

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION

COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin—Boletín

Vol. 19, No. 6

**THE INFLUENCE OF SOME ENVIRONMENTAL VARIABLES ON THE
APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK TUNA, *KATSUWONUS PELAMIS*,
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

**LA INFLUENCIA DE ALGUNAS VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA
ABUNDANCIA APARENTE DEL ATUN BARRILETE, *KATSUWONUS
PELAMIS*, EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by—por
Eric D. Forsbergh

La Jolla, California

1989

CONTENTS—INDICE

ENGLISH VERSION—VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT	433
1 INTRODUCTION	434
2 SOURCES AND PROCESSING OF DATA	434
3 BACKGROUND INFORMATION ON SKIPJACK	438
3.1 Problems in estimating indices of abundance for skipjack cohorts from catches in the EPO	438
3.2 Spawning areas	440
3.3 The question of subpopulations	440
3.4 Ocean currents in migration hypotheses	441
3.5 Growth	441
4 ANALYSES	443
4.1 Purse-seine effort and catch per unit of effort	443
4.2 Age groups and age-specific catch rates	447
4.3 Environmental variables and apparent abundance	449
4.31 Larvae	449
4.32 Recruits and post-recruits	451
4.321 Selection of environmental variables	451
4.322 Calculation of environmental indices	452
4.323 The international baitboat fishery of the EPO	454
4.324 The international purse-seine fishery of the EPO	455
4.325 The purse-seine fishery of the Gulf of Guayaquil area	458
4.326 The local baitboat fishery of Ecuador	460
4.33 Discussion	462
5 SUMMARY	464
ACKNOWLEDGMENTS	465
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS	465

FIGURES—FIGURAS	469
-----------------------	-----

TABLES—TABLAS	491
---------------------	-----

INDICE—CONTENTS

VERSION EN ESPAÑOL—SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO	523
1 INTRODUCCIÓN	524
2 FUENTES Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	525
3 EL BARRILETE	529
3.1 Problemas en la estimación de los índices de abundancia de las cohortes de barriletes a partir de las capturas del OPO	529
3.2 Zonas de desove	530
3.3 La cuestión de subpoblaciones	531
3.4 Las corrientes oceánicas en las hipótesis de migración	532
3.5 El crecimiento	532
4 ANALISIS	534
4.1 El esfuerzo cerquero y la captura por unidad de esfuerzo	534
4.2 Grupos de edad y tasas de captura específicas para cada edad	538
4.3 Variables ambientales y abundancia aparente	540
4.31 Las larvas	541
4.32 Reclutas y postreclutas	543
4.321 La selección de las variables ambientales	543
4.322 El cálculo de los índices ambientales	544
4.323 La pesca de carnada internacional del OPO	546
4.324 La pesca cerquera internacional del OPO	547
4.325 La pesca cerquera en la zona del Golfo de Guayaquil	550
4.326 La pesca de carnada local del Ecuador	553
4.33 Discusión	555
5 RESUMEN	557
RECONOCIMIENTOS	559
SIMBOLOS Y ABREVIACIONES	559
<hr/>	
LITERATURE CITED—LITERATURA CITADA	562

THE INFLUENCE OF SOME ENVIRONMENTAL VARIABLES
ON THE APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK TUNA,
KATSUWONUS PELAMIS, IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN

by

Eric D. Forsbergh

ABSTRACT

The abundance of skipjack larvae in the central and western Pacific approximately doubled for every 1°C increase in sea-surface temperature (SST) from 23°C to a maximum of about 29°C, and then usually decreased with further increases in SST. Skipjack larvae are scarce in the eastern Pacific Ocean (EPO), so most skipjack recruits and adults in this area are believed to have originated in the central and, possibly, the western Pacific.

The catch per unit of effort (CPUE), in short tons per day's fishing, and the catch rate, in number of fish per day's fishing, are estimates of apparent abundance in a fishery. The logarithm of the annual CPUE for skipjack for international baitboats in the EPO for the 1934–1960 period was positively correlated with SST in the spawning area in the central Pacific 18 months earlier ($r^2 = 0.31$), during the July–June period when most of the recruits in each cohort were presumed to have been spawned. Adequate data for other environmental variables were not available for testing with the baitboat data.

The other environmental variables available and selected for testing for correlation with estimates of skipjack abundance for purse seiners for the 1961–1984 period and the reasons for their selection are as follows. 1) Wind-mixing index (WMI). The degree of mixing in the upper layers of the ocean is proportional to the cube of the wind speed, called WMI. The degree of mixing in the spawning areas of the central and the western Pacific may affect the concentration of organisms that skipjack larvae feed upon, thereby influencing their survival, and ultimately determining cohort strength and the number of recruits to the eastern Pacific fishery. 2) SST in the fishing areas at the time of fishing (SST). The CPUE for yellowfin tuna has been shown to be inversely related to SST in the fishing areas, and there are indications that skipjack CPUE is lower during El Niño events when SST is higher than normal. 3) North-south SST gradient across the thermal front off the Gulf of Guayaquil. This is a measure of the degree of upwelling and nutrient enrichment of the upper waters south of the front and ultimately of the production of food for tunas. 4) Speed of the North Equatorial Countercurrent (NECC). Young skipjack may migrate from the central Pacific to the EPO in the eastward flowing NECC; if so, the number of recruits might be affected by variations in the speed of the current.

The logarithm of the annual catch rate of skipjack recruits by international purse seiners in the EPO for the 1961–1984 period was positively correlated with SST in the spawning area of the central Pacific 18 months earlier ($r^2 = 0.21$), and inversely correlated with WMI in the spawning area 18 months earlier ($r^2 = 0.46$). The logarithm of CPUE for purse seiners in the area off the Gulf of Guayaquil was not correlated with SST in the spawning area 18 months earlier, but was inversely correlated with WMI in the spawning area 18 months earlier ($r^2 = 0.19$), and inversely correlated with the north-south SST gradient in the fishing area at the time of fishing ($r^2 = 0.32$). Neither of these estimates of apparent abundance from purse seiners were correlated with SST in the fishing areas, or with the speed of the NECC at earlier times.

1. INTRODUCTION

Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, are distributed across the Pacific in tropical and subtropical latitudes, usually in waters exceeding 20°C at the surface. In the western Pacific, because of poleward-flowing warm currents, they occur commonly from about 40°N to about 40°S, whereas in the eastern Pacific Ocean (EPO), because of cold equatorward currents, they occur commonly from about 30°N to about 30°S (Brock, 1959; Kearney, 1978; Matsumoto and Skillman, 1984). Rare occurrences of skipjack are shown by Matsumoto and Skillman (1984) as far north as 50°N in the western Pacific and 49°N in the EPO, and as far south as 49°S at 180° and 35°S in the EPO. Off Tasmania skipjack have been recorded as far south as 43°S (Blackburn and Serventy, 1981).

In the western Pacific major commercial fisheries for skipjack occur in the vicinity of Japan, the Ryukyu Islands, Taiwan, the Bonin Islands, the Mariana Islands, the western Caroline Islands, the Philippine Islands, Indonesia, Papua New Guinea, the Solomon Islands, Kiribati, Fiji, Australia, and New Zealand. In the central Pacific fisheries occur near the Hawaiian Islands and in French Polynesia. In the EPO fisheries occur near Baja California, the Revillagigedo Islands, Clipperton Island, Central America, northern South America, Cocos Island, and the Galapagos Islands. Incidental catches of skipjack by longliners fishing for tunas and billfishes are widely distributed throughout the Pacific (Miyake, 1968; Matsumoto, 1975).

In 1984 the total catch of skipjack from all oceans was 1,054,000 metric tons (1,162,000 short tons), of which 822,000 metric tons (906,000 short tons), or 78% was from the Pacific (Anonymous, 1987a). For the purposes of this report the EPO is defined as lying east of 150°W north of the equator and east of 130°W south of the equator, and all catches in this area are given in short tons. Significant catches of skipjack have been made in the EPO since the end of World War I (Shimada and Schaefer, 1956), and reliable catch statistics are available since 1934. Annual catches in the EPO trended upward until 1950; from 1950 to 1974 no trend is apparent around the mean catch of 74,000 tons; during the 1975–1982 period the mean catch was 136,000 tons; and in the 1983–1985 period the catch declined to a mean of 62,000 tons.

Catches and indices of apparent abundance of skipjack in the EPO fishery have shown large annual fluctuations (Figure 1). From 1934 to 1960, when baitboats were the predominant gear, annual values of the catch per unit of effort (CPUE) varied by a factor of three; since 1961, when purse seiners have been the predominant gear, annual values varied by a factor of seven.

The first investigation of the skipjack fishery in the EPO was made by Shimada and Schaefer (1956), based on data from the baitboat fishery for the 1934–1954 period. They concluded that annual fluctuations in CPUE were not associated with fishing effort and that annual catches could be greatly increased without affecting the average population. They suggested that changes in CPUE were caused by changes in availability caused either by variations in the environment or in the behavior of the fish, or in year-class strength. Joseph and Calkins (1969) and Pella and Psaropoulos (1975) also concluded that CPUE was independent of fishing effort and was more likely related to environmental variability.

The intent of the present study is to identify any environmental variables which might, directly or indirectly, cause fluctuations in CPUE.

2. SOURCES AND PROCESSING OF THE DATA

Catch and effort data for skipjack are available from three fisheries in the EPO: the international monitored baitboat fishery, the international monitored purse-seine fishery, and the local Ecuadorian fishery by small baitboats. The CPUE from each fishery has been computed by different methods.

For the international monitored baitboat fishery, the catch and effort data analyzed are for the 1934–1960 period; data after 1960 were excluded because the effort became greatly reduced in subsequent years. For the international monitored purse-seine fishery the data analyzed are for the 1961–1984 period; data before 1961 were excluded because the effort data were regarded as inadequate. Catch and effort data for the 1934–1950 period are from Shimada and Schaefer (1956), and for the 1951–1984 period they are from Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) records. The data for the local fishery by small Ecuadorian baitboats include the 1961–1984 period, and were obtained from IATTC records.

Some of the problems encountered in the estimation of fishing effort on yellowfin and skipjack in the EPO are 1) standardization of effort among different sizes of vessels of the same type, 2) conversion of standardized CPUE data from baitboat to purse-seine units or *vice versa*, 3) adjustment for differences in the efficiency of fishing with time and/or with school types, 4) allocation of effort in a multi-species fishery, and 5) adjustment for changes in fishing areas.

A method for converting purse-seine effort data to baitboat effort data for yellowfin was developed by Broadhead (1962). Later Bayliff (1971) derived an equation from the same data to convert baitboat effort data to purse-seine effort data. Joseph and Calkins (1969) used the same method for converting purse-seine effort data for skipjack to baitboat effort data. Bayliff (1977) re-examined the Joseph and Calkins data, consisting of 26 pairs of CPUE values, deleted three pairs as outliers, and recalculated the equations for converting CPUE data between gears (purse seine to baitboat and *vice versa*). CPUE in the present study, however, was not converted and data for the two gears were treated separately for the following reasons: 1) the conversion equations are based on data from 1959 to 1961, the only period when sufficient numbers of baitboats and purse seiners were fishing at the same time in the same areas over a large portion of the EPO; 2) through 1968 both gears fished in some of the traditional fishing areas located within several hundred miles of the mainland and near islands, but after 1968 the purse seiners expanded their effort westward covering a much larger area (Figure 2) while the baitboats remained in the traditional areas; 3) the catchability of skipjack in the new areas fished by purse seiners is unknown, and significant differences in the catchabilities by the two gears caused by the different areas fished would make the equations inapplicable for data after 1968; and 4) the efficiency of purse seiners has increased considerably during the 1961–1984 period (Section 4.1), but no investigation has been made of changes in the efficiency of baitboats during this period. It is likely, however, that the efficiency of the baitboat fleet has not increased as rapidly as that of the purse seiners since few new baitboats have been added to the fleet, compared to many purse seiners (Forsbergh, 1980: Table 1). The efficiency of baitboats may even have declined after 1961, as many of the better captains and fishermen are believed to have left the baitboats to go on purse seiners. In 1961 baitboats caught 30% of the logged catch of skipjack by both gears in the EPO, and after 1961 baitboats caught from 3 to 18% (mean = 8%) of the annual logged catch, so that ignoring the baitboat data is assumed to make little difference in the estimation of apparent abundance for skipjack for the 1961–1984 period. Larger tuna vessels are generally more efficient than smaller ones. To adjust for differences in efficiency, standardization factors have been derived for estimating fishing effort in days equivalent to a standard size class of vessel. Efficiency factors for various size classes of baitboats in the EPO were calculated from the catch per day's fishing (CPDF) by Shimada and Schaefer (1956), who then used them to standardize the fishing effort for skipjack to that of Class-3 (101–200 tons of capacity) vessels. Joseph and Calkins (1969) found significant differences in CPDF among size classes of international monitored baitboats for the 1953–1960 period and standardized baitboat effort to Class-4 (201–300 tons of capacity) vessels. Allen and Punsly (1984) criticized the standardization method of Shimada and Schaefer (1956) on the basis of Gulland's (1974) comment that when standardizing factors are recalculated annually the standardized CPUE depends on the class selected to be the standard. For the present study the

IATTC baitboat effort for the 1951–1960 period standardized to Class-4 days was converted to Class-3 days using IATTC efficiency factors, and the CPUEs were recalculated.

No significant differences in CPDF were found by Joseph and Calkins (1969) among international monitored purse seiners for the 1959–1965 period, so they did not standardize purse-seine effort. From 1966 to 1973, however, the efficiency factors for Class-6 (>400 tons) purse seiners relative to Class-3 vessels averaged 1.59, which was regarded as significantly greater. The purse-seine effort, therefore, was standardized for the present study. The numbers of purse seiners in the fleet during the 1961–1984 period, categorized by size class, are listed in Table 1. Class-3 vessels predominated from 1961 to 1963, Class-4 vessels from 1964 to 1967, and Class-6 vessels from 1968 to the present; after 1972 Class-6 vessels represented over 59% of all purse seiners. It is evident that standardization to Class-6 vessels would have been more realistic. However, the IATTC effort data, compiled by 5° area and quarter of the year (area-quarter strata) for the 1961–1968 period, are standardized to Class-3 days but not to Class-6 days; the IATTC data for 1969–1984 are standardized to days of both classes. The method of Shimada and Schaefer (1956) was used by the IATTC for standardizing purse-seine effort to Class-3 days for the 1961–1973 period. For the subsequent years the standardizing factors used were the ones obtained for standardizing to Class-3 days in 1973 because the number of Class-3 purse seiners was regarded as insufficient after 1973.

Standardization was not performed for the local Ecuadorian baitboat fishery because all but a few of the vessels were categorized as Class-1 (≤ 50 tons of capacity).

The remaining problems of differences in the efficiency of effort with time and/or school types, the allocation of effort, and changes in fishing areas are discussed in Section 4.1.

To investigate the length-frequency distributions of yellowfin and skipjack in the surface fisheries of the EPO, in 1955 the region was divided into 14 unequal geographical sampling areas containing the principal fishing areas. Since then the areas have been modified several times in order to adapt them to the changing distribution of fishing effort (Hennemuth, 1957 and 1961; Davidoff, 1963; Anonymous, 1974 and 1982).

The original methods for obtaining samples for length frequencies for both species have been described by Hennemuth (1957). The objective was to obtain a minimum of one sample of 50 fish of each species by each gear (baitboats and purse seiners) in each sampling area in each month. If sufficient samples were obtained in one such stratum (gear-area-month), sampling for that stratum was ceased and the sampling effort was diverted to strata where few, or no, samples yet had been taken. The samples were then combined by quarters of the year into expanded strata (gear-area-quarter). If such a stratum included two or more samples the data were used, but if less than two samples were available, the data were not used. Skipjack were measured from the tip of the snout to the fork of the tail to the nearest millimeter and assigned to the next-lowest 1-cm length group (e.g. fish from 400 to 409 mm were assigned to the 40-cm category). For conversion of length to weight it was assumed that the average length in each 1-cm group was the midpoint of the interval, which was obtained by adding 4.5 mm to the recorded length. The following equations were used in estimating the number of fish in each of K different length groups for each quarter:

n = Number of gear-area-quarter strata with at least two samples;

l_i = Number of samples from stratum i ;

m_{ij} = Number of fish in sample j from stratum i ;

$$m_i = \sum_j^{l_i} m_{ij} = \text{Total number of fish sampled from stratum } i;$$

y_{ijk} = 1 if a sampled fish belongs to length interval k , and 0 otherwise;

$w_{ijk} = 5.623 \cdot 10^{-9} L_k^{3.336}$ = Weight in pounds (from Hennemuth, 1959) if fish belongs to length group k ;

L_k = Midpoint length in mm for length group k ;

$\bar{w}_i = \sum_j^{M_i} \sum_k^K y_{ijk} w_{ijk} / m_i$ = Average weight of fish sampled in stratum i , all length groups combined;

$\bar{y}_{ik} = \sum_j^{m_i} y_{ijk} / m_i$ = Estimate of fraction in stratum i of length group k ;

$\hat{M}_i = \hat{W}_i / \bar{w}_i$ = Estimate of number of fish caught (by vessels providing logbook information) in stratum i ;

\hat{W}_i = Total logged catch (from logbooks) in pounds, for stratum i ;

$\bar{w} = \sum_i^n M_i \bar{w}_i / \sum_i^n M_i$ = Estimated average size of fish in the total catch, all length groups combined;

$\hat{Y}_k = \sum_i^n M_i \bar{y}_{ik} / \sum_i^n M_i$ = Estimated fraction of total catch which belongs to length group k ;

W = Total logged catch in pounds for all gear-area-quarter strata with two or more samples;

$\hat{M} = W / \bar{w}$ = Estimated total number caught;

$\hat{M}_k = \hat{M} \hat{Y}_k$ = Estimated total number caught of length group k ;

$N = \sum_{g=i}^h M_k$ = Estimated total number of an age group in a quarter, where g is the first length and h is the last length.

