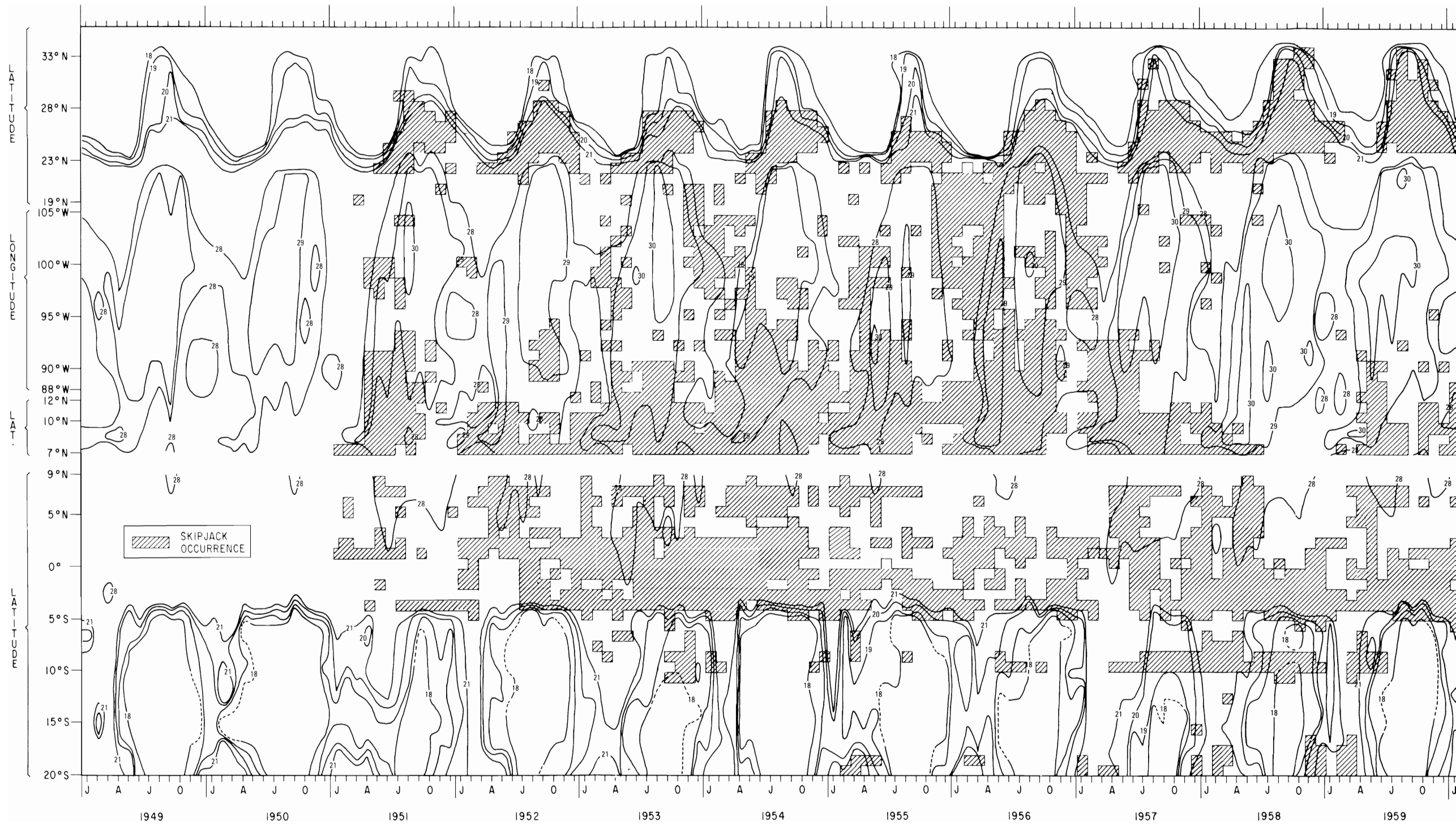
face temperature, etc., for 1955, so the results, given in Appendix Table 2, are limited to 1958. Skipjack CSDF and C were utilized only when fishing effort (E) exceeded 5 days per month in a given latitudinal line of 1-degree squares in the case of the analyses reported in Appendix Table 1, and in a given 1-degree square in those in Appendix Table 2.

The results (Appendix Tables 1 & 2) indicate that the relationship between abundance of skipjack and surface or 10 m temperatures were quite different among years, although significant regressions were sometimes lacking. They were opposite in 1955 and 1958, cold and warm years respectively. Uda (1939) showed that in 1936-1938 off northeast Japan catches of skipjack were made between 18°-30° C, but maximum catches were at the lower end of the range, 20°-24° C. Uda (1957) also reported that 1936-1938 and 1955-1957 were not only years of high over-all skipjack catch but years of maximum occurrence of warm water off northeast Japan. Thus it appears that at least in some warm years, high catches of skipjack were made at 20°-24° C (lower end of range) in Japanese waters. It is worth noting that in 1958, a year of maximum occurrence of warm water off Baja California, skipjack CSDF and C also appeared highest near the lower end of the temperature range (20°-23° C).

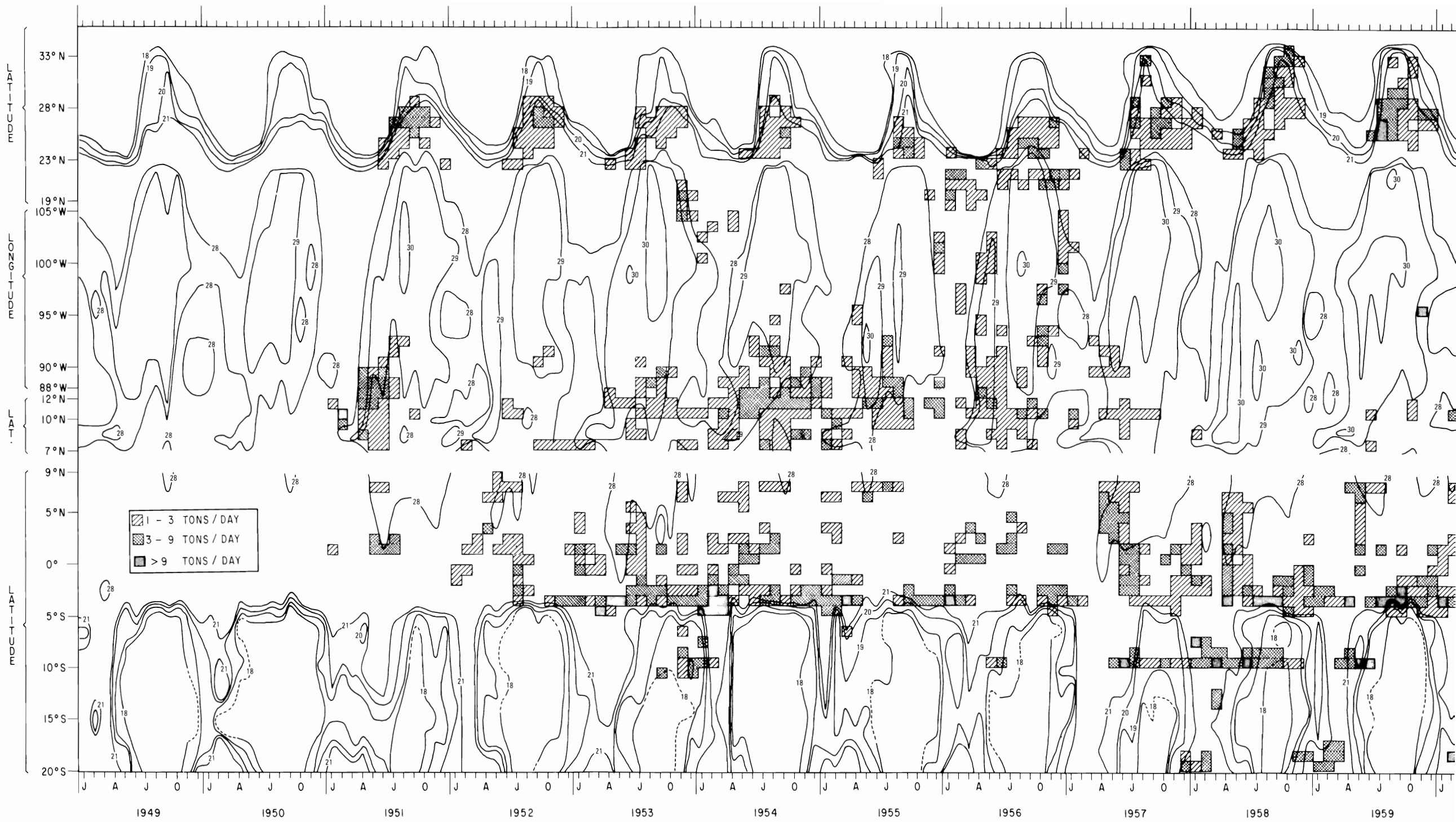


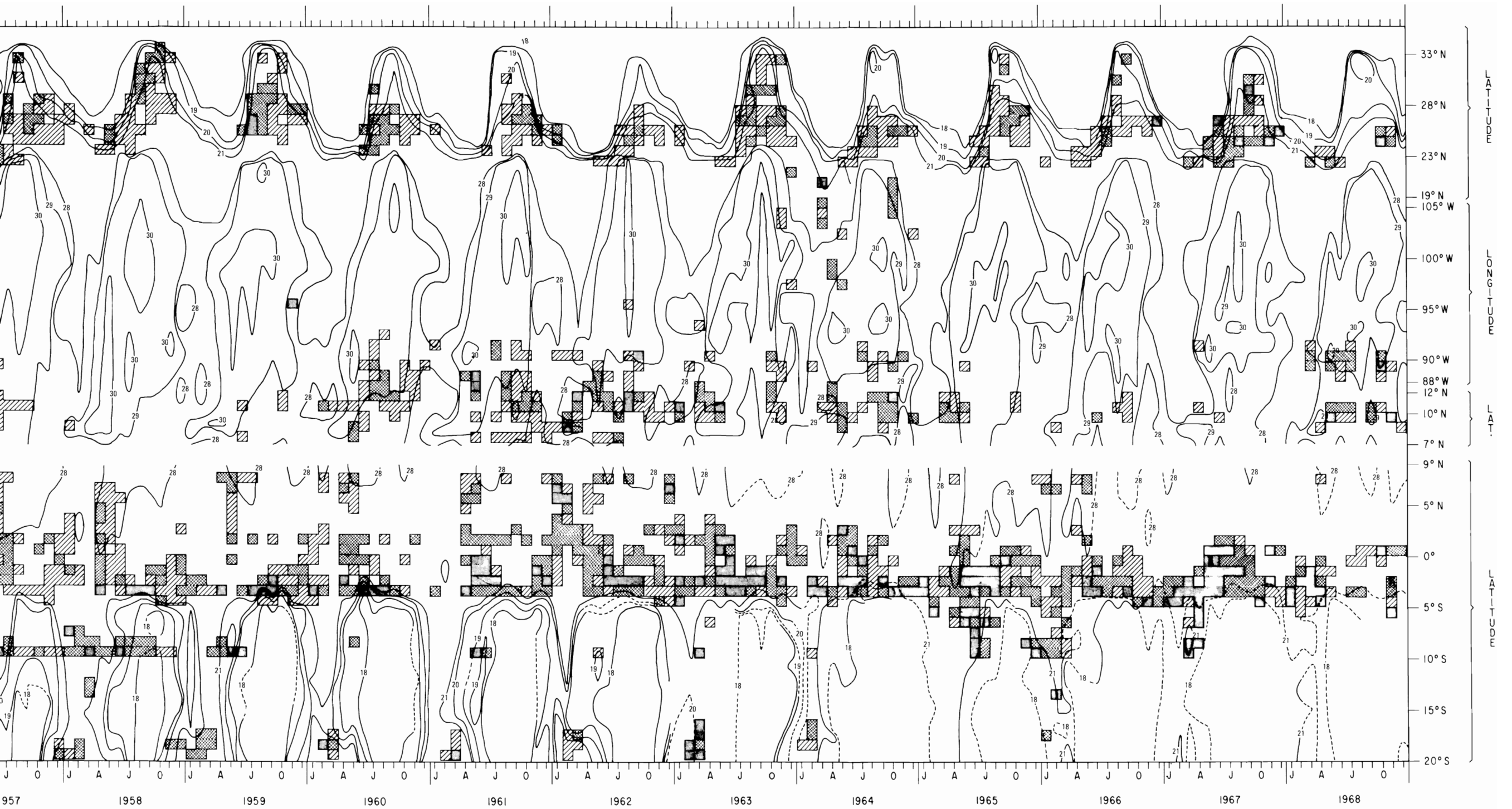
**FIGURE 1.** The geographical areas of the eastern Pacific Ocean, and statistical units utilized in this report.