The above method (unweighted) results in biased estimates of length-frequency distributions, with underestimation of the number of fish caught and overestimation of average weight, compared to weighted estimates obtained using a method where each sample is weighted by the estimated number of fish in the unit sampled (Anonymous, 1986: 23–25). The weighted method is described by Shingu, Tomlinson, and Peterson (1974). Because the weighted estimates are not yet available for the years previous to 1980, all of the estimates used in the present study are unweighted. The length-

frequency distributions for 1985 by the two methods are shown in Anonymous (1986: Figure 10) and do not differ greatly. Annual estimated average weights of skipjack for the 1980–1985 period are 5 to 11 percent greater by the unweighted method than by the weighted method (Anonymous, 1986: Figures 15 and 16).

Data on tuna larvae from plankton-net and larval-net tows obtained from the literature and supplied by various fisheries research organizations in the United States and Japan (see Table 15A: Sources) were compiled during 1970 and 1971. Nishikawa *et al.*, (1978 and 1985), have presented additional larval data, but these have not been incorporated into the present report. The data were grouped according to types of net tow, cruises, and oceanic regions. The purpose was to determine whether there were any correlations between the abundance, or occurrence, of skipjack larvae and temperature. Because subsurface temperatures were not measured during many of the Japanese tows, but sea-surface temperatures (SSTs) always were, only the latter were used.

SST and wind speed data from radio transmissions of ships at sea were obtained from the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS), La Jolla, California. The data had been summarized by 5° areas of latitude and longitude and months. An additional data set collected by the U.S. National Climate Center, Ashville, North Carolina, from logbooks of ships, and summarized in the same manner, was obtained from Brian C. Weare, Department of Land and Water Resources, University of California at Davis.

Data for the sea-level difference across the North Equatorial Countercurrent were obtained from Wyrtki (1979: Figure 3) and Klaus Wyrtki, University of Hawaii.

Values of *P* and asterisks indicating levels of significance in the present study are all based on two-sided (two-tailed) tests.

3. BACKGROUND INFORMATION ON SKIPJACK

3.1 *Problems in estimating indices of abundance for skipjack cohorts from catches in the EPO*

The following definitions were proposed by Marr (1951):

"*Abundance* is the absolute number of individuals in a population. *Availability* is the degree (a percentage) to which a population is accessible to the efforts of a fishery. *Apparent abundance* is the abundance as affected by availability, or the absolute number of fish accessible to the fishery."

Catchability was defined by Ricker (1975) as the fraction of a fish stock which is caught by a defined unit of fishing effort. The estimates of apparent abundance used here are CPUE in tons per standardized day's fishing and catch rate in number of fish per standardized day's fishing.

The present study is based on the assumption that indices of abundance represent true abundance for cohorts of skipjack caught in the EPO. It is not clear, however, that such an assumption is entirely justified. To obtain such indices for an exploited species the spawning period, growth rate, natural mortality, availability, and catchability must all be relatively constant. If one or more of these five characteristics varies sufficiently the estimates of apparent abundance are not representative of true abundance and cannot be regarded as indices of abundance.

For the fish to be assigned to the proper cohort by the methods used here (Section 4.2) the spawning period should be at the same time each year. If the cohort is spawned earlier some of the larger fish will be assigned erroneously to the previous cohort, and if the cohort is spawned later some of the smaller fish will be assigned erroneously to the following cohort.

If the fish are to be assigned to the proper cohort the growth curve of length *versus* time should be constant for fish of all ages within each cohort and for fish of different cohorts. However, the growth rate is probably not constant within a cohort or among cohorts. Originally, linear growth curves had been estimated, rather than curves exponentially decreasing with age, because the growth observed from modal progressions appears to be linear for the sizes of skipjack in the fishery. Growth of skipjack in the EPO probably decreases with age and size, but for most of the fish captured in the EPO it probably makes little difference whether they are assigned to cohorts using separation lengths (Section 4.2) based on linear growth or on exponential growth. If some of the older fish grew more slowly than usual, they could have been assigned to the wrong cohort because they were actually older than indicated by their size. However, their numbers are so few that this probably makes little difference in the estimation of cohort abundance.

The growth rate of skipjack may be faster when food is abundant and slower when it is scarce. Physiological stresses imposed by parasites and by environmental conditions, such as extreme temperatures and low oxygen concentrations, may also reduce the growth rate, but there is no evidence for such effects.

Natural mortality may also vary within cohorts and among cohorts because of possible variations in environmental conditions. Investigations of the rates of attrition of skipjack cohorts in the EPO indicate that natural mortality cannot yet be distinguished from emigration, and that natural mortality cannot be estimated from the data presently available (Forsbergh, 1987).

For the availability to be constant a constant portion of the younger fish in a cohort would have to enter the area of the fishery each year at the same size. Availability would not be constant for all ages if the older fish emigrated from the fishery, but a relative measure of abundance could still be obtained (all other requirements being satisfied) if each cohort emigrated at the same age. It is likely that only a portion of the younger fish enter the area of the fishery, with the remainder migrating elsewhere or remaining in the spawning areas. If only a portion enter, it is not likely that it is the same for each cohort. Also the emigration of older fish is not likely to occur at the same age each year, and fish of various ages in a cohort may emigrate at various times. Migrations to and from the fishing areas may be influenced by environmental variables such as current velocities, the abundance of food, and the thickness and extent of the temperature-oxygen habitat required for the survival of skipjack (Barkley, Neill, and Gooding, 1978).

For the catchability to be constant, either the age composition of fish would have to be the same at all times or all ages of available fish would have to have the same catchability. Green (1967) has shown that the percentage of successful sets in the EPO fishery for yellowfin and skipjack was higher (63.9%) when the vertical temperature gradient was large and the thermocline shallow, and lower (39.9%) when the gradient was small and the thermocline deeper. He suggested that these results may not have been caused by temperature alone, but possibly by associated conditions such as the vertical distribution of dissolved oxygen, which in the EPO typically decreases from about 5 ml/l in the mixed layer to 1 ml/l or less just below the thermocline. The catch rate of yellowfin in the EPO appears to be higher when the thermocline is shallower and stronger (Anonymous, 1983: 73-76). Also, the catchability will decrease if and when fishermen avoid skipjack areas or bypass schools of skipjack in favor of yellowfin.

From these observations it appears that none of the characteristics of skipjack in the EPO are sufficiently constant to permit the calculation of indices which truly represent absolute population abundance. Nevertheless, the attempts to obtain indices of skipjack abundance have been continued, in the hope of further understanding the degree of variability and the factors which cause it, and possibly predicting fishing success.

3.2 Spawning areas

Skipjack larvae are generally found in waters with SSTs exceeding 24°C (Ueyanagi, 1969). Warm water extends to higher latitudes in the western Pacific because currents transport warmer water poleward along the western shores, and warm water is restricted to lower latitudes in the EPO because currents transport colder water toward the equator along the eastern shores. The distribution of skipjack larvae reflects the resulting distribution of isotherms, ranging from about 35°N to about 35°S in the west, from about 30°N to about 20°S in the central Pacific, and from about 15°N to the equator in the EPO east of 100°W (from charts in Matsumoto, 1966; Ueyanagi, 1969; and Nishikawa *et al.*, 1978 and 1985). Mori (1972) showed that juvenile skipjack in the stomachs of tunas and billfish occur mostly in waters with SSTs > 24°C.

Matsumoto (1966) shows the mean number of skipjack larvae captured per tow (n/tow) from oblique tows by United States vessels east of 180° by 5° intervals of longitude between 10°N and 10°S: the capture rate is low east of 135°W with n/tow = 0 to 0.3, and higher from 135°W to 180° with n/tow = 0.6 to 2.7. Ueyanagi (1969) showed that the concentrations of skipjack larvae caught by surface horizontal tows by Japanese vessels between 0° and 10°N increased from east to west: from 80°W to 120°W, n/tow = 0.04; from 120°W to 150°W, n/tow = 0.14; from 150°N to 180°, n/tow = 0.28; from 180° to 150°E, n/tow = 0.46; and from 150°E to 120°E, n/tow = 0.47. Catch rates from larval nets used by the Japanese and plankton nets used by United States vessels cannot be compared, however, because of differences in the diameter of the nets, mesh size, and in the length and manner of towing.

Nishikawa *et al.* (1978) showed that the concentration of skipjack larvae increased westward from 145°W and to be greatest between 150°E and 170°E. Using data from all available net tows made by Japanese vessels from 1956 to 1981, Nishikawa *et al.* (1985) showed that the number of skipjack larvae captured per volume of water filtered (n/1000 m³) is low east of 180° and much higher west of 180°. Ueyanagi (1969) and Nishikawa *et al.* (1978) reported that daytime surface tows rarely catch skipjack larvae. Nishikawa *et al.* (1985) note that the increase in apparent abundance from east to west may be exaggerated because most of the tows in the EPO were made by vessels of the prefectural fisheries high schools which, after 1969, made only daytime surface tows, while research vessels of the Japan Fisheries Agency almost always made simultaneous surface and subsurface tows during both day and night. Of the reported averages and distributions of concentrations of larval skipjack across the Pacific, those of Ueyanagi (1969) and Nishikawa *et al.* (1978) are judged to be the most reliable because they are based only on tows made by the Japan Fisheries Agency, which were made by methods consistent for all areas.

3.3 The question of subpopulations

The problem of whether there is more than one subpopulation of skipjack in the Pacific was considered during workshops sponsored by the South Pacific Commission (SPC) (Anonymous, 1980 and 1981). The data investigated were primarily the gene frequencies of the serum naphthyl esterase, serum transferrin, and erythrocyte guanine deaminase in skipjack blood, and releases and recaptures of tagged fish. It was concluded during the workshops that skipjack in the Pacific were not panmictic. A panmictic population is one in which all fish belong to a single population and any adult female has an equal chance of breeding with any adult male in the entire range of the geographical distribution. Two major hypotheses were considered most probable for the population structure of skipjack in the Pacific: the clinal hypothesis and the discrete-subpopulation hypothesis.

The frequency of serum naphthyl esterase was constant from 80°W to 140°W, and increased from 140°W to 130°E (Anonymous, 1981: Figure 3). According to the clinal hypothesis, skipjack in the Pacific belong to only one population, but the chance of any two fish breeding is inversely proportional to their distance apart, and the longitudinal differences in frequency represent a

continuous cline or a stepped cline. Richardson (1983) proposed what appears to be a similar model of population structure for skipjack in the Pacific, based on the assumptions of random movement and no obstacles to movement other than distance.

According to the discrete-subpopulation hypothesis, first proposed by Fujino (1970), there are two or more genetically distinct subpopulations of skipjack in the Pacific which are largely reproductively isolated, and the longitudinal differences in frequency do not represent a cline. The western and eastern subpopulations could overlap, but interbreeding between the two would have to be prevented by some behavioral mechanism, such as spawning in different seasons or in different areas (Anonymous, 1984: 90). It was observed, however, that SST and surface salinity show gradients across the Pacific, and that the longitudinal differences in the frequency of serum naphthyl esterase might be related to some such environmental variable (Anonymous, 1981: 26).

Forsbergh (1988) reexamined the evidence and concluded that the discrete-subpopulation hypothesis appears more likely than the clinal hypothesis. For purposes of estimating indices of abundance of skipjack from the EPO fishery (Section 4.2) it was assumed that there is only one subpopulation in the EPO, although the uncertainty of this assumption is acknowledged.

3.4 Ocean currents in migration hypotheses

Williams (1972) hypothesized three possible models for the migration of skipjack from the spawning areas of the central Pacific to the EPO: an active migration model where the fish swim eastward against the westward-flowing North and South Equatorial Currents (NEC and SEC); a passive migration model where the fish are carried eastward by the North and South Equatorial Countercurrents (NECC and SECC); and a gyral model where the fish of the northern fishery are carried in the counterclockwise gyre of the northern equatorial water mass of the EPO, and most of the fish of the southern fishery are carried in a clockwise gyre formed by the NECC and the SECC. Richard A. Barkley and Richard S. Shomura (Williams, 1972) suggested that the eastward-flowing Equatorial Undercurrent (EUC), also known as the Cromwell Current, might also carry young skipjack to the EPO. These possible migration routes have been discussed by Forsbergh (1988) who concluded that it is still unclear which is most realistic, but that the NECC or the EUC would enable the fish to make the journey in less time with less expenditure of energy than swimming against NEC or the SEC. In the EUC, however, temperatures appeared to be too low for the larvae and the juveniles, and oxygen concentrations appeared to be too low for fish >35 cm.

Gunter R. Seckel (p.c.), formerly with U.S. NMFS, Honolulu, Hawaii, suggested that variations in the speed of the NECC should be examined in relation to catch rates of skipjack in the EPO. Considering Williams' (1972) passive migration model, he hypothesized that more young skipjack might be carried eastward when the NECC was strong, and fewer when it was weak.

3.5 Growth

A review and critique of the methods and results of numerous investigations of growth rate in adult skipjack has been made by Josse *et al.* (1979). Of the various methods that have been used to estimate the growth of skipjack, they concluded that counting seasonal marks on vertebrae, scales, and dorsal spines and following modal progressions of length frequencies are the least reliable, that counting daily increments on otoliths is more reliable, and that measuring the growth between tagging and recapture is the most reliable.

An estimate of linear growth of 17.4 cm/yr for the range of sizes most commonly found in the EPO fishery (35–65 cm) was obtained from modal progressions (Anonymous, 1976: 48–49). Joseph and Calkins (1969) estimated the growth of skipjack in the EPO from tagging data using the von Bertalanffy (vB) growth function. Two treatments were used: using non-averaged or ungrouped

data; and averaging or grouping to avoid the effects of a large number of short-term returns compared to a smaller number of long-term returns. For the non-averaged data the parameters of the vB equation were $L_{\infty} = 72.9$ cm and $K = 0.82$, length at 12 months was 41 cm, and growth was 18 cm in the next year, close to the growth rate given above for modal progressions. For the grouped data $L_{\infty} = 88.1$ cm and $K = 0.43$, length at 12 months was 31 cm, and growth was 20 cm in the next year. Joseph and Calkins (1969) have cautioned that the estimated ages may not represent actual ages because the assumption was made that the vB growth function also applies to sizes of fish ranging from the newly hatched to those first recruited and that the growth curve for this size range may not follow the vB growth curve.

The parameters of the vB equation for skipjack in the Pacific based on tagging data for those measured to the nearest 1 cm at release have been estimated by Bayliff (1988): for the ungrouped data $L_{\infty} = 88.5$ cm and $K = 0.658$; for the grouped data $L_{\infty} = 84.6$ cm and $K = 0.829$ (Figure 2: vB curve 1). From the latter curve fish 40 cm in length grow 25 cm in the next 12 months. Growth rates of skipjack from tagging data in the EPO by 5-cm intervals of length at the time of tagging are given in Table 2. With the exception of the 65-cm interval, the growth rates decrease with increasing size, as expected from the vB equation. The mean growth rate for the most common sizes of fish was 21.6 cm/yr.

Wild and Foreman (1980) counted daily growth increments on otoliths of skipjack from the Revillagigedo Islands and off Baja California that had been tagged, injected with tetracycline to mark the otolith, released, and recaptured. For 16 fish with exact recovery dates the ratio of the number of observable otolith increments deposited after the tetracycline mark on the otolith to the number of days at liberty ranged for 0.46 to 1.00, with the coefficient of variation (C) being 0.22. When 10 fish with inexact recovery dates were included, the ratio ranged from 0.45 to 1.09 with $C = 0.24$ (from Wild and Foreman, 1980: Table 8). Such variation precludes the estimation of growth from increment counts for skipjack from the EPO.

Uchiyama and Struhsaker (1981) estimated the vB growth curve from daily growth increments on otoliths of 51 skipjack from the central Pacific between 3.7 and 80 cm (fish <20 cm had been obtained from stomach contents of skipjack caught by trolling and from the regurgitations of a seabird, *Sula* sp.; fish >20 cm had been caught by trolling, or in the commercial fisheries). This is the only known study of growth of skipjack in the Pacific where estimates of age for the sizes caught in the fishery can be regarded with some degree of confidence because estimates of age for fish younger than this were also available. From the vB curve 2 (Figure 3) the fish at 12 months are 44 cm and grow 25 cm in the next year and another 14 cm in the following year. They found that three stanzas of linear growth fit the data better than did the vB curve: the growth rate was equivalent to 58 cm/yr for 11 fish up to 27.0 cm, 29 cm/yr for 35 fish between 27.0 and 71.4 cm, and 10 cm/yr for 5 fish between 71.4 and 80.3 cm. Curves for vB growth and linear stanzas for the central Pacific data are close however, and up to 30 months of age both are close to the vB curve 1 from grouped tagging data from the EPO (Figure 3). Wild and Foreman (1980) discovered that the eastern Pacific skipjack deposits increments at an average rate of slightly less than one a day. If this is also true of the central Pacific fish, then the actual growth rate would be less than the estimate. To date no tetracycline studies have been made of central Pacific fish, so it is assumed for now that each increment represents one day. Uchiyama and Struhsaker (1981: Figure 4) also show vB curves for skipjack obtained from data from tagging and modal progressions from previous investigators and all show a growth of 20–22 cm between 12 and 24 months.

From the SPC tagging data, Sibert, Kearney, and Lawson (1983: Table 10) obtained average parameters of the vB function of $L_{\infty} = 62.5$ cm and $K = 2.00$ from estimates for skipjack from six countries in the western Pacific. The vB curve 3 in Figure 3 shows that in the first 6 months fish from the western Pacific grow faster than those from the EPO, from 6 to 12 months they grow at about the same rate, and after 12 months they grow more slowly than those from the EPO. Without data for the

smaller fish from the western Pacific, however, the apparent rapid growth of young fish may be an artifact.

4. ANALYSES

4.1 Purse-seine effort and catch per unit of effort

The objectives of this section are 1) to adjust fishing effort by purse seiners for changes in efficiency since 1961, and 2) to estimate more realistically CPUE for skipjack by eliminating effort which was directed mainly toward yellowfin.

The price of tuna varies according to size category, with higher prices per ton paid for the larger fish. When yellowfin are abundant skipjack fishing areas and skipjack schools are often bypassed by the purse seiners because the larger yellowfin are more profitable. In 1985, 1986, and 1987 large catches of yellowfin, 240,000, 296,000, and 306,000 tons, respectively, were made in the EPO. Fisherman have reported that in these years they frequently bypassed skipjack, hoping to return with full loads of yellowfin, although they sometimes returned with partial loads of yellowfin and few or no skipjack. To the degree that skipjack areas and schools are bypassed, actual effort toward skipjack becomes a fraction of logged effort. Since actual effort is unknown, catchability must be estimated from logged effort, which is always less than actual effort. This results in catchability estimates which are lower than those based on actual effort. To avoid this problem the skipjack CPUE data for these years were regarded as unreliable and excluded from analysis.

The effects of vessel characteristics on the catch rate of yellowfin in the EPO by purse seiners has been investigated by Punsly (1987) for the 1970–1985 period. The characteristics used were capacity, speed, use of aircraft for spotting schools and/or setting the net, dimensions of the net, and skipper. The only significant characteristic was vessel speed. The effect of speed may be partially explained by the greater area searched per unit of time by the faster vessels. A similar analysis has not yet been made for skipjack, but it is likely that vessel speed is also important for this species. In the present report, mean nominal cruising speed was calculated for each year for all purse seiners fishing in the EPO which caught at least 1 ton of yellowfin or skipjack. In recent years bluefin catch also qualified vessels for inclusion. Actual searching speeds may be less than nominal cruising speeds, particularly in the 1970s when speeds may have been reduced to save fuel as fuel costs escalated, but data on actual searching speeds are not available in IATTC records. Mean nominal cruising speeds increased from 9.3 knots in 1961 to 12.4 knots in 1976, and have remained at about that level since then (Table 3 and Figure 4A). Fishing effort was not adjusted for speed, since the standardization procedure includes the effect of speed.

The reasons for standardizing purse-seiner effort to Class-3 days are given in Section 2. It was assumed that the speed of Class-3 purse seiners has not changed with time, and that the area searched per unit of time has remained the same for this size class. The efficiency factors used for standardization throughout the 1974–1984 period were those obtained in 1973, because there were too few Class-3 purse seiners after 1973. It is apparent that the estimates of standardized effort for 1974–1984 are questionable.

The CPUE for yellowfin has been estimated from catch and effort data from Class-6 purse seiners only, in an attempt to avoid the problems of standardization (Anonymous, 1988). After 1972 over 50% of the purse seiners were Class-6 vessels (Table 1). In the present report the CPUE for skipjack was obtained from Class-6 vessels only, in addition to that obtained from standardizing to Class-3 days. One advantage of using exclusively Class-6 data is the avoidance of the questionable efficiency factors for the 1974–1984 period; one disadvantage is that for the early 1960s Class-6 data

represents only a small fraction of the total catch and effort by the purse seine-fleet. The estimates of apparent abundance from the Class-6 data for the early 1960s therefore may be less reliable than those obtained from the standardized data.

The size of Class-6 purse seiners, however, has increased with time. The mean capacity of Class-6 vessels weighted by the number of fishing days in each 200-ton category of capacity within the size class was 680, 980, and 1044 tons in 1970, 1975, and 1982, respectively (Richard G. Punsly, IATTC, p.c.). The mean annual CPDF for skipjack for the 1973–1982 period by 200-ton categories in Class-6 are given in Table 4. For each year the mean CPDF for each category in Table 4 was multiplied by the annual ratio of fishing days in that category to the total days, and the products for the five categories were summed to obtain the expected annual CPDF. Data for vessels >1400 tons were excluded because most years had <500 fishing days and the total days for these categories was only 8% of the total days for all Class-6 categories. The expected CPDF showed a steady increase from 3.40 tons/day in 1973 to 4.11 tons/day in 1982, representing a 21% increase in efficiency for Class-6 vessels during the period.

It is apparent that new efficiency factors should be recalculated for a larger number of categories of capacity within the present Class 6, and the effort restandardized to the most common category during the period studied. However, such a restandardization by area-quarter strata for the entire 1961–1984 period has not yet been made.

The successful set ratio (SSR) is the proportion of total sets of purse seines that capture at least 1/2 ton of skipjack or yellowfin. Sets on flotsam (referred to as "logs"), sets on "school fish" (schools of tuna not found with porpoise or logs), and sets of unknown type were combined to obtain the mean annual SSRs for both skipjack and yellowfin (Table 3 and Figure 4B). Sets on schools with porpoise were excluded because they catch mainly yellowfin. The unknown sets were assumed to be on logs or on school fish. The SSR for skipjack has tended to increase with time, but shows high variability from 1961 to 1973; from 1974 to 1984 the variability is less. The SSR for yellowfin on non-porpoise schools has tended to change similarly, suggesting that these variations are caused by one or more environmental factors. A smoothed line drawn through the 4-year running means of the SSRs for skipjack, excluding 1972 as an outlier (see Figure 4B), is assumed to represent the trend in the efficiency of purse seines in catching skipjack. Annual values of the SSR trend line for skipjack range from 0.518 in 1961 to 0.708 in 1984. Although the effect of speed has been included in the efficiency factors for 1961–1973, and partially included for 1974–1984, the possible effect of improved technology and skill for all size classes has not. Therefore it was decided to adjust the standardized effort for changes in SSR. The annual adjustment factor (AF_3) used for adjusting fishing effort standardized to Class-3 days (f_3) for changes in efficiency is the ratio of the SSR trend value to the SSR trend value for 1961 (Table 3). AF_3 and mean vessel speed are highly correlated ($r = 0.946$); in the 24-year period mean vessel speed has increased 37% while AF_3 has increased 39%. Between 1963 and 1967 vessel speed increased only 2% while the SSR trend increased 16% (Table 3), indicating that improvement in skills and/or technology unrelated to vessel speed may have been the principal cause of the increasing SSR trend during this period. The SSRs for four 400-ton categories of capacity have increased irregularly with time. The effect of capacity on the rate of increase of SSR can be shown by the slope, b , in the regression of SSR versus year for each category (Table 5). All slopes were significantly different from zero. Slopes increased from 0.0051 for the 1–400 ton category to 0.016 for the >1200-ton category. This indicates that the increase in SSR for all classes combined was caused not only by the increase in the proportion of larger vessels in Class 6, but also by increases in the efficiencies of all categories in the class. The adjustment for changes in SSR may partially compensate for not having used different efficiency factors for different sizes of Class-6 vessels.

The use of helicopters has increased greatly in recent years. Through 1973 only a few purse seiners carried helicopters; by 1976 5% of the vessels carried them; and from 1981 to 1984 32 to 38% of

the vessels carried them. The use of helicopters in searching for schools would increase the vessels' effective searching area and thus increase their efficiency in finding fish. Using helicopters to direct the setting of the nets might be expected to improve the SSR and to increase the catch per successful set (CPSS). The SSR trend line in Figure 4, however, does not show any change in slope after helicopters became common, but is essentially straight between 1966 and 1984. The CPSS for skipjack did not increase in the years when helicopters became common (Table 6). Until skipjack CPUE data from vessels with and without helicopters are investigated, there is no way of adjusting the effort for changes in the amount of helicopter use.

Data by type of set of purse seines have been compiled for the Commission Yellowfin Regulatory Area (CYRA) for the 1971–1983 period. For the 13-year period the annual CPSS for skipjack has always been greater for log sets than for school sets (Table 6), with the mean of 17.82 tons/day for log sets compared to 11.92 tons/day for sets on school fish, representing a difference of 50%. Because the number of sets on logs had greatly increased in the 1978–1982 period, fishing effort should be adjusted for the proportion of sets on logs because of their greater efficiency. Before attempting this, the measure of effort developed for yellowfin by Allen and Punsly (1984) was examined to determine whether there was a difference in effort between the two types of set. The measure of effort is the searching time between the end of one set to the beginning of the next during the daytime only, defined to be 0600 to 1800 hours. Because the mean searching time during the 1971–1983 period between sets on logs with yellowfin was 43% more than that between sets on schools with yellowfin, it is possible that there is also a difference in searching time between the two types of set with skipjack. Searching times for skipjack sets have not yet been calculated, however, so no adjustment of f_3 for different efficiencies between the two types of set can be made at this time.

The annual geographic distributions of logged skipjack catches by purse seiners by 1° areas of latitude and longitude are shown in Figure 2. Examination of the catch and effort data in the skipjack-fishing areas by 1° area-month strata showed that there was a high proportion of strata with little or no data. Combining the data into 5° area-quarter strata resulted in a much lower proportion of strata with missing or inadequate data, so these strata were used in the present analysis. To eliminate some of the effort directed primarily toward yellowfin, only data from $22\ 5^{\circ}$ areas where most of the skipjack has been caught during the 1961–1976 period were first used (Figure 5 and Table 7). Fishing effort and catch data used were from purse seiners only and were limited to those 5° area-quarter strata having a minimum of 100 days of logged effort standardized to Class-3 days, and having a minimum logged catch of 200 tons of skipjack. These values were arbitrarily selected to eliminate strata with insufficient effort, or small catches of skipjack. Thus, strata where most of the effort was on yellowfin were systematically eliminated. The data selected for analysis by this method were designated as the "usable logged effort" and the "usable logged catch."

Plotting the annual usable logged catch from the 22 areas against the estimated total logged catch by purse seiners for all areas east of 150°W showed a good alignment with the exceptions of 1977, 1978, 1980, 1981, 1983, and 1984 when the 22-area catch fell below the plots for the other 18 years (Figure 6A and Table 8). The usable logged catches during these six years and 1982 in the 5° areas (Table 7) where substantial catches were made outside the 22 areas were added to those from the 22 areas. The number of additional areas and the catches therefrom are given in Table 8. The additional catches brought the plots in line with the others, with the exception of 1977, which remained low. The logbook coverage was unusually low that year, with a proportion of 0.793, compared to a range of 0.847 to 0.976 for all other years from 1961 to 1984. The usable logged catches in the 22 and additional areas combined were adjusted for logbook coverage by dividing them by the proportion covered to obtain the adjusted usable catch by purse seiners in the 22+ areas (Table 8). This was plotted against the estimated total catch by purse seiners in the EPO, and the plot for 1977 was found to fall in line with the others (Figure 6B; $r^2 = 0.991$).

An average of 57% of the logged effort and an average of 88% of the logged catch in the 22+ skipjack areas were retained by the method. The method was reapplied to the data from the Class-6 purse seiners, and the data used were limited to 5° area-quarter strata with ≥ 50 days of logged effort, and ≥ 200 tons of logged skipjack. An average of 67% of the logged effort and an average of 91% of the logged catch by Class-6 vessels in the 22+ areas were retained by the method. The method therefore can be regarded as successful in eliminating a considerable amount of effort mainly on yellowfin while retaining most of the skipjack catch.

If the fishing effort were randomly distributed the simplest annual estimate of apparent abundance would be the total usable logged catch divided by the total usable logged effort, referred to as the unweighted estimate ($CPUE_u$). If the fishing effort were not randomly distributed, but concentrated geographically and seasonally according to the density of the fish, the $CPUE_u$ would be biased toward areas and seasons of high density. The effect of the geographical concentration of effort can be minimized by dividing the area of the fishery into subareas and obtaining the mean CPUE for all subareas weighted by the size of each subarea (Gulland, 1955). Likewise, the effect of the seasonal concentration of effort can be minimized by dividing the year into time periods and obtaining the mean CPUE for all periods weighted by the duration of each period. (Periods chosen are usually of nearly equal duration, such as months, or quarters, so that weighting by duration of time periods is not usually required.) The annual weighted estimate of apparent abundance ($CPUE_w$) adjusted for concentration by area and season is obtained by averaging the area-weighted mean seasonal CPUEs. The ratio $CPUE_u : CPUE_w$ is the concentration index, which is a measure of how well the fishermen can find areas and times of high density (Gulland, 1955). A concentration index of 1 means that the fishing is random, an index >1 means that the fishing is concentrated on strata with higher densities, and an index <1 means that the fishing is concentrated on strata with lower densities (Calkins, 1963). In the present study, using 5° area-quarter strata, annual values of $CPUE_{u3}$ and $CPUE_{w3}$ were divided by the AF_3 values in Table 3 to obtain $CPUE'_{u3}$ and $CPUE'_{w3}$ (Table 9). Plots of the indices show 1971 and 1967 to be outliers (Figure 7). The concentration index ranged from 0.69 in 1972 to 1.57 in 1971 (Table 9) and the mean was 1.08, indicating that the fishermen were on average 8% better at finding skipjack than they would have if they had been fishing randomly. For the Class-6 data the concentration index ranged from 0.61 in 1972 to 1.44 in 1971 (Table 10), and the mean was 1.04.

If the catchability of skipjack varies with area, and if the areal distribution of f varies with time, f should be adjusted for catchability by area according to the changing proportions of effort in the areas fished. The westward expansion of purse-seine effort beginning in 1969 was directed at yellowfin, but skipjack were also captured in these offshore areas (Figure 2). The catchability coefficient (q) for skipjack has been estimated for some inshore areas and for the Revillagigedo Islands (Bayliff, 1977), but not for any of the newer offshore fishing areas, so no adjustments for possible differences can be made at this time. From 1961 to 1968 most of the skipjack catch by purse seiners was from the 15 5° areas shown hatched in Figure 5. Beginning in 1969 significant catches were made in one or more of seven 5° areas offshore between 5°S and 15°N and in additional offshore areas (7+ areas). Annual values of $CPUE'_{w3}$ were calculated for the 15 old and 7+ new areas. The ratios of the $CPUE'_{w3}$ for the 7+ areas to those for the 15 areas averaged 1.05 for the 1969–1984 period, indicating no significant difference in mean $CPUE'_{w3}$, and suggesting that q does not differ greatly between the two regions.

The adjustment made here for changes in the efficiency of fishing on skipjack is incomplete, however, since it is based only on SSR and does not include the possible effects of aircraft, school types, and fishing areas with different catchabilities.

4.2 Age groups and age-specific catch rates

The objective of this section is to separate quarterly catches of skipjack into age groups and then to calculate the apparent abundance of cohorts by quarter and year. A cohort is defined as a group of fish that were spawned within a given time interval and a given area.

Skipjack larvae are found during all seasons in the central tropical Pacific (Nishikawa *et al.*, 1985; Figures 49–52). It therefore appears that there is not a well-defined spawning period, and there may be several groups of skipjack spawning at different times throughout the year. Examination of length-frequency distributions for skipjack data from the EPO by month or quarter suggests that there are two cohorts of fish recruited to the fishery about 6 months apart, as has been shown for yellowfin (Hennemuth, 1961; Davidoff, 1963). A considerable effort was made to identify the two cohorts from the length-frequency distributions by quarters and sampling areas, beginning with 1955 data when length measurements were begun. Tentative identifications were finally regarded as too subjective and questionable to be of any use, since misidentification could lead to serious errors in the calculations of the numbers of fish in a cohort. Thus far the problems presented by the likelihood of there being two cohorts of skipjack are insoluble, and assuming that only one cohort exists appears to be the better of poor alternatives.

Assuming that only one cohort of skipjack is spawned during a 12-month period in the area west of 135°W, and assuming that fish from any cohort may be captured in several consecutive years (and fish from several consecutive cohorts may be captured in any year), the numbers of fish captured in each age group were estimated. Quarters of the year were used as fishing periods because the numbers of fish captured by length category had been compiled by quarter rather than by month. It is judged, however, that the use of monthly data rather than quarterly data would not have significantly altered the results of the analyses.

Quarterly length-frequency distributions for skipjack caught by purse seiners in the EPO are shown in Figure 8. In all years most of the catch was made south of 15°N (Figure 2), but from 1980 to 1983 large catches frequently were made north of 15°N, so the length-frequency distributions are shown separately for the two areas for those years. Generally they are similar in the first two quarters, and range from similar to different in the last two quarters.

The mean length of the fish at the major mode in the length-frequency distributions from purse seiners in the EPO during the first quarter is 46.6 cm. As discussed in Section 3.5, the only growth curves for skipjack in the Pacific for which age at length can be estimated with some degree of confidence are those from the otolith studies of Uchiyama and Struhsaker (1981) for the central Pacific. The ages at 46.6 cm estimated from their vB curve and from their second stanza of linear growth are 13.1 and 13.7 months, respectively. It is therefore assumed that skipjack in the EPO are the same age at this length, indicating that most of the fish caught in the first quarter are approximately 12 to 15 months of age.

In Section 3.5 it was shown that in the EPO skipjack about 40 cm in length grow about 21–25 cm in the following 12 months. The vB curve 1 for grouped data from the EPO (Figure 3) was regarded as realistic up to 30 months because that part of the curve was similar to that of the vB curve 2 derived from otoliths from the central Pacific by Uchiyama and Struhsaker (1981). Because of the variability in the estimates of growth rates and the narrow range of sizes in the fishery (30–70 cm) it is probably not critical whether an asymptotic growth curve, such as the vB curve, or simple linear growth is used. Linear growth was therefore chosen as the simplest method in the investigation of age groups. A linear growth rate of 24 cm/yr was selected for separating skipjack by size into age groups to conform with the estimated growth rates of 21–25 cm/yr and because it was easily divisible into a quarterly growth of 6 cm. Lengths for separating skipjack in a quarter (separation lengths) into nominal age groups (age 0+, <12 months; age 1+, 12–24 months; and age 2+, >24 months),

according to a linear growth rate of 24 cm/yr, were obtained subjectively by examination of the length-frequency distributions (Figure 8), with the requirement that separation lengths increase by 6 cm per quarter to accommodate growth. Separation lengths were selected so that the mode judged to represent age-1+ fish in the first three quarters was most often located near the midpoint between separation lengths. Modes in the fourth quarter were ignored because they frequently were not clearly defined. The midpoint between separation lengths for the first quarter is 42.5 cm, which is 4.1 cm lower than the mean of the major mode for the 24-year period; for the second, third, and fourth quarters the midpoint is 0.9 cm lower, 3.5 cm higher, and 5.1 cm higher, respectively, than for the corresponding means of the major modes. It is apparent that the modes do not progress as rapidly as the 24 cm/yr growth rate. This may be caused, in part, by continuous recruitment (a result of continuous spawning) which could result in modal progressions slower than the actual growth rate because fish at the right side of the curve are replaced by recruits at the left side of the curve. The estimate of the growth rate from tagging data, however, is more reliable than the time-distribution of recruits, so that the age groups are here separated according to the estimated growth rate, keeping in mind that the method may be biased because of continuous recruitment.