**FIGURA 1.** Areas geográficas del Océano Pacífico oriental, y unidades estadísticas utilizadas en este informe.





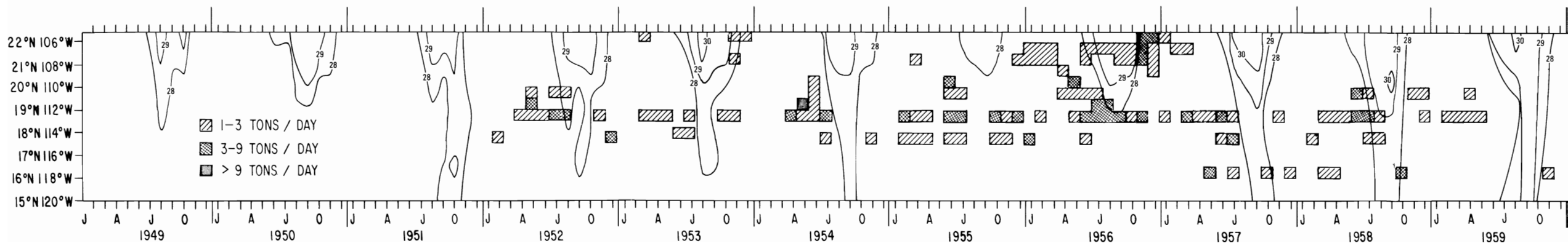
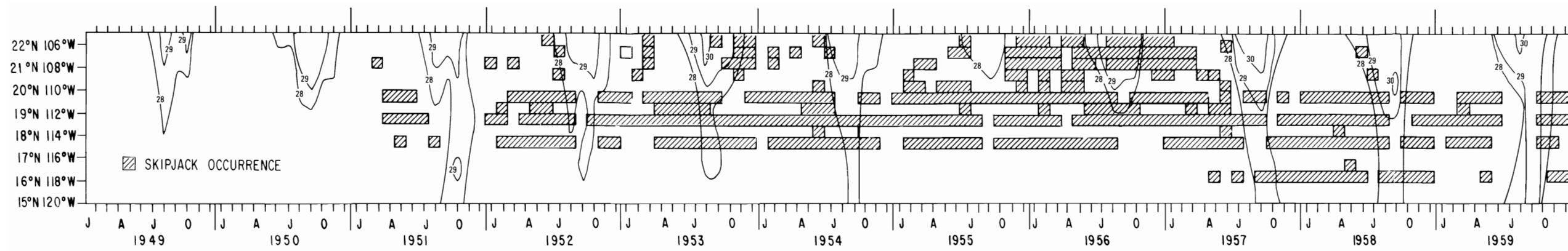


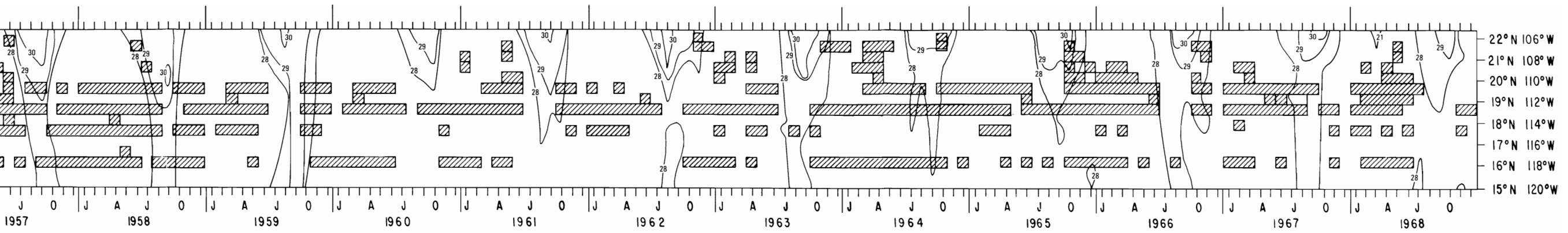


**FIGURE 3a.**  
 Contours of apparent abundance of skipjack and selected sea surface isotherms for the Coastal Zone (California to Chile), 1951-1968.

**FIGURA 3a.**  
 Contornos de la abundancia aparente del barrilete e isotermias seleccionadas de la superficie del mar para la Zona Costanera (California a Chile), 1951-1968.

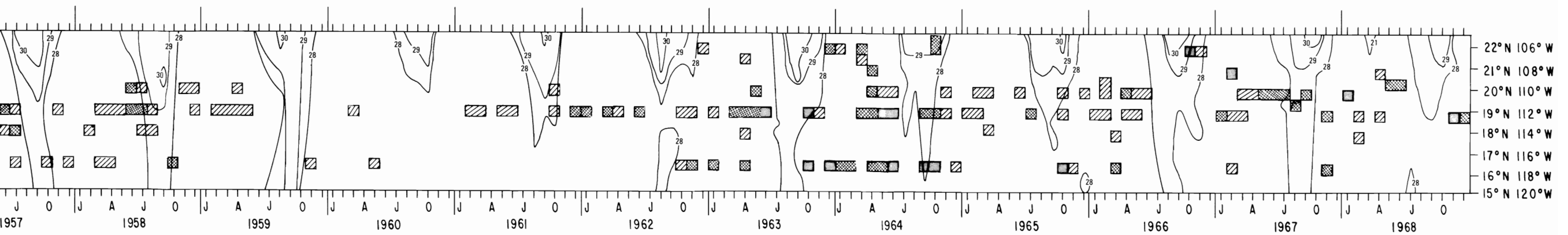






**FIGURE 2b.**  
Occurrence of skipjack and selected sea surface isotherms for the Revillagigedo Islands transect, 1951-1968.

**FIGURA 2b.**  
Aparición de barrilete e isotermas seleccionadas de la superficie del mar para la trayectoria de las Islas Revillagigedo, 1951-1968.



**FIGURE 3b.**  
Contours of apparent abundance of skipjack and selected sea surface isotherms for the Revillagigedo Islands transect, 1951-1968.

**FIGURA 3b.**  
Contornos de la abundancia aparente del barrilete e isotermas seleccionadas de la superficie del mar para la trayectoria de las Islas Revillagigedo, 1951-1968.

**TABLE 1.** Index to 1-degree squares comprising the 1-degree bands used in compiling data for the coastal and offshore projections indicated in Figure 1.

**TABLA 1.** Índice de los cuadrados de 1-grado incluidos en las bandas de 1-grado usadas al compilar los datos de las proyecciones costaneras y de las islas, indicadas en la Figura 1.

**A. Coastal projection, California to Chile.**

Latitudinal or longitudinal band	5-degree square <sup>1</sup> Cuadrados de 5 grados	1-degree squares <sup>1</sup> Cuadrados de 1 grado		
<b><u>°North</u></b>				
34	30-115	25		
33	—	20	19	18
32	—	14	13	12
31	—	08	07	
30	—	03	02	01
29	25-115	22	21	
—	25-110	25		
28	25-115	16		
—	25-110	20		
27	25-115	11		
—	25-110	15		
26	25-115	06		
—	25-110	08	09	10
25	25-110	04	03	
24	20-110	24	23	22
23	—	18	17	16
22	—	12	11	
—	20-105	15		
21	—	07	06	
20	—	02	01	
19	15-105	22	21	
—	15-110	25		
<b><u>°West</u></b>				
105	15-105	21	16	
104	15-100	25	20	15
103	—	19	14	
102	—	18	13	08
101	—	12	07	
100	—	11	06	01
99	15-095	10	05	
98	—	09	04	

TABLE 1. (continued)

Latitudinal or longitudinal band	5-degree square <sup>1</sup> Cuadrados de 5 grados	1-degree squares <sup>1</sup> Cuadrados de 1 grado			
<b>°West (continued)</b>					
97	15-095	03			
—	10-095	23			
96	15-095	02			
—	10-095	22			
95	15-095	06	01		
—	10-095	21			
94	15-090	10	05		
93	15-090	04			
—	10-090	24			
92	15-090	03			
—	10-090	23	18		
91	10-090	22	17	12	
90	—	16	11	06	
89	10-085	20	15	10	
88	—	19	14	09	
<b>°North</b>					
12	10-085	14	13	12	
11	—	08	07	06	
10	—	03	02	01	
9	05-085	22	21		
9	05-080	25	24		
8	—	20	19	18	
7	—	14	13	12	11
<b>°North</b>					
8	05-075	20	19		
7	—	15	14	13	
6	—	09	08		
5	—	04	03		
4	00-075	24	23		
3	—	19	18		
2	—	15	14	13	
1	00-075	10			
—	00-080	06			
0-1	00-075	05			
—	00-080	02	01		

TABLE 1. (continued)

Latitudinal or longitudinal band	5-degree square <sup>1</sup>	1-degree squares <sup>1</sup>		
	Cuadrados de 5 grados	Cuadrados de 1 grado		
<u>°South</u>				
0-1	S-05-080	22	21	
1	—	18	17	16
2	—	13	12	11
3	—	08	07	06
4	—	03	02	
5	S-010-080	23	22	21
6	—	17	16	
<u>°South</u>				
6	S-010-075	20		
7	S-010-080	11		
—	S-010-075	15		
8	S-010-080	06		
—	S-010-075	10	09	
9	S-010-080	01		
—	S-010-075	05	04	
10	S-015-075	25	24	23
11	S-015-075	19	18	
12	—	14	13	12
13	—	08	07	
14	—	03	02	01
15	S-020-075	22	21	
—	S-020-070	25		
16	S-020-075	16		
—	S-020-070	20	19	18
17	—	14	13	12
18	—	08	07	06
19	—	03	02	01
<b>B. Offshore projections Revillagidedo Islands</b>				
<u>°West</u>				
105	20-105	11	06	01
106	—	12	07	02
107	—	13	08	03
108	—	08	04	
—	15-105	24		

TABLE 1. (continued)

Latitudinal or longitudinal band	5-degree square <sup>1</sup> Cuadrados de 5 grados	1-degree squares <sup>1</sup> Cuadrados de 1 grado		
<b>°West (continued)</b>				
109	20-105	10	05	
109	15-105	25		
110	20-110	01		
—	15-110	21	16	
111	20-110	02		
—	15-110	22	17	
112	15-110	23	18	13
113	15-110	24	19	14
114	—	20	15	10
115	15-115	16	11	06
116	—	12	07	02
117	—	13	08	03
118	—	09	04	
—	10-115	24		
119	15-115	10	05	
—	10-115	25		
<b>Galapagos Islands</b>				
<b>°North</b>				
5	05-090	03	02	01
—	05-085	05		
4	00-090	23	22	21
—	00-085	25		
3	00-090	18	17	16
—	00-085	20		
2	00-090	13	12	11
—	00-085	15		
1	00-090	8	7	6
—	00-085	10		
0-1	00-090	3	2	1
—	00-085	5		
<b>°South</b>				
0-1	S-05-090	22	21	20
—	S-05-085	25		
1	S-05-090	18	17	16
—	S-05-085	20		
2	S-05-090	13	12	11
—	S-05-085	15		

<sup>1</sup> IATTC numerical coding.

**TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR, Y LA  
DISTRIBUCION Y ABUNDANCIA APARENTE DEL BARRILETE  
(*KATSUWONUS PELAMIS*) EN EL OCEANO PACIFICO  
ORIENTAL, 1951-1968**

por

**F. Williams<sup>1</sup>**

**EXTRACTO**

Se han producido isogramas de la temperatura de la superficie del mar (°C) para 1949-1968 correspondientes a las áreas del Océano Pacífico oriental en donde se obtiene la mayor parte de la captura de barrilete. Estas se encuentran ubicadas en la zona costanera inmediata, desde California (35°N) hasta Chile (20°S) y en las Islas Revillagigedo y Galápagos. La ocurrencia de barrilete y su abundancia aparente (expresada como CDSP standardizada en unidades de cerqueros) para 1951-1968 fueron luego superpuestas en los isogramas de la temperatura superficial. Los resultados demuestran que el barrilete aparece en temperaturas superficiales de > 17°C pero la mayoría entre los 20°C-30°C. La abundancia aparente de la CDSP > 1 tonelada/día se limita normalmente a aguas de 20°-29°C, excepto en dos áreas en ciertos años; desde el Golfo de Tehuantepec a Cabo Mala las tasas de 1-9 toneladas/día son relativamente comunes en los 29°-30°C, y frente a Chimbote (Perú) se registran ocasionalmente > 9 toneladas/día a una temperatura tan fría como de 18°C. Como era de esperarse no existió una relación aparente entre las condiciones térmicas anuales de la zona costanera y la abundancia del barrilete (captura total o índices de abundancia) en el mismo año o en los 2 años siguientes.

Un Apéndice del informe determina la relación cuantitativa entre la temperatura superficial y la abundancia del barrilete en un estrato de áreas relativamente pequeño en las aguas de Baja California en 1955 y 1968. Las relaciones generalmente aparecieron significativas y opuestas en esos años cuando las temperaturas fueron respectivamente anómalamente frías y calientes.

**INTRODUCCION**

Blackburn (1965) y Nakamura (1969) al revisar la ecología del atún, la oceanografía y las migraciones, han indicado que los límites completos de distribución de la mayor parte de las especies de atún, incluyendo al barrilete, pueden definirse claramente mediante la temperatura. Laevastu y Rosa (1963) indicaron en una escala universal que la amplitud

<sup>1</sup>Biólogo Asociado de Investigación, Institute of Marine Resources, Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego, California 92037.

óptima de temperatura para la ocurrencia de barrilete era de 17°-28°C, y para la presencia en pesquerías principales 19°-23°C. Unas referencias que tratan de regiones individuales de los océanos mundiales indican algunas variaciones en estas isotermas limitantes. Robins (1952) encontró grandes concentraciones de barrilete (sin existir pesca debido a la falta de demanda) frente al S.E. de Tasmania a una temperatura que fluctuaba de 16° a 18°C y con presencia actual a una temperatura tan baja como los 15°C. Recíprocamente frente al sur de la India, Jones y Silas (1963) informaron capturas regulares de barrilete en aguas de 27° a 30°C. Uda (1957), discutiendo las especies de aguas japonesas, dio límites de 17.5°-30°C para la ocurrencia y 20°-24°C en la pesca principal.

En el Pacífico oriental, Blackburn y asociados (1962) y Broadhead y Barrett (1964), indicaron, con ciertas excepciones, que el límite de distribución de 20°-28°C era probablemente justo para las concentraciones pesqueras de barrilete. En un trabajo reciente (basado en datos obtenidos desde 1959-1966) Blackburn (1969 y comunicación personal) indicó que en la región septentrional de la pesquería frente al oeste de Baja California, el límite más bajo especificado de 20°C era normalmente correcto, excepto en junio de 1964—temprano en la temporada—cuando se localizaron concentraciones pesqueras (> 3 toneladas/día, cliper) cerca a las isotermas superficiales de 17°C en un cuadrado de 1-grado. Fuera de eso encontró que el barrilete no cruza la isoterma de 20°C aún si había plenitud de alimento al lado frío de ésta, pero según aumentaba la temperatura, al cesar el afloramiento, asimismo el barrilete comenzaba a penetrar en el área donde se encontraba la concentración de alimento. Para el límite superior de distribución, 28°C parecen satisfactorios, excepto en 1956 cuando se pescaron peces inusualmente grandes en aguas hasta de 30°C (Broadhead y Barrett, 1964); sin embargo, en aguas cercanas a la costa de Baja California, las temperaturas de > 28°C son raras. En la región pesquera meridional frente a la costa oeste de Sudamérica, con excepción nuevamente de 1956, el límite superior podría colocarse cerca a los 28°C. Para el límite inferior 17°C fueron en ciertas épocas más aceptables en unas pocas áreas que los 20°C; sin embargo, la pesca principal frente a Sudamérica fue entre los 20°-24°C. Broadhead y Barrett (1964) sugirieron que un límite más bajo de 17°C ocurría cuando la temperatura superficial bajaba rápidamente debido al afloramiento durante un período de alta abundancia de barrilete.

Ha sido propuesto por Blackburn (1965, 1969) que dentro de una amplitud de temperatura adecuada, la distribución y abundancia del barrilete se encuentran controladas por la distribución y abundancia de una alimentación apropiada.

El trabajo de Broadhead y Barrett (1964), que trata tanto del atún aleta amarilla como del barrilete, abarca el período de 1951-1960 únicamente para capturas de clipers. Este estudio, que solo trata del barrilete,



presenta los datos hasta fines de 1968; además, se utilizan los datos de capturas en cerqueros para el período 1951-1968. Broadhead y Barrett no pudieron utilizar los datos de los cerqueros porque en esa época no fue posible comparar satisfactoriamente la eficiencia de los dos tipos de arte, y la abundancia aparente deducida de ellos. Sin embargo, Joseph y Calkins (1969) han deducido una expresión para la relación entre la captura por unidad de esfuerzo de los clípers y cerqueros, la cuál permite comparar ahora la abundancia aparente de las dos artes combinadas con la temperatura superficial del mar.

Los datos de temperatura son de origen similar a aquellos usados por Broadhead y Barrett (1964), *i.e.*, registros del National Weather Bureau, Nashville, pero ahora en la forma de un atlas de temperatura superficial del mar del Océano Pacífico del Norte, por meses, correspondientes al período 1949-1962 (Eber, Saur y Sette, 1968). Para el período siguiente a 1962, los datos de temperatura son deducidos según los gráficos mensuales compilados por el Bureau of Commercial Fisheries, Fishery-Oceanography Center, La Jolla.

Joseph y Calkins (1969), basados en los datos hasta 1967, han indicado que no existió una relación aparente entre el esfuerzo pesquero y la abundancia aparente del barrilete en el Pacífico oriental, pero que había una relación positiva entre el esfuerzo total y la captura total excluyendo 1951-1953. Por lo tanto las variaciones en los valores de la abundancia aparente (como de la captura por unidad de esfuerzo) para el período que se está actualmente examinando refleja probablemente las fluctuaciones de la abundancia debidas a factores independientes de la pesquería.

### RECONOCIMIENTO

Estoy agradecido al Director de la Comisión Interamericana del Atún Tropical por permitir que utilizara las estadísticas de pesca del barrilete en el Océano Pacífico oriental colectadas y procesadas por la Comisión. Se expresa reconocimiento a los Sres. Blackburn, E. B. Davidoff, E. D. Forsbergh, J. Joseph, A. R. Longhurst, F. R. Miller, C. L. Peterson y M. R. Stevenson, por sus comentarios y consejos durante la preparación de este informe. Los Sres. Blackburn y J. Joseph leyeron además el manuscrito y ofrecieron sus comentarios.

Este trabajo formó parte de la investigación del Programa de STOR (Scripps Tuna Oceanography Research). Fue subvencionado por el U. S. Bureau of Commercial Fisheries bajo los contratos 14-17-0007-963 y 14-17-0007-989.

### METODOS

Tal vez el modo más satisfactorio en el cual considerar la relación total entre la distribución y abundancia del barrilete, y la temperatura

superficial del mar, sería el sobreponer una cuadrícula de gráficos mensuales de la captura de barrilete por unidad de esfuerzo por cuadrados de 1-grado en un plano mensual de temperaturas medias superficiales en la forma de un atlas para una serie determinada de años (como en Eber, Saur y Sette, 1968). Desafortunadamente se necesitaría una cantidad excesiva de tiempo y un número excesivo de gráficos.

Broadhead y Barrett (1964) utilizaron las subáreas de Marsden (bloques de cuatro cuadrados de 1-grado) ya que pudieron disponer de temperaturas mensuales de la superficie del mar ( $^{\circ}\text{F}$ ). En esta forma ellos abarcaron las áreas costaneras de pesca atunera desde California hasta Chile, y también los grupos principales de islas que se encontraban fuera de la costa—Islas Revillagigedo y Galápagos (véase Fig. 7, Broadhead y Barrett 1964). Similarmente se estimó la captura ( $C$ ) y la captura por día standard de pesca (CDS $P$ ) para las subáreas de Marsden según los datos disponibles por cuadrados de 1-grado. El método de Broadhead y Barrett al dar una secuencia continua de tiempo y área a lo largo de la costa, trazando el tiempo en la abscisa y áreas a lo largo de la ordenada, fue considerado satisfactorio. Sin embargo, dichos autores indicaron que la proyección de los datos en esta forma causaba una tergiversación considerable (condensación) en el área de la América Central en donde la línea de la costa yace noroeste-sudeste, y también que las secuencias nort-sur y este-oeste eran difíciles de trazar en el mismo diagrama. El método actual de proyección es un intento para eliminar los problemas referentes a la tergiversación de la escala en el área de Centroamérica.

El área a lo largo de la costa fue dividida en unidades estadísticas o bandas de 1-grado de anchura, siendo los límites exteriores el promedio de los límites mar afuera de capturas significativas de barrilete. Se ofrece una guía de estos límites en los gráficos anuales de la captura de barrilete en el estudio de Joseph y Calkins (1969, Apénd. Fig. 1A-15A) para los años 1951-1965 y en los datos inéditos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) de 1965-1968. En años recientes, especialmente en 1969, la creciente penetración mar afuera de la pesca con redes de cerco hacia el sudoeste en dirección a la Isla Clipperton, ha producido principalmente atún aleta amarilla, pero se obtuvieron también algunas cantidades significativas de barrilete. Así que las "condiciones promedio" de la distribución del barrilete basadas en las estadísticas de pesca son variables. Los límites de la zona costanera y de las áreas de las islas cercanas a la costa empleados en este informe se presentan en la Figura 1; los cuadrados de 1-grado que incluyen las bandas de 1-grado presentadas en la Figura 1 se enumeran en la Tabla 1 usando el código numérico de la CIAT.