Because the growth rate changes rapidly with age for skipjack from the western Pacific, it has been suggested that it is unwise to use linear growth for skipjack in that area and perhaps in other areas as well (Sibert, Kearney, and Lawson, 1983). Figure 3 shows that for the EPO skipjack the vB curve 1 up to 70 cm closely follows the vB curve 2 from otoliths from the central Pacific. Between 12 and 24 months of age, the vB curves 1 and 2 show growths of 21.3 and 24.6 cm, respectively, approximating the linear growth of 24 cm/yr used in most of the calculations herein. The estimates of the numbers of fish in each age group were recalculated according to the vB curve 1. The lengths used for separating age groups by the two methods are shown in Table 11. In general there is little difference in the lengths based on a linear growth of 24 cm/yr and those based on the vB curve 1, with the exception of age-0+ fish in the first quarter and age-2+ fish in the fourth quarter. However, since few fish <31 cm are caught in the first quarter, and few fish >66 cm are caught in the fourth quarter, it makes little difference in the estimation of the numbers of fish in the three age groups which method is used. The use of the 24 cm/yr growth rate therefore was continued.

To be valid the separation lengths should fit the length-frequency distributions tolerably well in most quarters of most years. A good fit means that the separation lengths fall near the tails or in the troughs of the distributions and not near the peaks. The fit may be judged from Figure 8. The fit appears generally good or satisfactory during the first three quarters of most years, but is frequently poor during the last quarter. The fit is extremely poor in the first two quarters of 1971, when most of the year's catch was made, and is also extremely poor in the first three quarters of 1973, and measures of cohort abundance derived from assigning ages according to the separation lengths in these two years can be regarded as more questionable than those for other years.

The mean annual proportions of skipjack of the three age groups based on a linear growth rate of 24 cm/yr are given in Table 12 for 1961–1984. The proportions are fairly consistent from 1961 to 1970, but beginning in 1971 become more variable. Excluding 1971–1973, because unusually large proportions of the fish in 1971 and 1973 were classified as age 2+, mean proportions were calculated separately for 1961–1970 and for 1974–1984 (Table 12). Mean proportions of age-1+ fish were smaller, and those of age-0+ and -2+ fish were larger in the later period than in the earlier period. The reasons for this difference are not known, but the geographic expansion of the fishing areas, which began in 1969 (Figure 2), may have included areas with greater proportions of younger and older fish.

The quarterly numbers of skipjack in each age group caught by purse seiners in the EPO were estimated using separation lengths for a growth rate of 24 cm/yr. The catch rate in number of fish per standardized day's fishing was estimated as follows. The total logged catch in tons by purse seiners for all area-quarter strata with two or more samples (W'), when divided by the quarterly CPUE_{w3}' in

the $22 + 5^\circ$ skipjack areas (Section 2), results in a quarterly estimate of effort ($f_3'' = W'/\text{CPUE}_{w3}'$) corresponding to the quarterly number of fish (N , estimated by the method described in Section 2). Dividing N in each age group by f_3'' results in the quarterly estimates of age-specific catch rates ($\text{CR}_3 = N(\text{CPUE}_{w3}')/W'$). The data used for estimating catch rates are given in Table 13.

The calculations show that few age-0+ fish are caught in the first two quarters and very few age-2+ fish are caught in the last two quarters. Therefore, only age-0+ fish in the last two quarters of one year, age-1+ fish in all quarters of the next year, and age-2+ fish in the first two quarters of the following year were considered for estimating cohort abundance. The cohort was designated according to the year that the age-1+ fish, which predominate in numbers in most years, were caught. For example, the 1963 cohort consisted of age-0+ fish caught in the last two quarters of 1962, age-1+ fish in 1963, and age-2+ fish in the first two quarters of 1964. Values of CR_3 for skipjack based on a growth rate of 24 cm/yr are given in Table 14, for 8 consecutive quarterly intervals (QI) for each cohort, from age-0+ fish in the third quarter of a year to age-2+ fish in the second quarter two years later.

4.3 Environmental variables and apparent abundance

In searching for correlations the chance of finding one that appears to be significant, when in fact no functional relationship exists, increases with the number of independent variables tested. If the chances of significant relationships for the different independent variables are believed to be equally possible before the testing, the level of significance can be increased according to the number of independent variables tested. This results in a more realistic approximation of P (Ricker, 1975: 276–277). For example, if a variable is significant at $P = 0.01$ and five variables have been tested the adjusted value is $P = 0.05$. Ricker remarks, however, that before the testing, some variables usually are expected to have more influence than others, and that the probabilities are greater that the first correlations tested represent functional relationships because the most obvious are considered first. From this it appears that P should be increased less for the first correlations tested, and more for the last ones, but the degree of adjustment is unknown, and in this uncertain area the readers must decide for themselves the significance of the questionable correlations. In this report P is given both unadjusted and multiplied by the number of variables tested.

4.31 Larvae

The geographic distribution of skipjack larvae in the Pacific was discussed in Section 3.2. The statistical correlation of larval concentration and SST is discussed in this section. The most important source of data was Ueyanagi (1969); others are listed in Table 15A.

The data on skipjack larvae caught in plankton and larval nets in the Atlantic and the Pacific by research organizations of various countries were grouped by ocean areas and type of tow. The net tows were sorted according to SST intervals of 1°C for all tows at SSTs of 20°C (19.5 – 20.4°C) to 31°C (30.5 – 31.4°C). No skipjack larvae were caught at SST intervals below 23°C .

Mean concentrations in number of skipjack larvae captured per tow (n/tow), including tows with no larvae captured, in number captured per 10 m^2 of sea surface, or in number captured per 10^3 m^3 of water strained, and the proportion (p) of positive tows (capturing one or more larvae), are given by SST intervals in Table 15 for groups of cruises with relatively large numbers of tows.

Ueyanagi (1969: Figure 10) has shown that in the western Pacific p is much lower (0.05) for skipjack larvae in daytime surface tows than in nighttime surface tows (0.60), whereas day and night subsurface horizontal tows (SBH) at 20–30 m yield similar p values (0.90 and 0.98, respectively). For the present study day and night tows were combined for all types of tow, as the day and night tows were of approximately equal numbers for most of the cruises from which data were used.

During the cruises of the *Shunyo Maru* and the *Shoyo Maru* of the Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, Japan, surface tows and SBH tows were made simultaneously at most stations, while at others only surface tows were made. Oblique tows were made while the ships were cruising at standard slow speeds, by lowering the nets to standard depths and retrieving them at standard speeds. Standards were usually consistent within groups of cruises; these can be found in references listed in Table 15A.

There is generally a favorable range in any environmental variable for successful spawning and survival of eggs and young (Ricker, 1975: 276). The curve of recruits per spawner *versus* the environmental variable is expected to be dome-shaped, with recruits per spawner reaching a maximum at some value of the environmental variable and then decreasing. Most of the data sets in Table 15 suggest an exponential increase of the mean concentration ($\bar{n} = n/tow$, or $n/10 m^2$, or $n/10^3 m^3$) of skipjack larvae with increasing SST in the Pacific up to 27–30°C but usually up to 29°C, and in the Atlantic up to 28°C, and, where adequate data exist, decreasing with further increases in SST. SBH tows of the *Shunyo Maru* in the western Pacific (Table 15B), however, suggest no change in \bar{n} with SST increasing beyond 29°C, rather than a decrease in \bar{n} , but the value at 31°C may not be representative because it is based on only 12 tows.

The metabolic rate of most fish larvae approximately doubles with each 10°C increase ($Q_{10} = 2.2$; Reuben Lasker, U.S. NMFS, La Jolla, California, p.c.), so the larvae grow through the vulnerable larval period more rapidly at higher temperatures. This would result in lower numbers of larvae captured at higher temperatures than would occur had their metabolic rate been constant. Adjustments were made for this effect, but the differences are negligible compared to the magnitude of the observed changes in larval concentration with SST. Relative to concentrations at 27°C, the adjustment decreased values at 25°C by 15%, and increased values at 29°C by 18%. Plots of the mean concentrations adjusted for the metabolic effect (\bar{n}_m) on an exponential scale against SST, from groups of cruises with relatively large numbers of tows, show a linear increase to a maximum (Figure 9). Slopes were calculated from linear regressions of $\log \bar{n}_m$ and SSTs in the ascending portion of the curve for each group of cruises. Only data from groups of cruises having a minimum of four consecutive SST intervals with concentrations greater than zero were used. With the exception of the data in Figure 9A, the highest SST interval included in the regression analyses was that with the maximum concentration. The results are given in Table 16. A mean slope was calculated for all groups of cruises combined where $r \geq 0.850$. The mean slope, weighted by the number of tows in each regression, was 0.309. This is equivalent to the number of larvae increasing by a factor of 2.04 (from 10^{0.309}) for each 1° increase in SST. The weighted mean slope for the cruises in the Pacific only was 0.306 and the factor was 2.02 based on a total of 2,817 net tows. It appears that the mean concentration of skipjack larvae in the Pacific approximately doubles with each 1°C increase in SST from 24° to 29°, and at 30° decreases by a variable amount. In the Atlantic the curve is similar, but the peak appears to be at 28°C.

Similar analyses were made for other species of tunas for which adequate data were available to determine whether the relationship between larval concentration and SST was unique for skipjack. The concentration of yellowfin larvae in the Pacific peaked at 29–30°C for 10 groups of cruises and at 27–28°C for 1 group (from data from sources listed in Table 15A and from Klawe, 1963). The slopes range from 0.230 to 0.642 and the weighted mean slope is 0.386, based on 3,565 net tows; the factor is 2.43, similar to that for skipjack larvae. The data from the Atlantic, however, did not show any consistent patterns in the concentrations of yellowfin larvae and SST. Data for albacore (*Thunnus alalunga*), bigeye tuna (*T. obesus*), and bluefin tuna (*T. thynnus*), were obtained for cruises of the *Shunyo Maru* in the western Pacific from Ueyanagi (1969) and Ueyanagi, Mori, and Nishikawa (1969). The concentration of albacore larvae peaked at 26°C, and then decreased gradually with further increases in SST; the slopes were 0.401 for surface tows and 0.591 for SBH tows; the weighted

mean slope was 0.489, based on 370 tows, and the factor was 3.08. The concentration of bigeye larvae in surface tows peaked at 28–29°C and the slope was 0.445; the concentration of bigeye larvae in SBH tows peaked at 30°C, and the slope was 0.383; the weighted mean slope was 0.413, based on 1,877 tows, and the factor was 2.59. Concentrations of bluefin larvae appeared to be unrelated to SST. These analyses show that at least three species of tunas in the Pacific have dome-shaped curves for larval concentration and SST similar to those for skipjack.

It is not known whether the apparent effect of temperature on larval abundance is caused by an effect on the spawners, a direct effect on larval survival, an indirect effect on larval survival through some other related environmental or biological variable(s), or a combination of these. Larval mortality and survival are further discussed in Section 4.33.

4.32 Recruits and post-recruits

4.321 Selection of environmental variables

The environmental variables selected were: 1) the sea-surface temperature in the spawning area (SSTS); 2) the wind-mixing index in the spawning area (WMIS); 3) the sea-surface temperature in the fishing area (SSTF); 4) the current-speed index (CSI) for the North Equatorial Countercurrent (NECC); and 5) the north-south gradient of SST in the area off the Gulf of Guayaquil (5° area S-05-080; see Table 7 for explanation of 5°-area codes). Area S-05-080 was selected for special study because large proportions of the skipjack catches of the EPO were made there during the 1960s and early 1970s, and catches declined markedly thereafter.

SSTS was the first environmental variable selected because the concentrations of skipjack larvae are so highly correlated with SST (Section 4.31). It is possible that SSTS, or one or more associated variables, may determine the cohort strength and ultimately the CPUE and the catch rate (Section 4.2) of skipjack in the EPO fishery. Spawning by skipjack in equatorial waters generally occurs throughout the year (Matsumoto, 1966). Farther from the equator spawning tends to peak during the warmer seasons (Matsumoto, 1966; Naganuma, 1979; Argue and Kearney, 1983). Histological studies of the ovaries of 87 skipjack captured in November and December at various locations in the South Pacific indicated that spawning occurred about every 1.18 days (Hunter, Macewicz, and Sibert, 1986). Similar studies have not been made for skipjack from equatorial or north Pacific waters, but it is likely that spawning frequencies are similar in these areas when conditions (such as temperature and forage) are favorable. Because spawning in both hemispheres combined occurs throughout the year, a 12-month period was selected as the presumed spawning period. From estimates of growth (Section 3.5) it is assumed that age-1+ skipjack caught in the EPO had been spawned in the central Pacific approximately 18 months earlier. For example, age-1+ fish caught during January–December 1983 are assumed to have been spawned during the period from July 1981 through June 1982. The July–June period therefore was selected for obtaining SSTS to be tested for correlation with indices of skipjack abundance.

WMIS was the second environmental variable selected. Lasker (1975) proposed that the survival of northern anchovy (*Engraulis mordax*) larvae in the California Current was dependent on the upper mixed layer being in a stable condition for a sufficient time. Concentrations of food suitable for first-feeding larvae have been found in aggregations and well-defined layers (Owen, 1981a, 1981b, and 1989). Upwelling and mixing can disrupt the layering and disperse the patches of food organisms, so that many of the anchovy larvae are unable to obtain sufficient food for survival. It was thought that Lasker's stability hypothesis might be applicable to skipjack larvae in the spawning areas of the central Pacific. The degree of mixing in the water column is roughly proportional to the cube of the wind speed (Elsberry and Garwood, 1978), so WMIS is the cube of the wind speed in the spawning area.

SSTF during the fishing period was the third environmental variable selected for the following reasons: 1) Barkley, Neill, and Gooding (1978) suggested that skipjack become increasingly intolerant of warm water as they become larger; 2) SST was a significant factor determining catch rates of yellowfin in the EPO (Allen and Punsly, 1984); 3) Schaefer (1958, 1959, and 1960) believed that the high sea temperatures during the El Niño of 1957–1958 allowed the skipjack to move further south than usual, resulting in large catches off Peru; 4) it has been suggested that skipjack CPUE in some areas, particularly off Ecuador and the Costa Rica Dome (centered near 9°N-90°W), is lower during El Niño events, when SSTs are higher than normal (Anonymous, 1984, 1985, 1986, 1987, and 1988); and 5) both skipjack and yellowfin were reported to have become unavailable to the Ecuadorian small baitboats during El Niño events (Jon Cole, formerly with IATTC, p.c.).

CSI for the NECC was the fourth environmental variable selected because Williams (1972) hypothesized that the NECC was a possible migration route and because the number of young skipjack carried eastward in this current may be related to its speed (Section 3.4). No data on speeds of the SECC or the EUC are available for the period studied.

The north-south SST gradient in 5° area S-05-080 off the Gulf of Guayaquil was the fifth environmental variable selected because it may be related to the intensity of upwelling south of the gradient. Variations in upwelling would cause changes in oceanic conditions in the fishing area; variations in the concentration of phytoplankton nutrients would lead to fluctuations through the various trophic levels of the food web, which might affect skipjack forage.

4.322 Calculation of environmental indices

The original data set for SST and wind speed at the U.S. NMFS, La Jolla, California, was obtained from radio transmissions of ships at sea, and compiled by 5° areas and months. The data for the area south of the equator before 1962 were judged inadequate because many 5° areas had no observations. Another data set from logbooks of ships was obtained from the University of California at Davis. This set had adequate data back to 1959. Because some 5° area-month strata had radio data but no logbook data, and other strata had logbook data but no radio data, the two data sets (Section 2) were combined to create as many strata as possible. The spawning area for skipjack is assumed to be west of 135°W (Section 3.2). At the time these investigations of skipjack CPUE versus SSTs and WMIS were begun, the original data set from radio transmissions extended westward only to 180°, so calculations of mean wind speeds and SSTs representative of conditions in the spawning area could be made only for the area east of 180°. The spawning area for recruits to the EPO fishery, however, may extend west of 180°, but there is no indication how far. If so, the indices obtained from 180°-135°W represent conditions in only a part of the actual spawning area.

Subsurface tows in the Pacific generally contain more skipjack larvae in the SST intervals of 28°C and higher (Table 15B), so that areas where SSTs exceeded 28°C are regarded as favorable for spawning, the survival of larvae, or both. Therefore, the 28°C isotherm was used to delineate favorable areas. In the central Pacific the latitude of the 28°C isotherm fluctuates with the seasons, generally being farthest from the equator at the end of summer, and nearest the equator at the end of winter, in each hemisphere. For skipjack caught in the EPO, the area where most of the spawning is presumed to occur lies west of 135°W and in waters with SSTs >28°C, i.e., between the 28°C isotherms in each hemisphere (SSTs <28°C frequently occur in upwelling areas along the equator, but for simplicity these have been ignored). The area was divided into two sectors (180°-155°W and 155°W-135°W) because from May to December the 28°C isotherm reaches farther north in the western sector than it does in the eastern sector. The mean monthly latitudinal limits chosen to include the area >28°C were the 5° increments of latitude closest to the mean monthly latitudes of the 28°C isotherms obtained from the charts. For example, if the 28°C isotherms were at 12°N and

14°S, the limits chosen were 10°N and 15°S, including two 5° increments of latitude in the north and three in the south. The monthly limits are given in Table 17.

Many of the 5° area-month strata had no observations, and these empty strata were unevenly distributed throughout the spawning area. Most of the empty strata occur in the southeastern part, fewer in the southwestern part, fewer yet in the northwestern part, and least in the northeastern part. To avoid biasing the means and median values of SST and wind speed in the spawning area toward the northeastern part, the two sectors (180°-155°W and 155°W-135°W) were each divided into two parts, north and south of the equator. The four areas are henceforth referred to as quadrants.

Ideally, each observation of wind speed should be first cubed, and the cubes averaged to obtain the wind-mixing index. Because most of the data available were averages of individual observations, cubing could not be performed until the final averages were obtained. Means and medians of the average values of SST and wind speed from each 5° area were calculated for each quadrant.

The median value in each quadrant was selected as the measure of central tendency because the median is less influenced by extreme values than is the mean. Extreme values may be caused by errors in transcribing or transmitting the data, or by extreme values based on a few observations when conditions are atypical, as during a calm or a storm. Editing to remove extreme values was rejected because it would be too subjective. The medians from each quadrant were then weighted by the total number of 5° areas in each quadrant and averaged to obtain a mean monthly value in the selected spawning area. A grand mean weighted by the total number of 5° areas in each month from all quadrants combined was obtained for the 12-month July-June period and then cubed to obtain WMIS. Mean SST in the spawning area (SSTS) and WMIS, are given in Table 18 and shown in Figure 10.

CPUE data for the international baitboat fleet are available back to 1934, and can be tested for correlation with available environmental data. However, the data for SST in the spawning area before 1958 are inadequate. For the 1949-1970 period Allison *et al.* (1971: Table 3) found that rainfall at 11 tropical islands in the Pacific between 165°E and 155°W was highly correlated ($r = 0.93$) with SST in the Pacific east of 180° between 10°N and 10°S and were able to estimate SST from rainfall for the 1905-1948 period when SST data are scarce. Figure 18 in Allison *et al.* (1971) shows 12-month running means of derived SST anomalies for three zones only: 10°N-20°N, 180°-90°W; 0°-10°N, 180°-80°W; and 0°-10°S, 180°-80°W. The fluctuations are similar for the three zones except that the most northerly zone shows a lower amplitude than the other two. In order not to give extra weight to the northern hemisphere in averaging the SST anomalies, mean SST anomalies (SSTA) for the July-June spawning period were obtained for zones 0°-10°N and 0°-10°S from Figure 18 in Allison *et al.* (1971) for the 1932-1933 period to the 1948-1949 period, and combined with mean SSTA from ocean temperatures in the same zones obtained from their Figure 10 for the 1949-1950 period to the 1958-1959 period to produce a 27-year series of SSTA. However, only 45% of this area lies in the selected spawning area between 180° and 135°W. Although it would have been preferable to have an index of SST for the spawning area only, this one is regarded as adequate since SSTs in this zone east and west of 135°W are probably well correlated, as suggested by $r = 0.75$ for tropical island rainfall and SST at South American west coast stations (Allison *et al.*, 1971: Table 3).

In the fishing areas SSTs were obtained from the 22 5° skipjack areas (Figure 5) only, even though significant skipjack catches had occurred in the additional 5° areas in recent years (Table 8), since using data from the additional areas might have biased the mean SSTs for those years. The skipjack-fishing area was divided into three sub-areas: six 5° areas between 15°N and 30°N; nine 5° areas between 5°N and 15°N; and seven 5° areas between 10°S and 5°N (Figure 5). The data were treated in the manner described above to obtain mean quarterly values for each sub-area. From these, weighted quarterly means were calculated for the entire area and mean values were then

calculated for the entire year and are designated as SSTF (for the 22 5° fishing areas). These are given in Table 18, and shown in Figure 10; for the first two quarters they are designated as SSTF'.

SST data in the fishing area off the Gulf of Guayaquil were compiled from monthly charts contoured by Forrest R. Miller, IATTC, for the 1961–1984 period. Because there was little ship traffic in this area SST observations are scarce, and the isotherms are not very reliable. SSTs were obtained from the charts at six positions in the area of greatest skipjack catches (Figure 2): 0°–81°W; 0°–83°W; 2°S–81°W; 2°S–83°W; 4°S–81°W; and 4°S–83°W. The mean SST at the six positions and the north-south SST gradient (difference) between 0° and 4°S were obtained for each quarter.

Because of the earth's rotation, moving bodies are deflected by Coriolis force to the right in the northern hemisphere and to the left in the southern hemisphere. In the northern hemisphere this force causes some water to be removed from the left side of a current (facing with the flow) and accumulated on the right side, resulting in a difference in sea level across the current. The speed of the current is directly related to the sea-level difference. Wyrtki (1973 and 1974) used the sea-level differences across the eastward- or westward-flowing currents of the Pacific west of 150°W as indices of current speed. There are no sea-level stations east of 150°W, so that relative current speeds cannot be estimated by this method for the EPO. However, it is assumed that current speeds in the NECC east and west of 150°W are highly correlated. The NECC is shown to have been strongest during the El Niño events of 1957–1958, 1965–1966, 1969, 1972–1973, and 1982–1983. Twelve-month mean sea-level differences were used as current speed indices (CSI) for the July–June spawning period and for 12-month periods 6 and 12 months later at times when the young skipjack in the NECC might be transported in the more eastern part of the current toward the fishing areas. The mean CSI for the three periods (MCSI) was used as a current-speed index for the entire time the fish might be in the NECC. Values of MCSI are given in Table 18 and shown in Figure 10.

4.323 The international baitboat fishery of the EPO

Until 1961 most of the skipjack caught in the EPO was captured by baitboats. Because there are no adequate length-frequency data in IATTC records before 1955 it was not possible to estimate the numbers of age-1+ skipjack captured in earlier years in the EPO by baitboats of the monitored fleet. From Table 12 it is evident that the majority of fish caught by purse seiners in most years were age 1+. Length-frequency data for 1955–1960 show that most of the skipjack caught by baitboats were age 1+. Although the proportion of age-1+ fish by weight would be smaller than the proportion in numbers because of the greater weights of age-2+ fish, it is likely that the CPUE for all ages combined, in tons per standardized day's fishing, would reflect variations in recruitment. The annual CPUE calculated by Shimada and Schaefer (1956) for 1934–1954 is the total logged catch divided by the logged effort standardized to Class-3 vessels, defined here as the unweighted estimate of apparent abundance (CPUE_{u3}).

CPUE_{u3} was log-transformed because Ricker (1975: 274) states that estimates of abundance of recruits should be converted to logarithms when tested against environmental variables because environmental effects may be expected to be multiplicative, rather than additive.

The annual logCPUE_{u3} for the 1934–1960 period was tested with SSTA in the spawning area (Section 4.322) 18 months earlier, from the midpoint of the fishing year to the midpoint of the 12-month period in the spawning area; the correlation was significant, with $r_s = 0.520$ and $r = 0.553$ ($P < 0.01$ for both). Plots of the data are shown in Figure 11. The Durbin-Watson statistic D (Durbin and Watson, 1951) was 1.62, indicating that there was no significant first-order autocorrelation at the 5% level. A significant autocorrelation means that the regression relationship is not linear or that one or more variables is missing (Wesolowsky, 1976: 136). These results support the hypothesis that SST in the spawning area, or some other variable(s) related to it, may have influenced the cohort strength of skipjack fished in the EPO.

LogCPUE_{u3} was also tested with year because there was an apparent increase with time, with $r_s = 0.442$ and $r = 0.488$ ($P < 0.05$ for both), which might indicate that another environmental variable related to time was having an effect, or that the baitboats were becoming more efficient with time. If year is regarded as an environmental variable, then two have been tested; when P values were multiplied by two, as suggested by Ricker (1975), the coefficients for SSTA and year remained significant at the 5% level. Stepwise regression (BMDP P2R, from Dixon, 1983) of logCPUE_{u3} versus SSTA and year showed that year significantly improved the correlation, resulting in the coefficient of multiple correlation $R = 0.666$, $R^2 = 0.444$, and adjusted $R^2 = 0.398$; $D = 1.97$ indicating no first-order autocorrelation. The correlation of logCPUE_{u3} with year suggests an unknown environmental factor correlated with year, or an increase in the efficiency of baitboats over time, or both. Possibly WMIS is the factor correlated with year, as it was during the 1961–1984 period (Table 20).

Adequate wind speed data in the defined spawning area are not available for most years when baitboats predominated, so that logCPUE_{u3} could not be tested against WMIS. If available, WMIS might have shown the best correlation, as it did for the purse-seine data (Section 4.324), and SSTA might have been rejected in a stepwise regression analysis. Similarly, adequate data for SST in the fishing area and CSIs for the NECC for the same period are not available for testing.

4.324 The international purse-seine fishery of the EPO

Significant positive correlations had been expected for $\text{logCPUE}_{w3}'$ for skipjack from purse seiners for 1961–1984 and SSTS 18 months earlier because of the high correlations between apparent larval abundance and SST (Section 4.31), and significant correlations between logCPUE_{u3} from baitboats for 1934–1960 and SSTA in the spawning area 18 months earlier (Section 4.323). The annual $\text{logCPUE}_{w3}'$ for skipjack from purse seiners in the EPO for 1961–1984 was tested for correlation with SSTS 18 months earlier, but the correlations were not significant (Table 19). $\text{LogCPUE}_{w3}'$ was also tested for correlation with WMIS 18 months earlier, SSTF, and year. CPUE_{w3}' was also not transformed to logarithms for testing with CSIs for the NECC since the number of skipjack carried into the fishing areas by the NECC would be expected to be proportional to the current speed. CPUE_{w3}' was not transformed for testing with total estimated fishing effort (f_3'''). Correlation coefficients were significant for WMIS, year, and f_3''' ; coefficients were not significant for SSTF, the three CSIs 18, 12, and 6 months earlier, and MCSI (Table 19). The tests were repeated using $\text{logCPUE}_{w6}'$ and CPUE_{w6}' . Correlation coefficients were significant for WMIS and year; coefficients were not significant for SSTS and SSTF. Correlation coefficients were not significant for CPUE_{w6}' and the three CSIs 18, 12, and 6 months earlier, and MCSI, and were significant for CPUE_{w6}' and f_6''' (Table 19).

The hypotheses that El Niño events influence the apparent abundance of skipjack in some of the fishing areas of the EPO (Section 4.321) are not supported by the results of the correlation tests with SSTE.

The inverse correlations with f_3''' and f_6''' suggests that increased fishing effort has reduced apparent abundance. However, there is an inherent mathematical correlation between CPUE and effort, since effort is included in CPUE. Forsbergh (1987: 14) simulated catch and effort data from random numbers and obtained a mean $r = -0.659$ ($P < 0.01$) for CPUE and effort. For the actual purse-seine data r values were close to those obtained from random numbers, so that a functional correlation is questionable. Forsbergh (1987) applied stock production models to skipjack in the EPO; the results indicated that f_3''' was the major influence on CPUE_{u3} , but this is highly questionable because of the assumptions required. The stock production models require that there be little or no interchange of fish between the fishing area in question and other areas where the same species may be fished, or that the rates of interchange be known. Tagging results show that there is interchange of skipjack between the eastern, central, and western Pacific (Anonymous, 1987:

Figure 66). Because of this, the stock production models are usually regarded as not applicable to skipjack in the EPO (Anonymous, 1987b: 69).

There are highly significant correlations among environmental variables and year which complicate the results of correlation tests with estimates of cohort abundance (Table 20). Stepwise regression was performed for $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus the four environmental variables and year. This required that $\log\text{CPUE}_{w3}'$ be used, rather than CPUE_{w3}' , for testing with MCSI because $\log\text{CPUE}_{w3}'$ was preferred for testing with the other four variables. Stepwise regression showed that year was the only significant variable. Excluding year and retesting showed that WMIS was the only significant variable. The test was repeated using $\log\text{CPUE}_{w6}'$: year was the primary significant variable; WMIS, the secondary significant variable, increased R^2 by 0.067. Excluding year and retesting showed WMIS to be the primary significant variable; MCSI was the secondary significant variable, and increased R^2 by 0.090. Plots of CPUE_{w3}' from purse seiners versus WMIS are shown in Figure 12.

The catch rate of age-1+ fish in numbers per day's fishing is a better estimate of apparent cohort abundance than is CPUE_{w3}' or CPUE_{w6}' of all ages. The age-specific catch rates (CR_3) of skipjack by purse seiners in eight quarterly intervals (QIs), based on a linear growth rate of 24 cm/yr, are given in Table 14. The question arose as to whether catch and effort from all eight QIs should be included in an estimate of early cohort strength representing the population abundance at an early age (i.e., eggs, larvae, and juveniles) or whether data from the earlier or later QIs should be excluded. If the percentage of the total population of skipjack that migrates into, or emigrates from, the fishing areas of the EPO is relatively constant for all cohorts, and if the age-specific mortalities and catchabilities are also relatively constant for all cohorts (Section 3.1), then the use of data from all eight QIs would be appropriate. Examination of Table 14, however, suggests that one or more of these characteristics is not constant, particularly in QI1 and QI8, for which the coefficient of variation for CR is higher than for QIs 2-7.

Table 14 shows that the mean values of CR_3 for the 1962-1983 cohorts were highest during QIs 3-6, with maxima occurring 3, 14, 3, and 2 times in QIs 3, 4, 5, and 6, respectively, suggesting that there was a main wave of recruits fluctuating about QI4. (The 1961 and 1984 cohorts were disregarded because of missing data in some QIs.)

LogCR_3 from each QI in Table 14 was tested for correlation with $\log\text{CR}_3$ from all other QIs to determine the degree of coherence within cohorts for the 1962-1983 period. The 1961 cohort was excluded because of missing data in QI3, and the 1984 cohort was excluded because estimates of abundance for 1985, upon which CR in QI7 and QI8 are based, are regarded as unreliable (Section 4.1). Correlation coefficients are given in Table 21. For adjacent QIs positive correlation coefficients generally were highest from QI3 to QI7. For QIs separated by one QI positive coefficients generally were significant between QI3 and QI7. With one exception, positive coefficients were not significant for QIs separated by two or more QIs. These results suggest that the degree of coherence within cohorts is poor. The question arose as to which QIs should be used to obtain the best estimate of apparent cohort abundance. One choice would be the QI with the maximum mean catch rate and the two QIs adjacent to it; these are QIs 3-5. A second choice would include also QI6 because the mean catch rate is close to that in QI3 and because the peak catch rate occurs twice in QI6. A third choice would be the QI with the maximum catch rate for each cohort and the two QIs adjacent to it. Estimates of apparent cohort abundance were obtained by averaging the values of CR_3 in each QI used. The logarithms of the mean values of CR_3 from the three methods were so highly correlated ($r \geq 0.986$) that it probably makes little difference which method is used. QIs 3-6 were selected for obtaining the estimates of cohort abundance because they include the highest mean values of CR_3 , and all peak values of CR_3 for individual cohorts. The mean of the values of CR_3 for QIs 3-6 was used as a weighted estimate of apparent abundance and, since it includes all age-1+ fish it is abbreviated

as CR₃1+. Values are given in Table 9 (for comparison with CPUE_{w3'}) and shown in Figure 1, Panel C. Values for CR₆1+ and CPUE_{w6'} are given in Table 10. CR₃1+ and CPUE_{w3'} are highly correlated, with $r_s = 0.879$ and $r = 0.969$; CR₆1+ and CPUE_{w6'} are also highly correlated, with $r_s = 0.902$ and $r = 0.975$. This indicates that CPUE may be used as a crude estimate of apparent abundance for skipjack cohorts in the EPO when better estimates are not available, as was assumed for the baitboat data in Section 4.323.

For each cohort the proportions of the entire logged catches comprised by the numbers of age-1+ skipjack caught in QIs 3–6 are given in Table 22. Proportions range from 0.490 for the 1972 cohort to 0.929 for the 1967 cohort, with a mean of 0.794 for all 23 cohorts.

Coefficients of correlation were calculated for logCR₃ for the eight QIs for the 1962–1983 cohorts versus SSTS and WMIS to determine which QIs had the highest coefficients (Table 23). For both SSTS and WMIS the highest absolute values are found in QIs 3–5. The lower coefficients for QI1 and QI2 may be caused by variable immigration, while the lower coefficients for QI6 to QI8 may be caused by variable emigration (Section 3.1). For logCR₃ versus SSTS r_s was not significant in any QI, but r was significant in QIs 3–5. For logCR₃ versus WMIS both coefficients were significant in QIs 3–6.

LogCR₃1+ for the 1961–1984 cohorts (Group I) was tested for correlation with SSTS, WMIS, SSTF, and year; CR₃1+ was tested with the three CSIs and MCSI, and f_3''' . Because the assignment of ages was questionable for the 1971 and 1973 cohorts (Section 4.2), these cohorts were omitted and the data (Group II) were retested. Correlation coefficients are given in Table 24. For both groups logCR₃1+ was significantly correlated with SSTS, WMIS, and year; CR₃1+ was not significantly correlated with any of the three CSIs, MCSI, or f_3''' . The highest coefficients are for WMIS. In the regression of logCR₃1+ versus WMIS the Durbin-Watson statistic $D = 1.82$ for Group I and 1.88 for Group II, indicating no first-order autocorrelation at the 5% level. When P values were multiplied by five r_s values for SSTS became non-significant, but all coefficients for WMIS and year remained significant (Table 24). Tests of logCR₃1+ versus WMIS were repeated using CR₃1+ based on the unweighted estimate of abundance, CPUE_{w3'}, and coefficients were similar: for Group I, $r_s = -0.811$ and $r = -0.739$; for Group II, $r_s = -0.796$ and $r = -0.784$. Plots of CR₃1+ based on CPUE_{w3'} versus WMIS are shown in Figure 13. Stepwise regression of logCR₃1+ versus the four environmental variables and year showed that WMIS was the only significant variable.

Correlation tests were repeated using logCR₆1+ and CR₆1+. The results were similar to those obtained above and are given in Table 24. Plots of CR₆1+ based on CPUE_{w6'} versus WMIS are shown in Figure 13. Stepwise regression showed WMIS to be the primary significant variable and year the secondary significant variable; all other environmental variables dropped out.