Se decidió que la proyección de las bandas de 1-grado serían latitudinales en todas partes excepto entre el Cabo Corrientes y La Unión en donde, para evitar la tergiversación, sería en base longitudinal, *i.e.*, desde el meridiano de  $106^{\circ}\text{W}$  hasta el de  $88^{\circ}\text{W}$ . El traslapo ocurre en dos

cuadrados de 1-grado, los cuales se presentan sombreados en la Figura 1. La entrada al Golfo de California evidentemente no está cubierta por esta proyección; sin embargo, la C y la CDSP nunca fueron altas allí, y de todas maneras el área está incluida en una división separada, la de las Islas Revillagigedo (véase Fig. 1, intercalada). Se le dio bastante consideración a la inclusión de la banda entre la Lat. de los 6° y 7°N, y Long. de los 80° y 83°W (al sur de Cabo Mala), una área en la que se pesca frecuentemente atún, pero el examen de los datos indicó que la relación total de distribución y abundancia con la temperatura superficial no se afectaba seriamente con esta omisión. La configuración geográfica del Golfo de Panamá necesitaba una partición en la proyección de la ordenada.

Además de la zona costanera se volvieron a examinar las dos áreas mar afuera consideradas por Broadhead y Barrett (1964), conociendo que son relativamente importantes para el barrilete. Para las Islas Revillagigedo la orientación pesquera y geográfica sudoeste-nordeste causa alguna dificultad. Se consideró que la línea base era la que se extendía sudoeste-nordeste desde la posición de los 15°N, 120°W, hasta los 23°N, 105°W, y con interpretación longitudinal a cada lado de esta línea base a los límites indicados en el área (véase Fig. 1, intercalada). Para las Islas Galápagos se consideró que el área tenía una línea base a lo largo del meridiano de los 89°W, y los datos fueron interpretados en sentido latitudinal (véase Fig. 1). Consecuentemente solo dos pequeñas áreas alrededor de las Islas Cocos y Malpelo no fueron consideradas en esta investigación.

La distribución del barrilete ha sido considerada en varias formas para este informe, i) simple ocurrencia (presencia/ausencia) para los datos combinados de los clípers y cerqueros, e ii) abundancia aparente según la CDSP (a) de clípers (standardizados a la Clase 4), (b) de cerqueros (standardizados a la Clase 3) y (c) para las artes combinadas (standardizadas a unidades de cerqueros). Los impresos del computador de las estadísticas pesqueras del barrilete en el Pacífico oriental fueron provistos por la CIAT para 1951-1968, producidos en base mensual por cuadrados de 1-grado, esfuerzo standardizado, captura, captura prorrateada y CDSP. Griffiths (1960) encontró que era necesario corregir algo los datos para eliminar medidas no confiables de la abundancia aparente derivadas de pequeñas cantidades de esfuerzo pesquero. Consecuentemente él y Broadhead y Barrett (1964), usaron solo los datos de la CDSP en áreas en las que se había ejercido 6 o más días de esfuerzo pesquero en cada mes. Este criterio ha sido también aplicado en este informe. La abundancia aparente para una banda de 1-grado fue obtenida al sumar los datos de captura y los datos de esfuerzo, para un arte específico, para los cuadrados constituyentes de 1-grado, luego por división calculando la CDSP, después de aplicar el mínimo del esfuerzo de los 6 días por mes. En el Pacífico oriental los atunes aleta amarilla se encuentran relativamente distribuidos igualmente sobre las áreas de pesca y su distribución corresponde a la distri-

bución del esfuerzo de pesca algo más estrechamente que lo que lo hacen los barriletes. Joseph y Calkins (1969) indicaron que en ciertas áreas de extensión geográfica variable, especialmente en el Golfo de California y a lo largo de la "costa mexicana," el esfuerzo de pesca no se dirige principalmente al barrilete ya que no se encuentran presentes o no son accesibles a la pesquería. Para aquellas áreas obtuvieron una estimación mejor de la abundancia (aparente) del barrilete mediante la eliminación del esfuerzo que produce cero captura de barrilete, de los cálculos de la CDSP del barrilete (aplicándose luego el mínimo del esfuerzo de los 6 días por mes). Para este informe las áreas así tratadas son aquellas presentadas por Joseph y Calkins (1969; Apéndice Fig. 1A a 15A) para 1951-1965 y en datos inéditos de la CIAT de 1965-1968.

Conforme se mencionó anteriormente, Joseph y Calkins (1969) obtuvieron una expresión para estimar la CDSP de los clípers según la CDSP de los cerqueros, basada en 34 mediciones de ambas clases de la CDSP en el mismo estrato de tiempo y espacio durante los años de transición de 1959-1961. La regresión de ellos fue:

$$\log \hat{Y} = 0.5317 + 0.277 \log X \quad (1)$$

$$\text{o} \quad \hat{Y} = 3.402 (X^{0.277}) \quad (2)$$

donde  $X = \text{CDSP para los cerqueros}$  e  $\hat{Y} = \text{CDSP para los clípers (Clase 4)}$ .

Con la desaparición virtual de los clípers de la pesca tropical atunera es más interesante expresar ahora todas las capturas en términos de unidades de cerqueros. Los datos originales de Joseph y Calkins fueron usados por lo tanto para calcular la regresión de la CDSP de los cerqueros sobre la CDSP de los clípers, la cuál fue:

$$\log \hat{Y} = 0.829 \log X - 0.1212 \quad (3)$$

$$\text{o} \quad \hat{Y} = 0.756 (X^{0.829}) \quad (4)$$

donde  $X = \text{CDSP para los clípers (Clase 4)}$  e  $\hat{Y} = \text{CDSP para cerqueros}$ . La desviación standard de la regresión (3) es 0.4628 y el coeficiente de regresión es significativo al nivel de probabilidad del 1%. El coeficiente de correlación es 0.4790 y significativo al nivel del 1% con 32 grados de libertad.

La ecuación (3) se usó para convertir la CDSP de los clípers en CDSP estimada de cerqueros; la CDSP estimada para los cerqueros y la CDSP actual de los cerqueros, si hubo alguna, fueron luego promediadas. Debe observarse que la CDSP estimada se encuentra en términos de unidades cerqueras no standardizadas mientras que la CDSP actual (tomada según los impresos del computador) se encuentra en términos de unidades de cerqueros de la Clase 3. Se considera válido combinarlas a causa de los

amplios contornos de intervalos usados al delinear la abundancia del barrilete (véase p. 266). Las mismas circunstancias parecen justificar el empleo de la ecuación (3) de conversión, la cual está basada en tan pocos datos. Desafortunadamente los 34 pares de mediciones usados por este autor, y Joseph y Calkins (1969), es todo lo que hay disponible. Como sujeto de interés la CDSP del barrilete (artes combinadas) fue graficada contra la temperatura y tiempo (Fig. 3) de dos maneras, cada una basada en una conversión diferente de la CDSP de los clípers en una estimación de la CDSP de los cerqueros (luego fue promediada con la CDSP actual de los cerqueros, donde se presentara). La primera conversión fue la de la ecuación (3) descrita anteriormente. La segunda fue realizada al resolver algebraicamente  $X$  en la ecuación (1). Los trazos resultantes se diferenciaron muy poco. La Figura 3 se encuentra basada en la primera conversión, utilizando la ecuación (3).

Los datos de temperatura contenidos en el Atlas de Eber, Saur y Sette, 1968, para el período 1949-1962, estuvieron sujetos a un control de calidad muy riguroso antes de su publicación. No obstante los autores, como hizo Saur (1963), indicaron que las temperaturas, obtenidas principalmente según observaciones de barcos mercantes, se encuentran probablemente cerca de  $1^{\circ}\text{F}$  ( $< 0.5^{\circ}\text{C}$ ) superiores a la temperatura actual de la superficie del mar (la cual no se corrigió para este informe). Para los datos después de 1962, las temperaturas se encuentran basadas sobre informes directos voluntarios, provistos al BCF, Fishery-Oceanography Center, La Jolla, por barcos mercantes y no se encuentran sujetos al riguroso control de calidad de los datos anteriores. Por lo tanto pueden existir algunos errores debido a esta diferencia en la calidad de datos después de 1962. Los datos de temperatura para el área al sur del Golfo de Panamá después de 1962 se encuentran extremadamente esparcidos debido a los cambios de rumbo en los barcos y a los sistemas de información.

Por lo tanto el gráfico básico de la temperatura superficial del mar preparado para este informe provee una secuencia continua de tiempo (20 años) y de áreas. No se ha intentado trazar todas las isotermas; en cambio se han utilizado solo aquellas próximas a las temperaturas ya consideradas como temperaturas que limitan la distribución del barrilete. Estas son isotermas de  $18^{\circ}$ ,  $19^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $21^{\circ}\text{C}$  en el extremo inferior de la distribución y las isotermas de  $28^{\circ}$ ,  $29^{\circ}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  del extremo superior. La técnica del trazado fue localizar las posiciones medias en las que estas isotermas intersecaban las bandas de 1-grado de ancho latitudinal/longitudinal en la zona costanera o en las trayectorias a las islas (véase Fig. 1). Se encontró alguna dificultad en asignar correctamente estas posiciones en donde isotermas determinadas yacen paralelamente a la costa (o línea básica) en tiempos de afloramiento intenso, *i.e.*, frente al Perú y en Baja California meridional, y por lo tanto pueden existir algunos errores atribuibles a esta causa (una reexaminación de las áreas individuales y de los períodos

individuales, sugiere que éstos son mínimos). Se han superimpuesto los datos de la pesquería sobre estos gráficos básicos de la estructura superficial termal, i) ocurrencia (artes combinadas) e ii) abundancia aparente para clípers, cerqueros, y para las artes combinadas en unidades de cerqueros. En el caso de la zona costanera (California a Chile) el límite meridional en el gráfico es Lat. 20°S; se tienen datos de pesca para la zona Lat. de los 20-22°S, en donde algunas veces se captura barrilete, pero no se tienen datos de temperatura. Se consideró útil contornear los resultados en vista de la amplia distribución de valores de la CDSP (abundancia aparente). Un examen de las distribuciones de frecuencia de los valores de la CDSP no indicó divisiones naturales, solo una declinación constante de frecuencia con el aumento de la CDSP ( $> 1$  tonelada/día). Los niveles de contorno fueron por lo tanto fijados arbitrariamente en la CDSP de 1-3, 3-9,  $> 9$  toneladas/día. Al considerar estos niveles de la abundancia aparente para las artes combinadas tiene que recordarse que la determinación de un nivel mínimo de 1 tonelada/día (unidades de cerqueros) elimina todos los datos de la CDSP de los clípers inferiores a 1.4 toneladas/día.

[Según se ha de relatar en la siguiente sección, se decidió no reproducir separadamente ya sea los gráficos de los clípers o de los cerqueros, o ninguno de los gráficos de la trayectoria a las Isla Galápagos].