Although the best predictor of cohort strength for skipjack in the EPO fishery appears to be WMIS, this does not mean that SSTS has no influence. Because SSTS and WMIS were highly correlated ($r = -0.663$), much of the influence of SSTS on cohort strength was included in WMIS, and the remaining influence of SSTS was not large enough to improve significantly the correlations in the stepwise regressions. Cohort strength would have been significantly correlated with SSTS if it had been the only environmental variable available. This occurred with the baitboat data when only SSTA in the spawning area was available (Section 4.323).

Barkley, Neill, and Gooding (1978) suggested that skipjack become increasingly intolerant of warm water as they become larger. Catch rates in QI7 and QI8 (age-2+ skipjack in the first two quarters) based on data standardized to Class-3 vessels were averaged to obtain an estimate of apparent abundance for the age-2+ fish (CR₃2+). Excluding 1961, because there was no usable effort in QI1, logCR₃2+ for the 1962–1984 period was tested for correlation with SSTF', and none of coefficients were significant ($r_s = -0.393$ and $r = -0.328$; with 1971 and 1973 excluded, $r_s =$

-0.363 and $r = -0.303$). There is no indication that the abundance of larger skipjack is influenced by sea temperatures in the EPO.

The problems of estimating fishing effort during the 1961–1984 period from the data as presently compiled were discussed in Section 4.1. When better estimates of effort become available indices of abundance will be recalculated and tested *versus* the environmental variables. It is possible that the statistical significance of some of the new correlations may differ from those obtained in this section.

4.325 *The purse-seine fishery of the Gulf of Guayaquil area*

Large catches of skipjack have been made in the 5° area including the Gulf of Guayaquil (S-05-080; see Table 7 for explanation of codes). From 1961 to 1971 the annual logged catch by baitboats and purse seiners in this area ranged from 15 to 72%, with a median of 42%, of the total logged catches in the EPO. Because of this the variation in the apparent abundance of skipjack caught by purse seiners in this area was investigated in relation to fishing effort in the area, catches of skipjack in the surrounding areas, environmental variables, and year.

It was not possible to obtain CR_{31+} or CR_{61+} for area S-05-080 because length-frequency measurements of yellowfin and skipjack have not been compiled by individual 5° areas, but were pooled into statistical areas that include varying numbers of 5° areas and parts of 5° areas. The quarterly $CPUE_3'$ and the annual $CPUE_{w3}'$ were used instead as estimates of apparent cohort strength. Table 12 shows that most of the skipjack caught by purse seiners in the entire EPO are age 1+.

Quarterly values of $CPUE_3'$ for skipjack in area S-05-080 are given in Table 25 and annual values are given in Table 25 and shown in Figure 14A. Annual values of $CPUE_{w3}'$ were obtained by averaging the quarterly $CPUE_3'$ values for quarters with usable data. In the later years many quarters did not have sufficient data for computing $CPUE_3'$. Mean values of $CPUE_{w3}'$ for both skipjack and yellowfin for three periods between 1961 and 1984 are given in Table 26. The mean skipjack $CPUE_3'$ for each quarter has declined markedly. In Qr1 the decline in the mean yellowfin $CPUE_3'$ is similar to that for skipjack, but for Qrs 2–4 there is little change in the mean yellowfin $CPUE_3'$, and the annual yellowfin $CPUE_{w3}'$ also shows little change. The skipjack annual $CPUE_{w3}'$ was not correlated with logged f_3' in the area ($r = -0.143$).

A possible explanation for the decline in skipjack $CPUE_{w3}'$ in area S-05-080 is that the offshore expansion of fishing effort beginning in 1969 (Figure 2), partly in response to the regulation of the yellowfin catch within the CYRA initiated in 1966, has resulted in the capture of large numbers of skipjack outside area S-05-080 otherwise destined to migrate to that area. f_3' in the six 5° areas between 5°N and 10°S surrounding S-05-080 increased from a mean of 602 Class-3 days for the 1961–1971 period to a mean of 4,624 Class-3 days for the 1972–1984 period. The annual $CPUE_{w3}'$ for S-05-080 was tested for correlation with the catch of skipjack by purse seiners in the six 5° areas, and correlation coefficients were not significant (Table 27). $CPUE_{w3}'$ for the six areas shows a decline after 1968 (Figure 14B) similar to that for area S-05-080, and the two indices were significantly and positively correlated ($r_s = 0.635$ and $r = 0.805$; $P < 0.01$ for both). Thus there is no indication that the decline in $CPUE_{w3}'$ in area S-05-080 was caused by increased fishing in the surrounding areas, and it seems that it was part of a general decline south of 5°N .

Most of the skipjack caught in area S-05-080 has been captured east of 83°W between the equator and 5°S . This area lies in the equatorial thermal front between the cold waters of the Peru Current and its extension and the warm waters north of the equator. SSTs in the frontal area change rapidly with latitude, and the intensity and the position of the front vary with season and year. A strong front is caused by strong upwelling in the Peru Current. Variations in upwelling may ultimately influence concentrations of skipjack forage in the fishing area.

The skipjack $\log\text{CPUE}_3'$ for each quarter with usable data (≥ 100 Class-3 days and ≥ 200 tons of skipjack caught) was tested for correlation with SST means and gradients in the corresponding quarters, and the results are given in Table 28. The degrees of freedom are 21, 17, 15, and 20, for Qrs 1, 2, 3, and 4, respectively. For quarterly $\log\text{CPUE}_3'$ versus mean SST correlation coefficients were non-significant in all quarters; for quarterly $\log\text{CPUE}_3'$ versus the SST gradient, both r_s and r were significant in Qr1, r_s was significant in Qr4, and none of the coefficients was significant in Qr2 and Qr3.

For yellowfin quarterly $\log\text{CPUE}_3'$ versus the SST gradient coefficients were significant in Qr1 but not in Qrs 2–4; for annual yellowfin $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus the mean SST gradient the coefficients were not significant. For yellowfin quarterly $\log\text{CPUE}_3'$ and annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus the mean SSTs none of the coefficients were significant.

For Class-6 purse seiners in area S-05-080 usable effort was set at ≥ 25 fishing days and usable skipjack catch was set at ≥ 100 tons. There were considerably more quarters having insufficient data than there were with the standardized data. Quarterly $\log\text{CPUE}_6'$ was therefore not tested for correlation with quarterly SST and quarterly SST gradient.

Mean annual SSTs and sea levels at stations in northern Peru were lower during the 1960–1971 period, indicating stronger upwelling, and higher during the 1972–1983 period, indicating weaker upwelling (Forrest R. Miller, IATTC, p.c.). It is possible that the decline in the annual skipjack CPUE_{w3}' in area S-05-080 after 1969 was caused by one or more variables related to these trends in oceanic conditions. However, These trends do not appear to have had any effect on annual yellowfin CPUE_{w3}' in the same area.

The annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$ for skipjack from area S-05-080 was significantly correlated with WMIS, the SST gradient in the fishing area, and year, but not with SSTS and mean SST in the fishing area; CPUE_{w3}' was not significantly correlated with the three CSIs 18, 12, and 6 months earlier, or MCSI (Table 27). If year is regarded as representing some unknown environmental variable, then six environmental variables were tested here; when P values were multiplied by six only the SST gradient and year remained significant. In the regression of annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus the SST gradient D fell below the lower critical value, indicating a significant first-order autocorrelation at the 1% level; this may be caused by an unknown environmental variable not included in the regression. For annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus year $D = 1.70$, indicating no autocorrelation at the 5% level.

Stepwise regression of $\log\text{CPUE}_{w3}'$ versus the five environmental variables and year showed that after the effect of year was removed both WMIS and the SST gradient dropped out. Excluding year and retesting showed that after the effect of the SST gradient was removed WMIS dropped out.

The annual CPUE_{w6}' is regarded as less reliable than CPUE_{w3}' as an estimate of apparent abundance for area S-05-080 because there were more quarters with inadequate data. Tests of correlation for annual $\log\text{CPUE}_{w6}'$ versus environmental variables yielded results similar to those for $\log\text{CPUE}_{w3}'$ with the exception that r for SSTS became non-significant (Table 27). Stepwise regression showed that year was the only significant variable. Excluding year and retesting showed that the SST gradient was the only significant variable. $D = 1.80$ for year and 1.66 for the SST gradient, both values indicating no significant autocorrelation at the 5% level.

In conclusion, it appears that the decline in the apparent abundance of skipjack in area S-05-080 after 1971 could have been related to changes in oceanic conditions in the fishing area and/or in the surrounding areas, and to increases in WMIS 18 months earlier, but not to increases in fishing effort in the surrounding areas.

The hypothesis that the apparent abundance of skipjack off Ecuador is influenced by El Niño events is not supported by the results of correlation tests of quarterly $\log\text{CPUE}_3'$, annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$, and annual $\log\text{CPUE}_{w6}'$ in area S-05-080 versus SST in the fishing area.

Skipjack have appeared infrequently in large quantities near the 14-fathom Bank near 9°S-80°W. Logged catch data are available in IATTC records since 1951. Except for 1953, little or no skipjack was caught from 1951 to 1956 in the 5° area including the bank (S-10-075). In 1957, 1958, and 1959 12, 34, and 30%, respectively, of the total logged catch of skipjack in the EPO was caught in this 5° area, mostly near the bank; from 1960 to 1964 little or no skipjack was caught there. Schaefer (1958, 1959, and 1960) attributed the large catches of skipjack off Peru in 1957–1959 to the unusually warm water during the strong El Niño of 1957–1958 (Quinn *et al.*, 1978), which allowed skipjack to range farther south than usual. During the moderate El Niño events of 1953 and 1965 (Quinn *et al.*, 1978) 5 and 6%, respectively, of the total logged catch in the EPO was caught in this area, supporting Schaefer's conclusion. Little or no skipjack, however, was caught in this area in the years after 1965, including the El Niño years. Possibly this apparent change in the availability of skipjack during El Niño events is related to the decline in the CPUE_w' in the other 5° areas from 10°S to 5°N after 1968 (Figure 14B).

4.326 The local baitboat fishery of Ecuador

The fishery for skipjack and yellowfin by small Ecuadorian baitboats began in the mid 1950's. Canneries were first established at Manta, Ecuador, in 1957. Landings of tunas at Manta have been recorded by Commission personnel since 1958. In the early days of the fishery the Manta fleet consisted mostly of small baitboats (Class 1, ≤50 tons capacity) without refrigeration, that fished within about 60 miles from the coast and returned the same day to unload the fish. There were a few bolicheras, small seiners (Class 1, ≤50 tons capacity) without refrigeration, that also fished in the same area and returned the same day. The number of bolicheras was small (1–8) until recent years; they fish principally for thread herring, *Opisthonema* spp., and chub mackerel, *Scomber japonicus*. The catch of tunas by bolicheras has always been small, and is ignored in the present analysis. The number of small baitboats increased from 17 in 1957 to a maximum of 60 in 1968, and then decreased to 9 in 1984. The decrease in the number of baitboats coincided with the increase in the number of Ecuadorian purse seiners, beginning with 1 vessel in 1968 and reaching 41 in 1979 and 1980.

It is not known what gear was used to catch much of the yellowfin and skipjack in the Ecuadorian fishery in many years, but it is believed that most was caught by baitboats, and the remainder by bolicheras and purse seiners. The annual skipjack catches by baitboats were estimated by combining known catches by baitboats with catches by unknown gear (Table 29). The estimated annual skipjack catches by baitboats averaged 11,576 tons from 1959 to 1971, and 2,628 tons from 1972 to 1984. By 1985 the baitboat fishery was virtually finished, with only 88 tons of skipjack captured.

The record of fishing effort by the baitboats is incomplete: only a fraction was recorded in some years and none was recorded in 1970. The number of baitboats and the fleet capacity were both considered as substitute indices of effort, but were later rejected because many boats remained in port when fish were scarce, causing these indices to overestimate the actual effort during periods of poor fishing. An estimate of apparent abundance was therefore obtained from the known but incomplete baitboat catch and effort data. The data have not been compiled by month or quarter, so that a weighted annual estimate could not be obtained in the time available. The estimate used is the known annual catch by baitboats divided by the known effort, CPUE_u (Table 29).

The CPUE_u for the baitboats may be compared with CPUE_{w3'} for the international purse-seine fleet in the three 5° areas including and surrounding the area of the baitboat fishery. Data for areas 00-075 and 00-080 (see Table 7 for explanation of codes) in many years are inadequate for obtaining reliable values of CPUE_w'. However, the 5° area including the Gulf of Guayaquil (S-05-080) has been one of the areas most intensely fished by the international fleet of purse seiners, and values of CPUE_{w3'} are regarded as reliable because annual usable effort (Section 4.1) in this area during the

1961–1984 period has always exceeded 1,000 Class-3 days. CPUE_u for the Ecuadorian baitboats and CPUE_{w3}' for the purse seiners in area S-05-080 are shown in Figure 14: the purse-seiner CPUE_{w3}' shows a marked decline after 1968 with the exception of 1975; the decline in the baitboat CPUE_u was less and occurred after 1969, with the exception of 1975 and 1982–1984. It was expected that the CPUE from the two gears would be well correlated since the gears fish some of the same areas. For baitboat CPUE_u versus purse-seine CPUE_{w3}', $r_s = 0.464$ and $r = 0.481$ ($P < 0.05$ for both) for 1961–1984, excluding 1970; plots show 1982, 1983, and 1984 as outliers. It is likely that baitboat CPUE_u for these years is unreliable because of the low known effort (52–174 days). The data were retested excluding these years, and correlation coefficients increased considerably, with $r_s = 0.764$ and $r = 0.793$ ($P < 0.01$ for both). The values for baitboat CPUE_u for 1982–1984 were therefore regarded as unreliable and excluded from further analyses.

The minimum effort required for obtaining reliable values of baitboat CPUE_u is unknown. If a minimum of 250 days is assumed the period 1961–1981 is available for analysis; if the minimum is 500 days the period 1961–1977 is available; and a minimum of 1,000 days leaves only 12 years available (Table 29).

It has been suggested that the decline in apparent skipjack abundance off Ecuador in the later years, as indicated by the baitboat fishery, may have been caused by the international purse-seine fleet having reduced the population before the skipjack entered the area where the baitboats fished. The mean monthly percentage of annual catches of skipjack by the baitboats peaked in June, with 49% of the annual catches occurring in May, June, and July. Values for baitboat CPUE_u for the years when effort was adequate according to the three minima were tested for correlation with the catches of skipjack by purse seiners in areas 00-075, 00-080, and S-05-080 during the first quarter and the first two quarters. None of the correlation coefficients was significant; those for the first two quarters are given in Table 30. These results give no indication that the decline in baitboat CPUE_u for skipjack after 1969 was caused by the purse seiners.

Length-frequency data for skipjack from the Ecuadorian baitboat fishery are inadequate for dividing the fish into age groups. Length-frequency data for skipjack caught by the international monitored baitboat fleet during 1955–1961 in the statistical sampling area which includes the area of the Ecuadorian baitboat fishery indicate that most of the fish are age 1+. Thus estimates of apparent abundance based on catches of all ages of skipjack were assumed to reflect variation in recruitment (as in Sections 4.323 and 4.324).

Monthly records of SST in the fishing area for the entire 1961–1984 period are not available, and instead mean annual values of SST were calculated for the two 5° areas off Ecuador (5°N–5°S, 80°W–85°W).

LogCPUE_u from the Ecuadorian baitboats for the 1961–1981 period, when annual effort ≥ 250 days, was tested for correlation with SSTS and WMIS 18 months earlier, SST off Ecuador, and year. CPUE_u was tested for correlation with CSIs 18, 12, and 6 months earlier, and with MCSI. Correlation coefficients were not significant for SSTS, WMIS, SST, CSIs, and MCSI. The correlation coefficients for year were highly significant (Table 30). Because five variables were tested, P values for year were multiplied by five; they remained significant at the 5% level. It is not known what variable might be associated with year. If the good fishermen left the baitboats to go on purse seiners and the owners allowed the baitboats to deteriorate it is possible that the efficiency of the baitboats would decrease with time. Adequate data are not available, however, for an analysis of possible changes in efficiency. The correlation with year remains unexplained.

LogCPUE_u for the 1961–1977 period, when annual effort ≥ 500 days, was tested for correlation with the four environmental variables and year, and the results are given in Table 30. Only for WMIS were r_s and r both significant at the 5% level. When P values were multiplied by five none remained

significant. The testing was repeated for the 12 years when annual effort $\geq 1,000$ days, and for none of the five variables were both coefficients significant.

Stepwise regression was performed with $\log CPUE_u$ versus four environmental variables and year for the three data sets defined by minimal effort values. The regression showed that year was the only significant variable. Excluding year and retesting the data with annual effort ≥ 500 days showed that WMIS was the only significant variable.

The hypothesis that El Niño events affect the apparent abundance of skipjack off Ecuador is not supported by the results of correlation tests of $\log CPUE_u$ for the local baitboats versus SST in the fishing area. The inconsistency of the correlation coefficients for $\log CPUE_u$ versus WMIS indicate that no conclusions can be made concerning a possible relationship.

4.33 Discussion

The major hypothetical influences on the early life of fishes have been categorized by Bakun (1985) as starvation, predation, physiological stress, disease, and advection (away from a favorable environment). Advection, while not a direct influence, may have an indirect influence through its effects on the other four. Advection may also influence reproduction. The combined effects of these influences ultimately may be observed in recruitment and estimates of apparent abundance from the fishery. Rothschild and Rooth (1982) considered that starvation and predation were the principal factors affecting recruitment. Hunter (1982) concluded "...that predation is probably the largest source of egg and larval mortality and it may be sufficiently variable to account for the observed variations in recruitment."

Hunter (1983) summarized the evidence for larval fish mortality from starvation as follows: 1) in the laboratory first-feeding marine fish larvae are very vulnerable to starvation; 2) the quantity of food organisms in the open sea is inadequate for good survival unless concentrated; and 3) 8% of northern anchovy larvae between 4 and 10 mm in inshore areas were starving (O'Connell, 1980), and 70% of first-feeding jack mackerel (*Trachurus symmetricus*) larvae <3.5 mm in offshore areas were starving daily, but only 17% of larvae 3.5- <4.0 mm and 3% of larvae 4.0- <4.5 mm were starving (Theilacker, 1986). Hunter summarized the principal evidence for egg and larval mortality from predation as follows: 1) greater mortality occurs during the egg and yolk-sac stages when starvation is not a factor; 2) many predators are known to eat eggs and larvae; and 3) experiments show that cod (*Gadus morhua*) larvae survive well in enclosures where predators are excluded and feeding conditions are similar to those in the sea (Ellertson *et al.*, 1981).