## RESULTADOS

### CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS SEGUN HAN SIDO INDICADAS POR LA ESTRUCTURA TERMAL DE LA SUPERFICIE

Las determinaciones detalladas de los fenómenos oceanográficos no pueden hacerse simplemente en base a los isogramas anuales de la temperatura superficial del mar preparados en la forma descrita en la sección anterior de Métodos (y presentada como datos básicos en la Fig. 2 & 3). En lugar de esto la intención es indicar las características anuales prominentes y la amplitud de las fluctuaciones interanuales para el período 1949-1968. Broadhead y Barrett (1964) presentaron isogramas de la temperatura superficial (°F) para toda el área 1951-1960, Wooster (1961) para Perú (°C) 1939-1956, y Bjerknes (1966) para la trayectoria Costa Rica a Perú (°F) 1935-1965. Blackburn (1969) ilustró la posición de la isoterma superficial de 21°C frente al oeste de Baja California para 1951-1965, Renner (1963) publicó gráficos indicando los promedios mensuales y las anomalías de la temperatura superficial del mar (°F) correspondiente al Pacífico oriental tropical, 1949-1958, por subáreas de Marsden (cuadrados de 2-grados), y Wyrтки (1964) publicó diagramas de las medias mensuales de las temperaturas superficiales para la misma región. Además el Atlas de CalCOFI No. 1 (Calif. Mar. Res. Comm., 1963) presenta datos de temperatura a los 10-metros para la región de la Corriente de California correspondiente al período 1949-1959. Desafortunadamente la información no

fue constante, ya sea en sentido temporal o espacial, en áreas apropiadas para el barrilete.

#### **Zona costanera (California a Chile)**

El movimiento estacional hacia el norte de las isotermas de los 18° a 21°C frente a la costa occidental de Baja California es rápido, mientras que el retorno meridional es algo más lento. El movimiento hacia el norte de las isotermas a los 18° y 21°C empieza normalmente en marzo-mayo y abril-mayo respectivamente; el desplazamiento máximo hacia el norte de estas isotermas ocurre en agosto-setiembre y setiembre-octubre y se mantiene de 1 a 4 meses según el año. La posición normal más meridional (invierno septentrional) de la isoterma de 21°C es 23°N (desde el Cabo San Lucas a Mazatlán), mientras que la isoterma de 18° se encuentra entre los 23°-27°N. La fuerza (duración e intensidad de la temporada cálida (verano septentrional), si se avalúa por la posición de la isoterma de 18°C—de los 33° a los 35°N—es razonablemente constante, pero si se avalúa por la posición de la isoterma de 21°C—de los 26½° a los 34°N—varía considerablemente.

Desde los 23°N (boca del Golfo de California) hasta los 7°N (Cabo Mala) existe una región de agua cálida > 28°C durante la mayor parte del año, con temperaturas máximas de > 30°C en los sectores centrales durante el verano septentrional en ciertos años (véase Wyrski, 1964 para la media de las condiciones mensuales). La penetración septentrional del agua de > 28°C varía poco, alcanzando desde 22°N en la costa mexicana a 24½°N frente al oeste de Baja California. Solo existe agua < 28°C rara vez a lo largo de toda la costa al norte de Cabo Mala (7°N). El enfriamiento máximo en el sector septentrional al oeste de los 100°W (Acapulco), ocurre desde febrero a abril (tal como sucede frente a Baja California). El enfriamiento en el Golfo de Tehuantepec (93°-97°W) se percibe desde diciembre a febrero, y también en la mayoría de los años en el Golfo o cerca al Golfo de Papagayo (10°-12°N). El afloramiento producido por el viento puede causar una baja en las temperaturas en ambas áreas hasta de 18°C (o menos) en puntos individuales, pero por lo común la temperatura es de > 21°C (Blackburn, 1962; Blackburn y asociados, 1962; Hubbs y Roden, 1964). [Por cierto los datos promedios usados en este informe no presentan temperaturas de < 21°C ya sea en una área o en la otra]. El grado de variabilidad (tanto estacional como anual) en la estructura termal de la superficie al este de los 90°W aparece considerablemente superior a aquella situada al oeste de los 90°W. En esta región centroamericana las secuencias de calentamiento parece que empiezan en la vecindad de los 8°-9°N. Las isotermas de 28°-30°, no solamente parecen definir las variaciones en fuerza y duración en la temporada de calor, sino que el alcance de la masa de agua de > 29°C en esta zona central parece ser una guía razonablemente buena de las fluctuaciones totales de las con-

diciones termales de la superficie en toda la región costanera. En la serie cronológica actual el año más frío fue 1955 y el más cálido 1958.

Aunque algo variable de un año a otro, el agua de  $> 27^{\circ}\text{C}$  ocupa el Golfo de Panamá desde los  $7^{\circ}$ - $9^{\circ}\text{N}$  (ocasionalmente hasta los  $5^{\circ}\text{N}$ ), excepto durante el periodo de afloramiento en el invierno (enero a abril). Más notables son los periodos cuando el agua cálida,  $> 28^{\circ}\text{C}$ , se extiende continuamente hacia el sur al ecuador o a través del ecuador *i.e.*, 1953, 1957, 1958 (años de "El Niño"). Unas ocurrencias similares en 1965, y en menor grado en 1966, son dudosas ya que se dispone de muy pocos datos. Los resultados del programa de ACENTO (Forsbergh, 1969; Stevenson, Guillén y Santoro, 1970) parecen apoyar la prolongación hacia el sur del agua cálida,  $> 28^{\circ}\text{C}$ , en 1966 pero no en 1965.

Wooster (1961), usando los datos de 1939-1956, describió las características de lo que era básicamente un régimen de agua fría ( $< 20^{\circ}\text{C}$ ) frente al Perú. Los diagramas actuales confirman sus hallazgos e indican el grado de los cambios estacionales. Sin embargo, según Wooster observó, no todos los años son similares y las diferencias (entre años) son considerables. Normalmente la isoterma de  $21^{\circ}\text{C}$  está localizada entre la Lat. de  $2^{\circ}$ - $5^{\circ}\text{S}$ , aunque la duración en esta posición varía grandemente. La posición más septentrional de la isoterma de  $18^{\circ}\text{C}$  ( $4^{\circ}$  a  $12\frac{1}{2}^{\circ}\text{S}$ ) tiene una variación anual considerable y tal vez es más indicativa que la isoterma de  $21^{\circ}\text{C}$  de las fluctuaciones interanuales en la intensidad y/o duración del régimen frío. La estación cálida (no-afloramiento) es característicamente corta (enero a marzo) o casi inexistente. Claro está, que en algunos años se prolonga dramáticamente debido al fenómeno de "El Niño," cuando el agua cálida superficial penetra desde el oeste en el área mar afuera y/o del norte del ecuador (Posner, 1957; Bjerknes 1961, 1966). Los años de 1953 y 1957-1958 fueron respectivamente periodos suaves e intensos de "El Niño," y la penetración costanera de agua cálida hacia el sur al ecuador o a través de la línea ecuatorial desde el Panamá Bight (anotada anteriormente en la misma página) ha podido muy bien indicar la circulación trans-ecuatorial y/o el calentamiento localizado en esa época. En 1965, año que no ha sido considerado como un real "El Niño," ocurrió un calentamiento anormal frente al Perú, como sucedió en menor grado en 1966. En el caso del calentamiento en el invierno meridional frente al Perú en 1951, referido en el estudio de Wooster (1961), es también interesante observar la ocurrencia simultánea de agua cálida,  $> 28^{\circ}\text{C}$ , a lo largo de la costa tan lejos al sur como los  $2^{\circ}\text{S}$ . En los años reales de "El Niño" esto se manifiesta por lo menos 2 o 3 meses antes.

El área frente a Chimbote ( $9^{\circ}$ - $10^{\circ}\text{S}$ ) fue especialmente importante en 1953, 1957, 1958, 1965 y 1966, debido a la ausencia o a la demora del reabastecimiento del agua de  $< 18^{\circ}\text{C}$  al norte de esta localidad. En el área de  $17^{\circ}$ - $22^{\circ}\text{S}$  un "lente" de agua cálida,  $> 21^{\circ}\text{C}$ , aparece comúnmente de diciembre a abril y de acuerdo a Wyrтки (1964) se debe tal vez principalmente al calentamiento localizado.



En años fríos e.d., 1949 y 1950, en ninguna parte se encontró agua continua de  $> 21^{\circ}\text{C}$  a lo largo de la costa peruana mientras que en los años cálidos e.d., 1957 y 1958, existe una separación evidente de las temporadas producida por el agua cálida  $> 21^{\circ}$ , además de una falta de penetración hacia el norte del agua de  $< 18^{\circ}\text{C}$ .

#### **Trayectoria Islas Revillagigedo**

La alternación de temporadas cálidas y frías puede verse claramente en los diagramas que abarcan esta trayectoria (véase Fig. 2b y 3b). El agua de  $< 21^{\circ}\text{C}$  estuvo presente solo brevemente cerca al litoral en marzo 1968. De junio-julio a octubre-noviembre una "cuña" de agua de  $> 28^{\circ}\text{C}$  se extendió mar afuera al sudoeste de la costa mexicana. Existen considerables variaciones anuales en la penetración e intensidad (temperatura) de esta "cuña," desde una posición mínima cerca a los  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{W}$ , (1950, 1955, 1956, 1960) hasta la formación de una banda continua de agua cálida hasta el límite occidental de la trayectoria a los  $15^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{W}$  (1951, 1954, 1957-1959, 1963, 1966-1967). Solo en 1955 (el año más frío) estuvo ausente de la "cuña" el agua de  $> 29^{\circ}\text{C}$ , mientras que el agua de  $> 30^{\circ}\text{C}$  estuvo presente en diversos grados en varios años, 1953, 1957, 1959, 1961-1963, 1965-1967. [Si se hubiera usado la isoterma de  $27^{\circ}$ , una banda continua de agua cálida hubiera estado entonces presente a lo largo de la trayectoria durante el verano de todos los años].

#### **Trayectoria a las Islas Galápagos**

La pauta general es de agua cálida,  $> 27^{\circ}\text{C}$ , en el sector septentrional con temperaturas máximas y una penetración hacia el sur en febrero-abril. Este calentamiento se debe a la prolongación hacia el sur de la masa de agua cálida frente a Centroamérica (véase Wyrтки, 1964). Las temperaturas de  $> 30^{\circ}\text{C}$  son raras; los años más cálidos son 1953, 1957, 1958 y 1965. El agua fría de  $< 21^{\circ}\text{C}$  no es tan regular en ocurrencia y cuando se encuentra presente rara vez alcanza al norte del ecuador. En 1949, 1950, 1952 y 1954 se encontró agua de  $< 18^{\circ}\text{C}$  en el extremo sur del área. El período más frío es generalmente de julio a noviembre; 1955 y 1960 fueron los años más fríos. Wyrтки (1964) observó que directamente al sudoeste de las Islas Galápagos la baja de temperatura, especialmente en setiembre, se debe principalmente a la advección de la Corriente del Perú. En esta región, las condiciones oceanográficas están correlacionadas con aquellas tanto de la América Central como del Perú.