Recruitment and indices of abundance for many species of fish and some invertebrates have been correlated with environmental variables. Some of the results are summarized below.

For chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the California Current, Parrish and MacCall (1978: 58) estimated the relationship of recruits per spawner (R/P) and SST at the time of spawning to be: $\ln(R/P) = -13.527 + 0.78815 \text{ SST}$, with $r^2 = 0.2611$ and $F = 12.72$ ($P < 0.01$ with 36 df). This represents an increase by a factor of 2.20 ($e^{0.78815}$) for each 1-degree increase in SST, close to the values estimated here for skipjack and yellowfin larvae (Section 4.1). Lasker (1981) showed that weak winds, weak upwelling, and large concentrations of suitable food during the larval stages resulted in strong year classes of northern anchovy in the California Current, and that the reverse conditions resulted in weak year classes, supporting Lasker's (1975) stability hypothesis.

Simpson and Dickey (1981) have estimated that turbulent mixing off Southern California occurs where wind speeds exceed 10 m/sec. Peterman and Bradford (1987) have indicated that about four consecutive days with wind speeds <10 m/sec are required for adequate concentrations of food to develop for first-feeding larvae of northern anchovy in the California Current. They calculated an annual index from the number of such overlapping 4-day periods per month for each year, weighted by the proportion of spawning in each month as measured by egg-abundance surveys. For 13 years for

which adequate data for egg abundance were available, the mortality rate of the larvae was inversely correlated with the index, with $r^2 = 0.65$, supporting Lasker's (1975) stability hypothesis.

Parrish *et al.* (1983) have observed that many of the dominant species of fish in four major eastern boundary currents (California, Peru, Canary, and Benguela Currents) generally spawn where the stability of the water column is greater, which further supports Lasker's (1975) hypothesis.

The year-class strengths of several species of fish and invertebrates have been found to be correlated with temperature during the period of hatching and early development (Cushing and Dickson, 1976). Sutcliffe, Drinkwater, and Muir (1977), using catch data usually including 40 or more years, found that 10 of 17 species caught in the Gulf of Maine were significantly correlated ($P < 0.05$) with SST 2 to 8 years earlier. Adjusting for changes in fishing effort improved the correlations. Environmental variations were responsible for at least 50% (r^2) of the variations in the catch of most of these species. Dow (1977) found significant correlations ($P < 0.01$) with SST for catches of 24 species of fish and invertebrates caught off the coast of Maine. Eleven species were correlated with SST 2 to 8 years earlier, reflecting conditions at the time of hatching and early development. Values of r^2 ranged from 0.32 to 0.83, with a mean of 0.51. The remaining 13 species were correlated with SST during the same year, reflecting changes in catchability. Grainger (1978), using 80 years of data, found that short-term fluctuations in the catches of herring (*Clupea harengus*) off the west coast of Ireland were correlated with SST and salinity 3 to 4 years earlier. He suggested that during October to March, when the larvae are drifting with the currents, they are influenced by temperature and associated oceanic conditions. He emphasized that the effect of the environment on herring must be large if later it can be seen in such a crude index of abundance as annual catch. Bakun and Parrish (no date) have summarized the reported correlations between year-class strength of eight species of fish and Dungeness crab in the California Current region and environmental variables during the respective spawning seasons. The variable most frequently correlated was the upwelling index. Reviews of investigations of correlations of environmental variables and fish and shellfish from the Gulf of Alaska and the Bering Sea are given in Wooster (1983). Among these, Pearcy (1983) suggested a correlation between strong year classes of herring (*Clupea harengus pallasi*) and the occurrence of El Niño events.

Shepherd, Pope, and Cousens (1984) have listed many investigations of possible environmental factors in recruitment, such as temperature, salinity, wind, pressure gradients, upwelling, river discharge, stability of the water column, etc. Their Table 5 gives examples of r^2 from 14 investigations (only the highest value is given for each when more than one correlation was established). The values of r^2 range from 0.073 to 0.860, with a mean of 0.500, for correlations with 8 to 19 years of data. From their own analyses of sea temperature and recruitment of fish stocks in the North Sea, they concluded that there was strong evidence that recruitment and climate are related.

It is possible that the correlation of catch rates of skipjack recruits with WMIS is not through the dispersion of food organisms by wind mixing according to Lasker's (1975) stability hypothesis for northern anchovy larvae, but through the relation of WMIS with some other unknown process or condition which may influence survival. If increased predation of skipjack eggs and larvae occurs during years with stronger winds, it might explain the inverse correlation of skipjack cohort abundance and WMIS just as well as Lasker's (1975) stability hypothesis. In general, stronger winds cause greater mixing and upwelling of nutrients, resulting in increased primary production supporting greater numbers of herbivores, leading to increases in the numbers of carnivorous zooplankton and higher predators. Murphy (1961) suggested that, for the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) in the California Current region, the instantaneous mortality rate of the larvae caused by predation might vary by a factor as large as 20, judging from the variation in the abundance of zooplankton. Possibly, both food dispersal and predation, to the degree that they are controlled by WMIS, could explain its apparent effect on skipjack cohorts in the EPO (Section 4.324).

The fact that catches or CPUEs for many other species have been found to be correlated with environmental variables during the period of hatching and early development supports the proposition that WMIS, through associated oceanic variables, can influence the survival of the early stages of skipjack in the central Pacific. This influence must be large if it is detectable in the catch rate of recruits to the EPO fishery, in spite of variation in one or more of the five characteristics of skipjack required to have low variability (Section 3.1).

The hypothesis that survival of skipjack larvae and water-column stability are related is supported by the high correlation between the catch rate of recruits and WMIS. The hypothesis is not confirmed, however, because the process causing the correlation is not known. Experimental studies are required on the survival of skipjack larvae at sea and forage dispersal, predation, and transport of larvae out of optimal foraging areas. According to Shepherd, Pope, and Cousens (1984): "The final test should always be of forecasting skill on data not available when the analysis was made." An additional 15 to 25 years of data should be tested before concluding that the catch rate of skipjack recruits and WMIS are related. The fact that there is no inverse correlation between yellowfin recruits and WMI in part of the yellowfin spawning area (Anonymous, 1988) weakens the skipjack hypothesis, since tuna larvae of various species might be expected to respond to environmental variations in about the same manner. Both skipjack and yellowfin larvae generally are found above the thermocline (Klawe, 1963; Matsumoto and Skillman, 1984), so they might occupy nearly the same ecological niche in the areas where both occur together (west of 130°W).

5. SUMMARY

The catch per unit of effort is an index of apparent abundance of skipjack. Estimating effort, however, is difficult because of changes in the efficiency of the fleet, in types of schools fished, and in catchabilities. Purse-seine effort on skipjack was adjusted for changes in SSR, which was estimated to have increased by 39% between 1961 and 1984. However, effort was not adjusted for the effects of the increasing use of aircraft, changing school types, and varying catchabilities by season or area. Much of the logged effort directed primarily toward yellowfin was systematically eliminated by a method which retained most of the logged catch of skipjack.

Since no method has yet been developed for determining the ages of the skipjack caught, attempts were made to separate age groups by quarters of the year, according to length and growth rate. A linear growth rate of 24 cm/yr was used. The von Bertalanffy growth curve with $L_{\infty} = 86.0$ cm and $K = 0.79$ was also used, and the separation lengths within the range of lengths for most of the fish caught were similar to those for the linear growth rate. The separation lengths for the linear growth rate and for the vB curve fit the length-frequency data satisfactorily during the first three quarters of most years, but the fit is frequently poor in the last quarter. For 1971 and 1973 the fit is extremely poor in the first three quarters, and assigning ages for these years is highly questionable.

The abundance of skipjack larvae in the Pacific approximately doubled for every 1°C increase in SST from 23°C to a maximum around 29°C, and then generally decreased with further increases in SST. It is not known whether this apparent relationship is through direct or indirect effects on the spawners, the larvae, or both.

The annual logCPUE_u for skipjack from the international baitboat fishery for 1934–1960 was positively correlated with SSTA in the spawning area 18 months earlier and with year. The correlation with year may represent an unknown environmental variable correlated with year or an increase in the efficiency of finding and catching skipjack. Stepwise regression showed that year had the most effect and that SSTA significantly improved the correlation. Adequate data for WMIS corresponding to this period was not available for testing with logCPUE_u.

The annual $\log CR_{31+}$ for skipjack from purse seiners in the EPO for 1961–1984 was tested for correlation with SSTS, WMIS, SSTF, and year. The annual CR_{31+} was tested with CSIs and MCSI. Significant correlations were positive for SSTS, inverse for WMIS, and inverse for year. After multiplying P by five, WMIS and year remained significant. Stepwise regression showed WMIS to be the only significant environmental variable. The results were similar for $\log CR_{61+}$, with the exception that stepwise regression showed that WMIS was the primary significant variable and year was the secondary significant variable.

The annual $\log CPUE_{w3}'$ for skipjack from purse seiners in the 5° area off the Gulf of Guayaquil for 1961–1984 was tested for correlation with SSTS and WMIS, mean SST and the SST gradient in the fishing area, and year. The annual $CPUE_{w3}'$ was tested with CSIs and MCSI. Significant correlations were inverse for WMIS, inverse for the SST gradient, and inverse for year. After multiplying P by six only the SST gradient and year remained significant. Stepwise regression showed year to be the only significant variable; excluding year and retesting showed that the SST gradient was the only significant variable. $CPUE_{w3}'$ in this area was not significantly correlated with catches of skipjack in the surrounding areas, giving no indication that increased fishing effort in these areas caused the decrease in $CPUE_{w3}'$ in the Gulf of Guayaquil area after the 1960's.

The annual $\log CPUE_u$ for skipjack from the local Ecuadorian baitboat fishery was tested for correlation with SSTS and WMIS in the spawning area 18 months earlier, with SST in the fishing area, and with year. $CPUE_u$ was tested for correlation with CSIs and MCSI. For the 1957–1977 period when minimum annual effort was 500 days $\log CPUE_u$ was significantly and inversely correlated with WMIS; after multiplying P by five to compensate for the four environmental variables and year the correlations became non-significant. For the years when minimum effort was 250 and 1000 days the correlations between $\log CPUE_u$ and WMIS were not significant.

The hypotheses that El Niño events influence the apparent abundance of skipjack in some areas of the EPO is not supported by the results of these analyses.

ACKNOWLEDGEMENTS

The entire report was critically reviewed by Norman W. Bartoo, William H. Bayliff, Christofer H. Boggs, Patrice Cayré, Robert E. Kearney, and Robert W. Owen. Sections of the report were reviewed by David W.K. Au, John R. Calaprice, John R. Hunter, Pierre M. Kleiber, Yasunobu Matsuura, Patrick K. Tomlinson, and Paul E. Smith. Data were supplied by William H. Bayliff, Michael G. Hinton, Forrest R. Miller, Craig J. Orange, Richard G. Punsly, Gayle ver Steeg, Brian C. Weare, and Klaus Wyrtki. The writer is most grateful to these for their help, and particularly to William H. Bayliff and Patrick K. Tomlinson for suggestions and discussions.

SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

- * statistical significance at $0.01 < P < 0.05$
- ** statistical significance at $P < 0.01$
- 5° area 5° of latitude \times 5° of longitude
- AF_3 adjustment factor for fishing effort standardized to Class-3 days, based on the successful set ratio for all purse-seiner classes
- AF_6 adjustment factor for fishing effort, based on the successful set ratio for Class-6 purse seiners

age 0+	estimated age <12 months
age 1+	estimated age 12 to 24 months
age 2+	estimated age >24 months
C	coefficient of variation
CI ₃	concentration index based on effort standardised to Class-3 days
CI ₆	concentration index for Class-6 purse seiners
CPDF	catch per day's fishing
CPSS	catch per successful set
CPUE	catch per unit of effort
CPUE _u	unweighted catch per unit of effort for the local baitboat fishery of Ecuador
CPUE ₃ '	quarterly catch per unit of effort for purse-seiners in area S-05-080 with effort standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
CPUE ₆ '	quarterly catch per unit of effort for Class-6 purse seiners adjusted for changes in the successful set ratio
CPUE _{u3}	unweighted catch per unit of effort for baitboats and purse-seiners with effort standardized to Class-3 days
CPUE _{u3} '	unweighted catch per unit of effort for purse-seiners with effort standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
CPUE _{u6}	unweighted catch per unit of effort for Class-6 purse seiners
CPUE _{u6} '	unweighted catch per unit of effort for Class-6 purse seiners adjusted for changes in the successful set ratio
CPUE _{w3}	weighted catch per unit of effort for purse-seiners with effort standardized to Class-3 days
CPUE _{w3} '	weighted catch per unit of effort for purse-seiners with effort standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
CPUE _{w6}	weighted catch per unit of effort for Class-6 purse seiners
CPUE _{w6} '	weighted catch per unit of effort for Class-6 purse seiners adjusted for changes in the successful set ratio
CR ₃	age-specific catch rate based on effort standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
CR ₃₁₊	mean catch rate for purse-seiners of age-1+ fish based on effort standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
CR ₆₁₊	mean catch rate for purse-seiners of age-1+ fish based on Class-6 effort adjusted for changes in the successful set ratio
CSI	current-speed index for the North Equatorial Countercurrent
CSIs	plural of CSI
CYRA	Commission Yellowfin Regulatory Area
d	day
D	Durbin-Watson statistic for testing for autocorrelation
d.f.	degrees of freedom

EPO	eastern Pacific Ocean
EUC	Equatorial Undercurrent, also known as the Cromwell Current
f_3	fishing effort by purse seiners standardized to Class-3 days
f_3'	fishing effort by purse seiners standardized to Class-3 days adjusted for changes in the successful set ratio
f_3''	fishing effort by purse seiners standardised to Class-3 days used to estimate the age-specific catch rate
f_3'''	total estimated fishing effort in Class-3 purse-seiner days
f_6	fishing effort by Class-6 purse seiners
f_6'	fishing effort by Class-6 purse seiners adjusted for the successful set ratio
f_6''	fishing effort by Class-6 purse seiners used to estimate the age-specific catch rate
f_6'''	total estimated fishing effort in Class-6 purse-seiner days
IATTC	Inter-American Tropical Tuna Commission
K	growth coefficient in the von Bertalanffy growth function
kt	knot—nautical miles per hour
L_∞	asymptotic length in the von Bertalanffy growth function
LC	logged catch by all classes of purse seiners
LC ₆	logged catch by Class-6 purse seiners
MCSI	mean current-speed index for the North Equatorial Countercurrent
mo	month
N	estimated total number of an age group of skipjack in a quarter
NEC	North Equatorial Current
NECC	North Equatorial Countercurrent
NMFS	U.S. National Marine Fisheries Service
\bar{n}_m	the mean number of larvae captured per tow adjusted for the metabolic effect of temperature on growth
n.s.	not statistically significant ($P > 0.05$)
n/tow	number of skipjack larvae per plankton- or larval-net tow
n/10m ²	number of skipjack larvae per 10 m ² of ocean surface
n/10 ³ m ³	number of skipjack larvae per 1000 m ³ of water filtered
P	the probability of making a Type-1 error
p	the proportion of positive tows (capturing one or more larvae)
p.c.	personal communication
q	catchability coefficient
Q_{10}	the factor by which the metabolic rate increases for each 10°C increase in temperature
QI	quarterly interval
Qr	quarter of the year
R	coefficient of multiple correlation
R^2	coefficient of determination for multiple correlation

R/P	recruits per spawner
<i>r</i>	product-moment coefficient of correlation
<i>r</i> ²	coefficient of determination
<i>r</i> _s	Spearman's coefficient of correlation for ranks
<i>r</i> _s ²	coefficient of determination for ranks
<i>s</i>	standard deviation
SBH	subsurface horizontal tows of larval nets
SEC	South Equatorial Current
SECC	South Equatorial Countercurrent
SPC	South Pacific Commission
SSR	successful set ratio
SSRs	plural of SSR
SSR ₆	SSR for Class-6 vessels
SST	sea-surface temperature
SSTs	plural of SST
SSTA	SST anomaly for area 10°N-10°S, 180°-80°W
SSTF	sea-surface temperature in the 22.5° skipjack-fishing areas during the entire year
SSTF'	sea-surface temperature in the 22.5° skipjack-fishing areas during the first two quarters
SSTS	sea-surface temperature in the spawning area where SSTs >28°C
t	short tons
TC	total catch
vB	von Bertalanffy growth function
WMI	wind-mixing index
WMIs	plural of WMI
WMIS	wind-mixing index in the spawning area where SSTs >28°C
W'	total logged catch in tons for all gear-area-quarter strata with two or more samples
<i>x̄</i>	arithmetic mean
yr	year