### **APARICION DE BARRILETE Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR**

#### **Zona costanera (California a Chile) (Fig. 2a)**

En conjunto hubo unos 24 casos de barrilete en aguas de  $> 30^{\circ}\text{C}$  durante toda la serie cronológica, y de éstos 9 en 1957. En casi cada caso

estas apariciones tuvieron lugar en áreas marginales y no en el centro de las masas de agua de  $> 30^{\circ}\text{C}$ . Existe una alta incidencia de aparición en aguas de  $29^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{C}$ , especialmente en el sector del Golfo de Tehuantepec a Cabo Mala—con excepción de 1956 (conforme se observó anteriormente, la estructura de la superficie termal allí es más variable que la del oeste del Golfo de Tehuantepec). En 1956, apareció barrilete en toda la masa de agua de  $> 29^{\circ}\text{C}$ , especialmente en abril y mayo, desde La Unión ( $88^{\circ}\text{W}$ ) hasta Mazatlán/Baja California ( $23^{\circ}\text{N}$ ). Las apariciones en agua fría  $< 18^{\circ}\text{C}$  frente a Baja California se contaron hasta cerca de 12, principalmente al principiar la temporada cálida cuando las temperaturas estaban cambiando rápidamente (ninguna  $< 17^{\circ}\text{C}$ ); durante el máximo de la temporada los  $20^{\circ}\text{C}$  fueron por lo general un buen límite para la aparición del barrilete. En el sector del Perú hubo unas 11 apariciones a  $< 18^{\circ}\text{C}$ , de nuevo en épocas y lugares en los que las temperaturas estaban cambiando rápidamente (ninguna  $< 17^{\circ}\text{C}$ ). Fuera de las apariciones en Chimbote ( $9^{\circ}\text{-}10^{\circ}\text{S}$ ) en aguas de  $18^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{C}$  en 1953, 1958, 1965 y 1966, y en los gradientes normalmente fuertes de temperatura entre los  $2^{\circ}$  y  $5^{\circ}\text{S}$ , se encontraron pocos peces a  $< 20^{\circ}\text{C}$ .

La aparición total de barrilete está limitada a aguas con temperaturas superficiales de  $> 17^{\circ}\text{C}$ , y la mayoría entre  $20^{\circ}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .

#### **Trayectoria a las Islas Revillagigedo (Fig. 2b)**

Se encuentra poca agua de  $> 30^{\circ}\text{C}$  en esta región y solo hubo una aparición de barrilete en ella. Aún las apariciones a  $> 29^{\circ}\text{C}$  son irregulares excepto en 1956 cuando se encontraron cantidades de peces cerca al litoral, el área en la que el agua de  $> 28^{\circ}\text{C}$  es la más común.

#### **Trayectoria a las Islas Galápagos**

Se ha decidido no reproducir los diagramas para esta región ya que i) después de 1962 solo se dispuso de isotermas aproximadas de  $21^{\circ}$  y  $27^{\circ}\text{C}$  para graficar e ii) las apariciones de barrilete fueron limitadas principalmente a la zona de  $3^{\circ}\text{N}$  a  $2^{\circ}\text{S}$ , en la que el agua rara vez es  $< 21^{\circ}\text{C}$  o  $> 29^{\circ}\text{C}$ .

#### **Aparición de barrilete en relación a la estructura indicada de la superficie termal**

Generalmente la pauta estacional de la aparición del barrilete frente al oeste de Baja California se adapta bien al avance y retroceso de las isotermas de  $18^{\circ}\text{-}21^{\circ}\text{C}$ . Las temporadas de aparición del barrilete son claras, aunque en muchos años existe un traslapo entre el final de una temporada en diciembre-enero y el comienzo de la próxima en febrero-marzo en el sur o al sur de los  $23^{\circ}\text{N}$  (al norte de los  $23^{\circ}\text{N}$  en años cálidos tales como 1957-1958). Generalmente la pauta tanto de la distancia como del tiempo de la penetración hacia el norte de los peces como se indica en los diagramas se correlaciona estrechamente con el área de agua cálida,

a menudo próxima a la configuración general de la isoterma de 20°C. Un ejemplo de la penetración mínima hacia el norte de los peces tanto en profundidad como anchura es 1955, el año más frío en la serie cronológica, mientras que 1962 presenta penetraciones poco profundas, pero por un período de tiempo relativamente largo. La penetración profunda y/o amplia de los peces en 1958, 1959, 1963 y 1965 ocurrió durante algunos de los años más cálidos de la serie cronológica.

Se ha observado anteriormente que existe una ausencia aparente de barrilete en cualquier cantidad en la región cerca al litoral entre los 22°N y el límite oriental del Golfo de Tehuantepec (93°W) (Blackburn y asociados, 1962; Broadhead y Barrett, 1964). Esta característica ha sido usada para dividir el barrilete del Pacífico oriental en dos "subpoblaciones," y la falta de mezcla indicada por pocos retornos inter-área de marcas apoya esta declaración, a la vez que los resultados de los estudios morfométricos no le quitan mérito, (Joseph y Calkins, 1969). Sin embargo, los estudios genéticos (inmunológicos y bioquímicos) (Fujino, 1970) indican que una población individual de barrilete del Pacífico oriental-central debe aceptarse actualmente, ya que no existe evidencia conclusiva de lo contrario. Los datos sencillos de aparición indican que esta separación fue más señalada excepto en los años de 1953-1956 y 1963-1964. En estos tiempos existieron varios grados de continuidad entre las "subpoblaciones" septentrionales y meridionales en el primero y último trimestre del año, cuando las temperaturas superficiales estuvieron más bajas. Entre mayo, 1958-febrero, 1959 y julio, 1967-febrero, 1968 no se registraron virtualmente peces en la zona costanera entre los 23°N y 3°N.

Al sur del Golfo de Panamá la aparición de barrilete fue lo más común durante el año entre los 3°N y 5°S. Entre los 3°-9°N las apariciones fueron más variables, realizándose principalmente en el segundo trimestre. Esto sucedió especialmente entre los 7° y 9°N después del afloramiento de febrero-abril [véase Forsbergh (1969) para obtener detalles de las correlaciones entre las características oceanográficas y la distribución de atún y su abundancia aparente en el Panamá Bight] pero puede que los peces estén completamente ausentes durante el resto del año (1956, 1958, 1963, 1964, 1967, 1968). Las apariciones en los 9°-10°S y 17°-22°S fueron intermitentes. En la mayoría de los años hay algún calentamiento frente a Chimbote (9°-10°S) en el primer trimestre, pero aparentemente los peces no siempre están presentes (únicamente se ha pescado desde 1953). La aparición más tarde durante el año parece depender en que tanto tiempo se demora en iniciarse el agua fría (< 18°C), y esto pudo verse claramente en 1953, 1957-1958 y en un grado menor en 1965-1966. Los primeros períodos son aquellos del fenómeno de "El Niño" y los últimos los del calentamiento anormal costanero. Las apariciones al sur de los 17°S (se ha pescado allí desde 1957) han sido registradas cada año, excepto en 1967 y 1968, durante el período noviembre a mayo, pero principalmente diciem-

bre a marzo. Estas apariciones se encuentran evidentemente correlacionadas con el "lente" de agua cálida que se forma en esta área (véase p. 268) y con las temperaturas de  $> 18^{\circ}\text{C}$ , y comúnmente  $> 20^{\circ}\text{C}$ .

### **ABUNDANCIA APARENTE DE BARRILETE Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR**

#### **Zona costanera (California a Chile)**

*Barcos de carnada*—Se tienen pocos datos para barcos de carnada después de 1962 excepto en el área de Baja California. Todos los datos de los barcos de carnada fueron graficados en el diagrama básico de la estructura de la superficie termal y contorneados según las tasas de captura de 1-3, 3-9,  $> 9$  toneladas/día. Sin embargo, ya que Broadhead y Barrett (1964) presentaron los datos hasta 1960, y el esfuerzo de los clippers ha sido poco desde entonces, los diagramas actuales no se reproducen en este informe. Solo se ofrecen comentarios apropiados.

En el área de Baja California la separación entre temporadas está indicada por la abundancia aparente  $> 1$  tonelada/día, y para la cual una buena guía es la isoterma de  $20^{\circ}\text{C}$  (claro está que no se han registrado tasas de captura de  $> 9$  toneladas/día en aguas de  $> 20^{\circ}\text{C}$ , y solo unas pocas en aguas de  $> 28^{\circ}\text{C}$ ). Con excepción del comienzo y fin de 1956, las pautas de la abundancia aparente ( $> 1$  tonelada/día) indican un amplio vacío entre Cabo Corrientes y el límite oriental del Golfo de Tehuantepec.

En la parte meridional de la región las concentraciones principales de barrilete fueron localizadas entre los  $3^{\circ}\text{N}$  y  $5^{\circ}\text{S}$ , y la abundancia aparente fue especialmente alta entre los  $4^{\circ}$ - $5^{\circ}\text{S}$  en la segunda mitad del año. Entre los  $3^{\circ}$ - $9^{\circ}\text{N}$  la abundancia aparente fue la más alta durante el segundo trimestre del año. Frente a Chimbote ( $9^{\circ}$ - $10^{\circ}\text{S}$ ) hubo uno o dos casos de abundancia aparente  $> 1$  tonelada/día a menos de  $18^{\circ}\text{C}$ , mientras que áreas de abundancia con un rendimiento de  $> 9$  toneladas/día fueron localizadas en aguas de  $18^{\circ}$ - $19^{\circ}\text{C}$ , especialmente en 1957-1958. Al sur de los  $17^{\circ}\text{S}$  las concentraciones produciendo  $> 1$  tonelada/día estuvieron principalmente limitadas a aguas de  $> 20^{\circ}\text{C}$ ; la abundancia aparente fue especialmente alta en el periodo de 1957-1960.

*Barcos con redes de cerco*—Los datos de los cerqueros son principalmente para 1961-1968; antes de éstos existían algunos para las aguas de Baja California pero la mayoría son originarios del área de los  $4^{\circ}$ - $5^{\circ}\text{S}$ . Los datos de la abundancia aparente de los cerqueros, que no habían sido anteriormente correlacionados con la temperatura, han sido graficados en el diagrama básico de la estructura de la superficie termal. No se reproduce el diagrama completo en este informe ya que los datos de pesca forman la mayoría de los registros posteriores a 1961 presentados bajo la abundancia aparente de las artes combinadas. Sin embargo, en los párrafos siguientes se presentan algunas anotaciones.

La abundancia aparente indica la pauta estacional ordinaria de la distribución frente a Baja California. Solo hubo uno o dos casos de abundancia aparente  $> 1$  tonelada/día en aguas de  $< 19^{\circ}\text{C}$ ; tampoco, con excepción de 1958, hubo muchos  $> 9$  toneladas/día en ningún lugar en el área de Baja California. Existió también el vacío común de las concentraciones entre Cabo Corrientes y el límite oriental del Golfo de Tehuantepec, menos en el último trimestre de 1963 y 1964, cuando se encontraron algunas apariciones de 1-9 toneladas/día en una posición intermedia; no hubo ninguna aparición a mediados del verano ( $> 29^{\circ}\text{C}$ ) o en el mismo Golfo de Tehuantepec. Al este del Golfo de Tehuantepec la abundancia aparente de 3 toneladas/día fue común en aguas de  $> 29^{\circ}\text{C}$ . En la mayor parte de 1965 y durante todo 1966-1967 hubo muy poco barrilete entre Cabo Corrientes y Cabo Mala, o aún en la Lat. de los  $3^{\circ}\text{N}$ .

Frente a Sudamérica la abundancia aparente fue superior desde los  $3^{\circ}\text{N}$  hasta los  $5^{\circ}\text{S}$ , con muchos casos de tasas de captura de  $> 9$  toneladas/día. A los  $2^{\circ}$  hasta los  $5^{\circ}\text{S}$  estas apariciones de una abundancia aparente muy alta fueron principalmente a temperaturas de  $> 20^{\circ}\text{C}$ . Al norte de los  $3^{\circ}\text{N}$  hubo pocas ocasiones de alta abundancia aparente, presentándose principalmente en el primer trimestre de 1962. La abundancia fue alta frente a Chimbote en la primera mitad de 1965, 1966 y 1967, cuando hubo también una distribución más o menos continua de peces desde los  $5^{\circ}$  a los  $10^{\circ}\text{S}$ . En 1965-1966 esta abundancia apareció correlacionada con el calentamiento anormal costanero, pero en 1967 esto no fue evidente, aunque existió alguna indicación de aguas de  $> 21^{\circ}\text{C}$  en los diagramas de marzo-abril de ese año. Antes de 1961 los cerqueros produjeron tasas de captura de  $> 9$  toneladas/día a los  $4^{\circ}$ - $5^{\circ}\text{S}$ .

Sin duda la alta abundancia aparente ( $> 9$  toneladas/día) de barrilete generalmente aparece correlacionada con las temperaturas superficiales  $> 20^{\circ}\text{C}$ .

*Artes combinadas (standardizadas a unidades de cerqueros) (Fig. 3a)*—Frente a Baja California hay unos pocos casos de concentraciones de barrilete a  $< 19^{\circ}\text{C}$ ; la sola aparición en 1967 de  $> 9$  toneladas/día fue un incidente marginal. Estas distribuciones “anormales” se encontraron principalmente a comienzos de la temporada, o en menor grado a tiempo de la clausura de la temporada *i.e.*, en épocas de cambios rápidos de temperatura. La abundancia de barrilete de  $> 1$  tonelada/día no fue común entre Cabo Corrientes y el límite oriental del Golfo de Tehuantepec, excepto de diciembre 1955 a diciembre 1956, noviembre 1963 a noviembre 1964, y en menor grado en noviembre 1953 a abril 1954, y luego principalmente por fuera del agua de alta temperatura ( $> 29^{\circ}\text{C}$ ). En ciertos períodos, julio 1957 a enero 1960 y mayo 1965 a enero 1968, hubo muy pocas apariciones o ninguna de  $> 1$  tonelada/día aún del Golfo de Tehuantepec a Cabo Mala. Una característica interesante es que los períodos de 1957-1959 y 1965-1967, siguieron años en los que había “casi continuamente” concentraciones

de barrilete desde Baja California hasta Cabo Mala. [Naturalmente 1957-1958 fueron años de "El Niño" y 1965-1966 unos de calentamiento anormal costanero frente al Perú].

Frente a Sudamérica la alta abundancia aparente fue vista principalmente entre los 3°N y 5°S y a temperaturas de  $> 20^{\circ}\text{C}$ ; al norte de los 4°N los peces fueron por lo común más abundantes en el segundo trimestre. La alta abundancia aparente en el área desde los 2° a 5°S de 1961 hacia adelante fue casi continua durante el año; anteriormente, las interrupciones en la continuidad sucedieron principalmente en la primera mitad del año. Las apariciones que producen rendimientos de  $> 1$  tonelada/día fueron registradas frente a Chimbote (9°-10°S) en muchos años (a  $< 18^{\circ}\text{C}$  solo en 1958 y 1965) pero la alta abundancia aparente ( $> 9$  toneladas/día) principalmente en 1957-1959 y 1965-1966 (años cálidos) y en 1967, y a temperaturas de  $> 18^{\circ}\text{C}$ . Al sur de los 17°S la abundancia aparente fue alta solo desde diciembre a marzo en aguas generalmente de  $> 20^{\circ}\text{C}$ .

Resumidamente, hubo muchos casos de abundancia aparente baja o mediana (1 a 9 toneladas/día) de barrilete en aguas de  $29^{\circ}$ - $30^{\circ}\text{C}$ , al este del Golfo de Tehuantepec, pero solo dos (de bajo rendimiento) en aguas de  $> 30^{\circ}\text{C}$ . Hubo pocas ocasiones de concentraciones de peces a  $< 19^{\circ}\text{C}$ , excepto frente a Chimbote donde aparecieron hasta una temperatura de  $17^{\circ}\text{C}$  pero con la mayoría a  $18^{\circ}$ - $19^{\circ}\text{C}$  y luego solo ocasionalmente produciendo tasas de captura de  $> 9$  toneladas/día.

#### **Trayectoria a las Islas Revillagigedo**

*Barcos de carnada*—Solo en 1956 ocurrió la abundancia aparente de  $> 1$  tonelada/día (pero  $< 2$  toneladas/día) en aguas de  $> 29^{\circ}\text{C}$  (hacia el litoral al norte y al este de las Islas Tres Marias). Los únicos años con alta abundancia aparente al norte y este de la posición de los  $20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{W}$  fueron 1955-1956 y parte de 1957.

Es difícil distinguir cualesquiera pautas de desplazamiento de las Islas Revillagigedo a Baja California (según lo sugerido por el estudio de Broadhead y Barrett (1964) basados solamente en la abundancia aparente/datos de aparición, ya que los movimientos parecen casi traslapar al comenzar el desplazamiento hacia el Golfo y al terminar el desplazamiento hacia las islas (alejándose en febrero del Golfo y acercándose en marzo a las Islas Revillagigedo).

Existe, excepto en 1956, alguna indicación de que la banda de agua cálida presente durante el tercer trimestre del año tiende a excluir peces en concentraciones que rinden tasas de captura de  $> 1$  tonelada/día, aunque debe recordarse que este es el máximo de la temporada de barrilete frente a Baja California.

*Cerqueros*—Hay pocos datos anteriores a 1962 y todos eran de aguas de  $< 28^{\circ}\text{C}$ . Los únicos períodos en que los fueron abundantes ( $> 3$  toneladas/día) en aguas de  $> 29^{\circ}\text{C}$  fueron a fines del verano/otoño en 1964 y

1966 a los márgenes de la penetración del agua cálida. En cuanto a los clípers, la abundancia aparente de  $> 1$  tonelada/día no se encontró en el período de agua cálida del tercer trimestre.

*Artes combinadas (standardizadas a unidades de cerqueros) (Fig. 3b)*—La abundancia aparente a niveles de  $> 1$  tonelada/día se encontró solo en la segunda mitad de 1956, y en los terceros trimestres de 1964 y 1966 en aguas de  $> 29^{\circ}\text{C}$ , asociadas con la masa de agua de cerca al litoral. La abundancia aparente del barrilete estuvo en su máximo en temperaturas superficiales de  $< 28^{\circ}\text{C}$ . Como se declaró en la sección anterior, los datos de la abundancia aparente no indican movimiento dentro o fuera del área.

#### **Trayectoria a las Islas Galápagos**

La mayoría de los datos para esta región proviene de los clípers antes de 1959. La abundancia aparente con índices de rendimiento de  $> 1$  tonelada/día es muy rara a temperaturas superficiales de  $> 28^{\circ}\text{C}$ . No se reproducen los diagramas de esta área en este informe, ya que las concentraciones principales de barrilete fueron encontradas en aguas de  $20^{\circ}$ - $28^{\circ}\text{C}$ .

#### **CONDICIONES TERMALES ANUALES Y ABUNDANCIA DE BARRILETE**

Según los isogramas de la temperatura superficial es posible comparar las condiciones relativas de la superficie termal en los años que componen la serie cronológica mediante mediciones directas del área que se encuentra por encima y por debajo entre isotermas determinadas. Dentro de los límites de la zona costanera de este informe, se midieron para cada año las siguientes áreas de temperaturas determinadas, consideradas importantes para la distribución del barrilete: área con aguas de  $< 18^{\circ}\text{C}$ ,  $< 21^{\circ}\text{C}$ ,  $> 29^{\circ}\text{C}$ ,  $> 30^{\circ}\text{C}$ ,  $21^{\circ}$ - $29^{\circ}\text{C}$ ,  $18^{\circ}$ - $30^{\circ}\text{C}$ . Luego se hizo un análisis de regresión de estos datos sobre la captura total (peso) y sobre el promedio de densidad del barrilete por unidad de área (como índices de abundancia según Joseph y Calkins, 1969) correspondiente al mismo año y para cada uno de los próximos 2 años. No parece que hubiera habido una relación significativa.

Broadhead y Barrett (1964), no encontraron igualmente relación significativa entre la abundancia aparente del barrilete y las anomalías anuales de la temperatura de la superficie del mar tanto para la región pesquera septentrional como meridional del barrilete en el Pacífico oriental. La abundancia del barrilete en el Pacífico oriental parece depender tanto en la fuerza de la clase anual (éxito de reproducción/sobrevivencia de larvas) de los reclutas y de las variaciones en el porcentaje de los reclutas que pasan a través de la pesquería (éxito de migración). Ambos sucesos se encuentran sin duda fuertemente influenciados por las condiciones ambientales en el Océano Pacífico, especialmente al oeste de los  $120^{\circ}\text{W}$ .

---

**APENDICE 1.****Abundancia de barrilete y temperatura superficial del mar  
en aguas de Baja California en 1955 y 1958**

Blackburn (1959) ha indicado que en aguas al oeste de Baja California la aparición de barrilete en concentraciones pesqueras se encuentra limitada a temperaturas superficiales de 17° hasta unos 28°C, pero con la mayoría de los peces entre 20° y 28°C. Se realizó una investigación para determinar la naturaleza de las relaciones cuantitativas (si es que existe alguna) entre la abundancia del barrilete y las temperaturas superficiales (y ciertos otros parámetros ambientales) para los años 1955 y 1958 que fueron, en sentido oceanográfico, anómalamente fríos y calientes respectivamente.

El área considerada estuvo restringida al norte de los 20°N y entre los meridianos de los 110° y 120°W, debido a que el esfuerzo de pesca en todos los demás lugares en la región septentrional se consideró dirigido principalmente al atún aleta amarilla. En el primer caso se hicieron comparaciones mediante el análisis de regresión de capturas mensuales por días standard de pesca (CDSP) y captura (C) de barrilete basadas en la temperatura de la superficie del mar; todos los datos fueron obtenidos de los clípers e integrados por líneas latitudinales de cuadrados de 1-grado. Los resultados de los análisis se presentan en la Tabla 1 del Apéndice. Se intentó luego mirar los datos mediante estratos más pequeños de áreas, es decir cuadrados de 1-grado. Desafortunadamente no había suficientes datos comparativos sobre la abundancia y temperatura superficial, etc., para 1955, así que los resultados, dados en la Tabla 2 del Apéndice, se encuentran limitados a 1958. La CDSP del barrilete y la C fueron utilizadas solo cuando el esfuerzo de pesca (E) excedió 5 días por mes en una línea latitudinal determinada de cuadrados de 1-grado en el caso de los análisis informados en la Tabla 1 del Apéndice, y en un cuadrado determinado de 1-grado en aquellas de la Tabla 2 del Apéndice.

Los resultados (Tablas 1 y 2 del Apéndice) indican que la relación entre la abundancia de barrilete y las temperaturas superficiales o a los 10 m fueron bastante diferentes entre los años, aunque algunas veces faltaron regresiones significativas. Fueron opuestas en 1955 y 1958, años fríos y calientes, respectivamente. Uda (1939) indicó que en 1936-1938 frente al nordeste del Japón las capturas de barrilete se realizaron entre los 18°-30°C, pero las capturas máximas estuvieron al extremo inferior de la distribución, 20°-24°S. Uda (1957) informó también que los años 1936-1938 y 1955-1957 no fueron solamente años en los que se obtuvo una alta captura durante todo el tiempo, pero años de ocurrencia máxima de aguas cálidas frente al nordeste del Japón. Consecuentemente parece que por lo menos en algunos años cálidos, se realizaron altas capturas de barrilete a los 20°-24°C (extremo inferior de la distribución) en aguas japonesas. Vale la pena observar que en 1958, un año de ocurrencia máxima de agua cálida frente a Baja California, la CDSP del barrilete y la C también parecieron más altas cerca al extremo inferior de la distribución de temperatura (20°-23°C).



**LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA**

- Blackburn, M. 1965. Oceanography and the Ecology of Tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **3**: 299-322.
- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. *Fish. Bull. U. S.* **68**(1): 147-176.
- Blackburn, M., and Associates. 1962. Tuna oceanography in the eastern tropical Pacific. U. S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish. (400), iv + 48 p.
- Bjerknes, J. 1961. "El Niño" study based on analysis of ocean surface temperatures 1935-57 [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **5**(3): 219-303.
- Bjerknes, J. 1966. Survey of El Niño 1957-58 in its relation to tropical Pacific meteorology [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **12**(2): 25-86.
- Broadhead, G. C., and I. Barrett. 1964. Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **8**(8): 417-473.
- California Marine Research Committee. 1963. CalCOFI Atlas of 10-meter temperatures and salinities 1949 through 1959. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Atlas No. 1.
- Eber, L. E., J. F. T. Saur and O. E. Sette. 1968. Monthly mean charts: sea surface temperature, North Pacific Ocean, 1949-62. U. S. Fish. Wildl. Serv., Circ. 258, vi + 168 p.
- 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.
- Fujino, K. 1970. Immunological and Biochemical Genetics of Tunas. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **99**(1): 152-178.
- Griffiths, R. C. 1960. A study of measures of population density and of fishing effort in the fishery for yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, in the Eastern Tropical Pacific Ocean, from 1951-1956 [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, **4**(3): 39-136.

- Hubbs, C. L., and G. I. Roden. 1964. Oceanography and Marine Life Along the Pacific Coast of Middle America. "Handbook of Middle American Indians." **1**: 143-186. Univ. Texas Press.
- Jones, S., and E. G. Silas. 1963. Synopsis of biological data on skipjack *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) 1758 (Indian Ocean). FAO Fish. Rep. (6)**2**: 663-694.
- Joseph, J., and T. P. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the Eastern Pacific Ocean [in English and Spanish]. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., **13**(1): 1-273.
- Laevastu, T., and H. Rosa. 1963. Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. FAO Fish. Rep. (6)**3**: 1835-1851.
- Nakamura, H. 1969. Tuna distribution and migration. Fishing News (Books) Ltd., London. pp. 76.
- Posner, G. S. 1957. The Peru Current. Bull. Bingham Oceanogr. Coll. **16**(2): 106-155.
- Renner, J. A. 1963. Sea surface temperature monthly average and anomaly charts Eastern Tropical Pacific Ocean, 1947-58. U. S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish. (442): iii + 57 p.
- Robins, J. P. 1952. Further observations on the distribution of striped tuna *Katsuwonus pelamis* L., in Eastern Australian waters and its relation to surface temperature. Aust. J. Mar. Freshw. Res. **3**: 101-110.
- Saur, J. F. T. 1963. A study of the quality of sea water temperatures reported in ships' weather observations. J. App. Meteor. **2**(3): 417-425.
- Stevenson, M. R., O. Guillén and J. Santoro. 1970. Marine Atlas of the Pacific coastal waters of South America [in English and Spanish]. University of California Press, Berkeley: 23 p. + 99 charts.
- Uda, M. 1939. On the characteristics of the frequency curve for the catch of "Katuo," *Euthynnus vagans* (Lesson), referred to the water temperature. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **8**(4): 169-172.
- Uda, M. 1957. A consideration on the long years trend of the fisheries fluctuation in relation to sea conditions. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **23**(7-8): 368-372.
- Wooster, W. S. 1961. Yearly changes in the Peru Current. Limnol. Oceanogr. **6**(2): 222-226.
- Wyrtki, K. 1964. The Thermal Structure of the Eastern Pacific Ocean. Dt. Hydrogr. Z. Ergänzungsheft A, **8**(6): 6-84.

**APPENDIX TABLE 1.** Values of regression coefficient (*b*), intercept constant (*a*) and correlation coefficient (*r*) for the indicated regressions of skipjack abundance on sea surface temperatures, 1955 and 1958 (analyses by latitudinal lines of 1-degree squares).

**TABLA 1 DEL APENDICE.** Valores del coeficiente de regresión (*b*), constante de intercepción (*a*) y coeficiente de correlación (*r*) para las regresiones indicadas de la abundancia del barrilete sobre temperaturas superficiales del mar, 1955 y 1958 (análisis por líneas latitudinales de cuadrados de 1-grado).

Regression (Y on X) Regresión (Y sobre X)	Year Año	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	Degrees of freedom Grados de libertad	Significance <sup>1</sup> Significación	Remarks	Comentarios
CSDF on surface temperature °C (from baitboats)  CDSP sobre la temperatura superficial de °C (de clipers)	1955	0.666	-13.006	0.513	28	**	CSDF increasing with increasing temperature in range 20°-28°C. At < 23°C CSDF values were all < 3 tons, while at > 23°C more than 50% were > 3 tons.	Aumento de la CDSP con el aumento de temperatura fluctuando de 20°-28°C. A los < 23°C los valores de la CDSP fueron todos de < 3 toneladas, mientras a > 23°C más del 50% fue > 3 toneladas.
	1958	-0.364	10.307	-0.340	62	**	CSDF decreasing with increasing temperature in range 20°-28°C. At < 23°C about 30% of CSDF values were > 3 tons, while at > 23°C all were < 3 tons.	Reducción de la CDSP con el aumento de la temperatura fluctuando de 20°-28°C. A los < 23°C cerca del 30% de los valores de la CDSP fueron > 3 toneladas mientras a los > 23°C todos fueron < 3 toneladas.
C on surface temperature °C (from baitboats)  C sobre la temperatura superficial de °C (de clipers)	1955	37.705	-683.508	0.226	28	NS	Catches > 250 tons were not made at < 22.5°C, whereas more than 40% of the catches at > 22.5°C were > 250 tons.	No se obtuvieron capturas de > 250 toneladas a < 22.5°C, mientras que más del 40% de las capturas a > 22.5°C fueron > 250 toneladas.
	1958	-57.750	1545.840	-0.290	62	*	Catch decreasing with increasing temperature in the range 20°-28°C. The few catches > 500 tons were restricted to water < 23°C.	Reducción de captura con el aumento de la temperatura fluctuando de 20°-28°C. Las pocas capturas de > 500 toneladas fueron limitadas a aguas de < 23°C.

<sup>1</sup> \*\* indicates significance at 1% level of probability, \* significance at 5% level, and NS not significant at 5% level.

\*\* indica significación al nivel de probabilidad del 1%, \* significación al nivel del 5%, y NS no significante al nivel del 5%.

**APPENDIX TABLE 2.** Values of regression coefficient (*b*), intercept constant (*a*) and correlation coefficient (*r*) for the indicated regressions of skipjack abundance on surface and 10-meter temperatures, 10-meter salinity and mean zooplankton volume for 1958 (analyses by 1-degree squares).

**TABLA 2 DEL APENDICE.** Valores del coeficiente de regresión (*b*), constante de intercepción (*a*) y coeficiente de correlación (*r*) para las regresiones indicadas de la abundancia del barrilete sobre las temperaturas superficiales y a los 10 metros, salinidad a los 10 metros y media del volumen de zooplancton en 1958 (análisis por cuadrados de 1-grado).

Regression (Y on X)	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	Degrees of freedom	Significance <sup>1</sup>	Remarks	Comentarios
Regresión (Y sobre X)	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	Grados de libertad	Significación		
CSDF on surface temperature °C (from baitboats)	-0.315	9.551	-0.193	43	NS	At < 23°C over 42% of CSDF values were > 3 tons while at > 23°C all were < 3 tons.	A los < 23°C más del 42% de los valores de la CDSP fueron > 3 toneladas mientras a los > 23°C todos fueron < 3 toneladas.
CDSP sobre la temperatura superficial de °C (de clipers)							
CSDF on 10 m temperature °C (from oceanographic data)	-0.407	11.499	-0.304	65	**	CSDF decreasing with in- creasing temperature in the range 16°-27°C. At < 23°C over 37% of CSDF values were > 3 tons while at > 23°C all were < 3 tons.	Reducción de la CDSP con el aumento en la temperatura fluctuando de 16°-27°C. A < 23°C más del 37% de los valores de la CDSP fueron > 3 toneladas mientras a > 23°C todos fueron < 3 tone- ladas.
CDSP sobre las temperaturas de °C a los 10 m (según datos oceanográficos)							
CSDF on 10 m salinity ‰	-3.707	129.055	-0.552	61	**	CSDF decreasing with in- creasing salinity in the range 33.40 to 34.70 ‰. At salinities > 34.10 ‰ all CSDF values were < 4 tons while at < 34.10 ‰ about 50% were > 4 tons.	Reducción de la CDSP con el aumento de la salinidad fluc- tuando de 33.40 a 34.70 ‰. A salinidades > 34.10 ‰ todos los valores de la CDSP fueron de < 4 toneladas mientras a < 34.10 ‰ cerca del 50% fueron > 4 toneladas.
CDSP sobre la salinidad ‰ a los 10 m							
CSDF on mean zooplankton volume/1000 m <sup>3</sup>	-0.014	3.776	-0.218	62	NS	Indications that CSDF was low when mean zooplankton volume was high.	Indicaciones de que la CDSP fue baja cuando la media del volumen de zooplancton fue alta.
CDSP sobre la media del volumen de zooplancton/ 1000 m <sup>3</sup>							

APPENDIX TABLE 2. (continued)

Regression (Y on X)	b	a	r	Degrees of freedom	Significance <sup>1</sup>	Remarks	Comentarios
C on surface temperature °C (from baitboats)	-1.014	177.162	-0.006	43	NS	The few catches > 500 tons were made at < 23°C.	Las pocas capturas de > 500 toneladas fueron obtenidas a < 23°C.
C sobre las temperaturas superficiales de °C (de clipers)							
C on 10 m temperature °C (from oceanographic data)	-11.249	384.364	-0.089	65	NS	The few catches > 500 tons were made at < 23°C.	Las pocas capturas de > 500 toneladas fueron obtenidas a < 23°C.
C sobre las temperaturas de °C a los 10 m (según datos oceanográficos)							
C on 10 m salinity ‰	-206.453	7175.385	-0.328	61	**	C decreasing with increasing salinity in the range 33.40 to 34.70 ‰. The few catches > 500 tons were made at salini- ties < 34.10 ‰.	Reducción de captura con el aumento de salinidad fluc- tuando de 33.40 a 34.70 ‰. Las pocas capturas de > 500 tone- ladas fueron obtenidas a sa- linidades de < 34.10 ‰.
C sobre salinidad ‰ a los 10 m							
C on mean zoo- plankton volume/ 1000 m <sup>3</sup>	-0.915	209.609	-0.153	62	NS	The few catches > 500 tons were made at mean zooplank- ton volumes < 60 cc/1000 m <sup>3</sup> .	Las pocas capturas de > 500 toneladas fueron obtenidas en la media de los volúmenes de zooplancton de < 60 cc/1000 m <sup>3</sup> .
C sobre la media del volumen de zooplancton/1000 m <sup>3</sup>							

<sup>1</sup>\*\* indicates significance at 1% level of probability and NS not significant at 5% level.

\*\* indica significación al nivel de probabilidad del 1% y NS no significación al nivel del 5%.