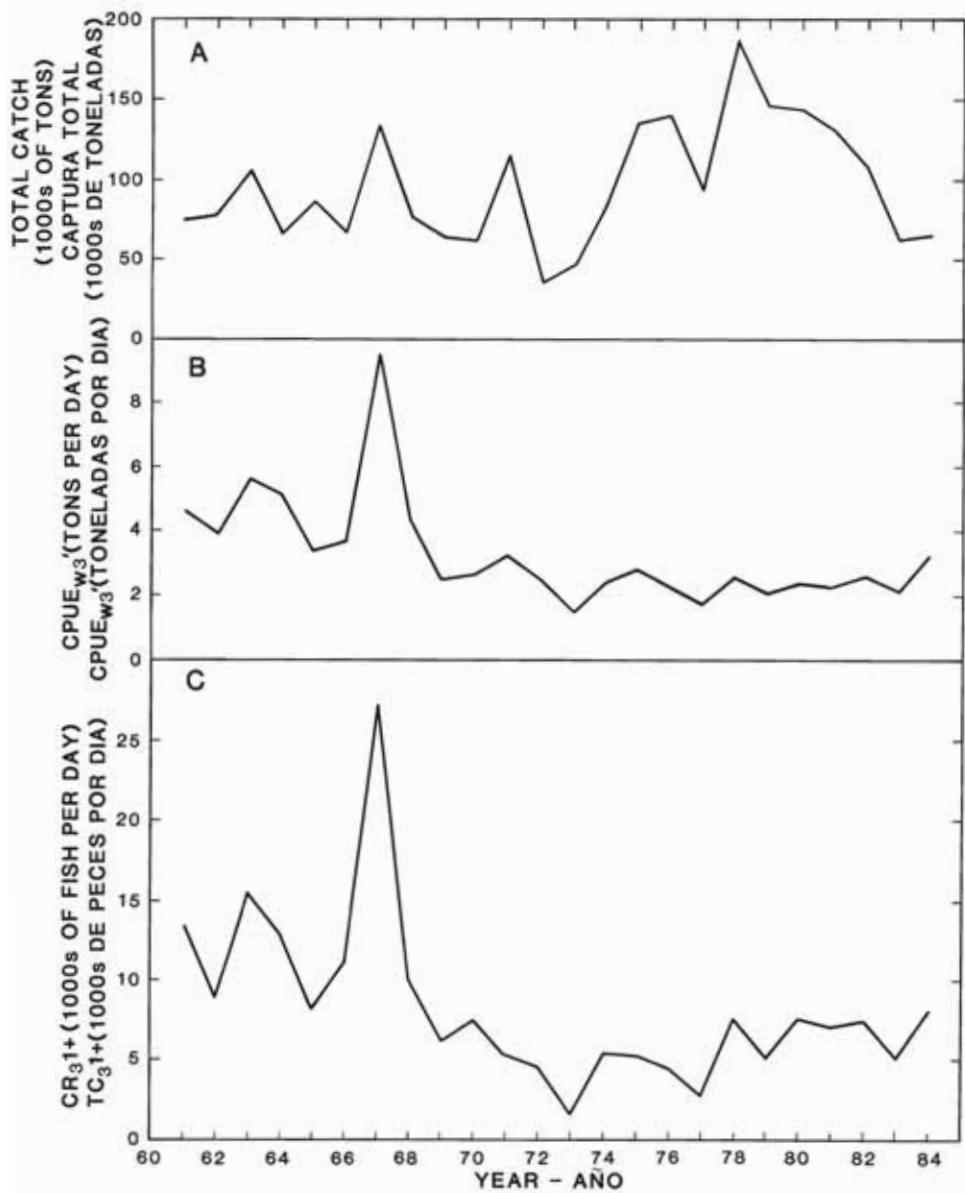


FIGURE 1. Statistics for skipjack in the EPO: A. Total catch by all gears; B. Catch per unit of effort ($CPUE_{w3'}$) for purse seiners; C. Catch rate of recruits (CR_{31+}) for purse seiners.

FIGURA 1. Estadísticas para el barrilete en el OPO: A. Captura total por todas artes; B. Captura por unidad de esfuerzo ($CPUE_{w3'}$) de barcos cerqueros; C. Tasa de captura de reclutas (TC_{31+}) de barcos cerqueros.

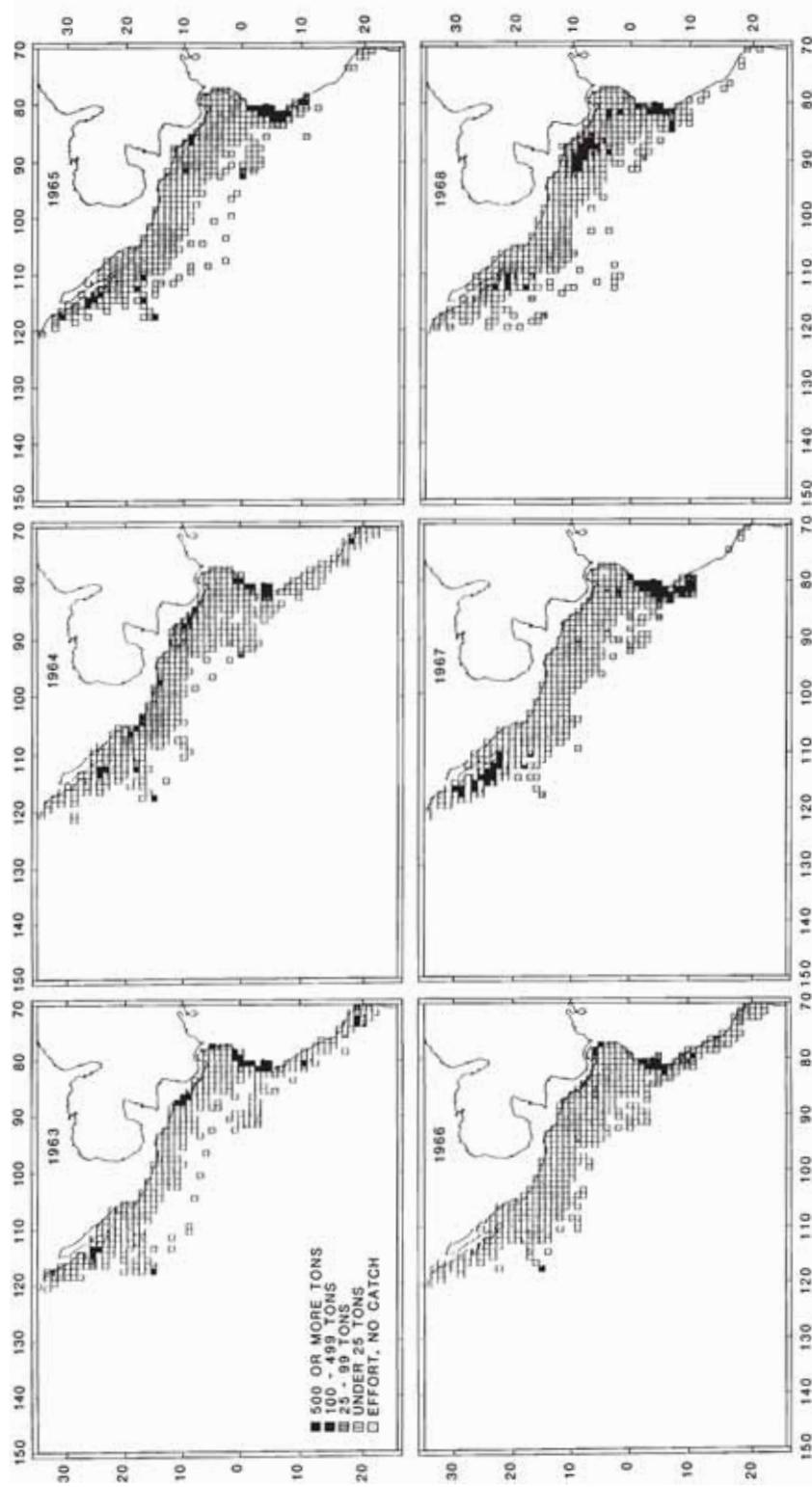


FIGURE 2. Catches of skipjack, 1963-1984, by 1° areas for all available purse-seine trips with adequate logbook data.
 FIGURA 2. Capturas de barrilete, 1963-1984, por zonas de 1° de todos los viajes disponibles de barcos cerqueros con datos de bitácora adecuados.

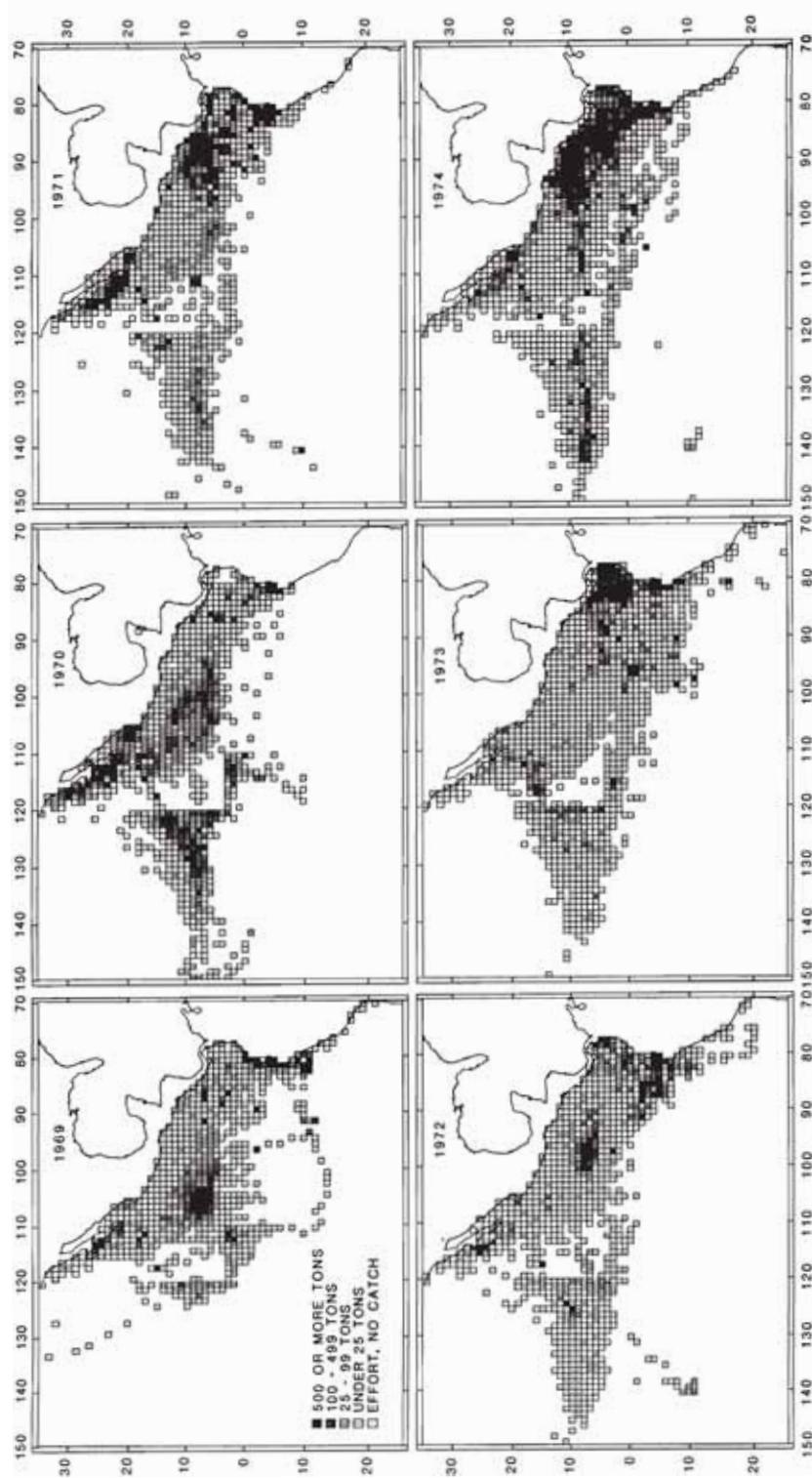


FIGURE 2. (continued).
FIGURA 2. (continuación).

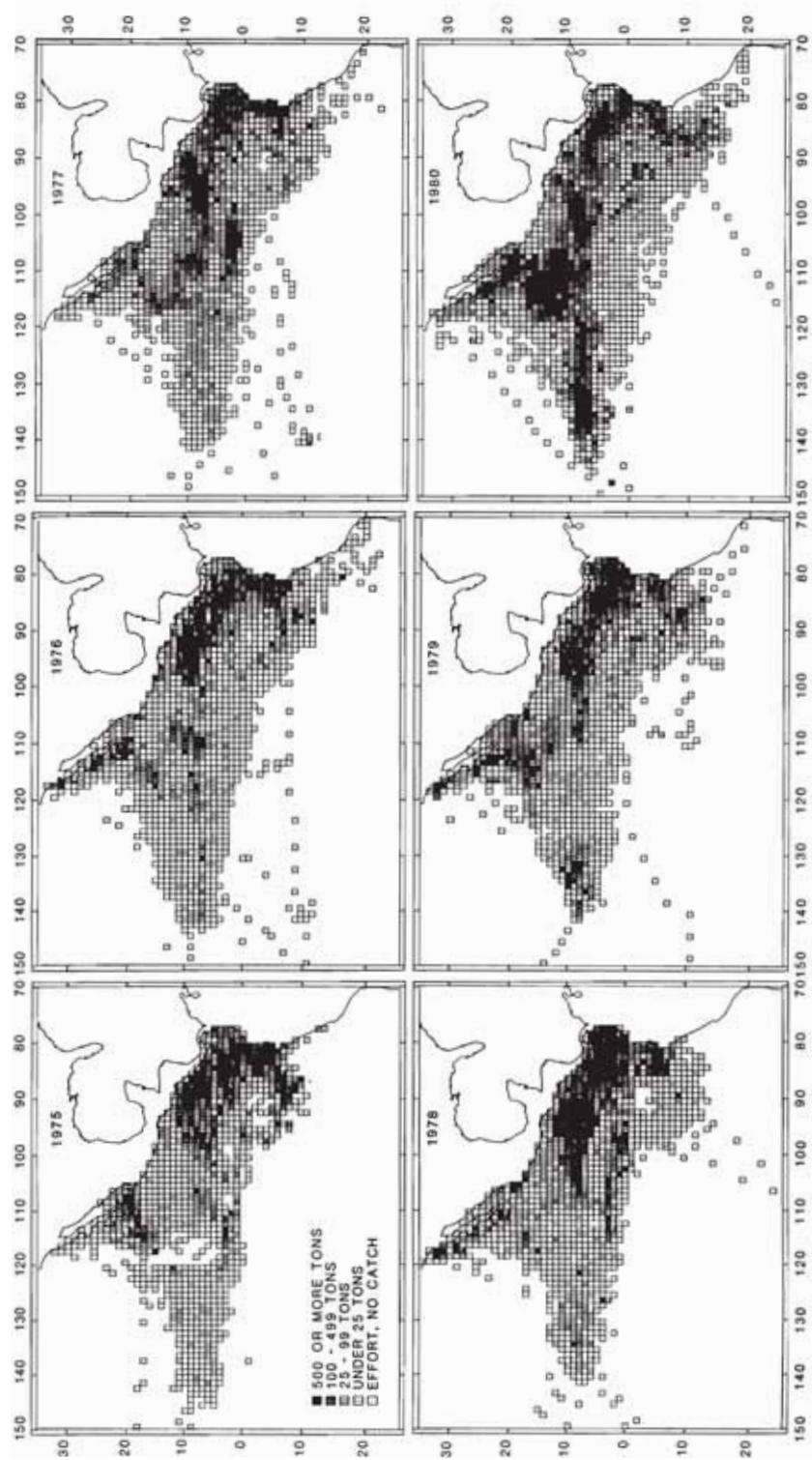


FIGURE 2. (continued).

FIGURA 2. (continuación).

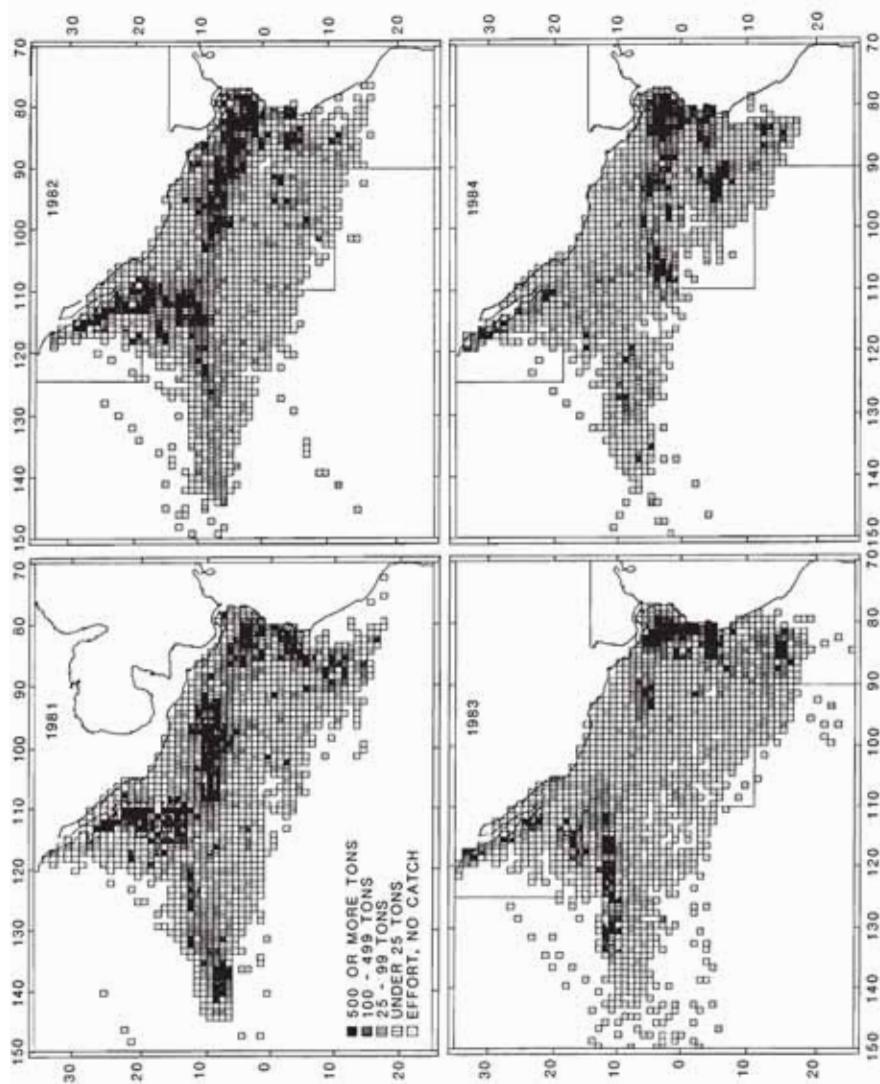


FIGURE 2. (continued).
FIGURA 2. (continuación).

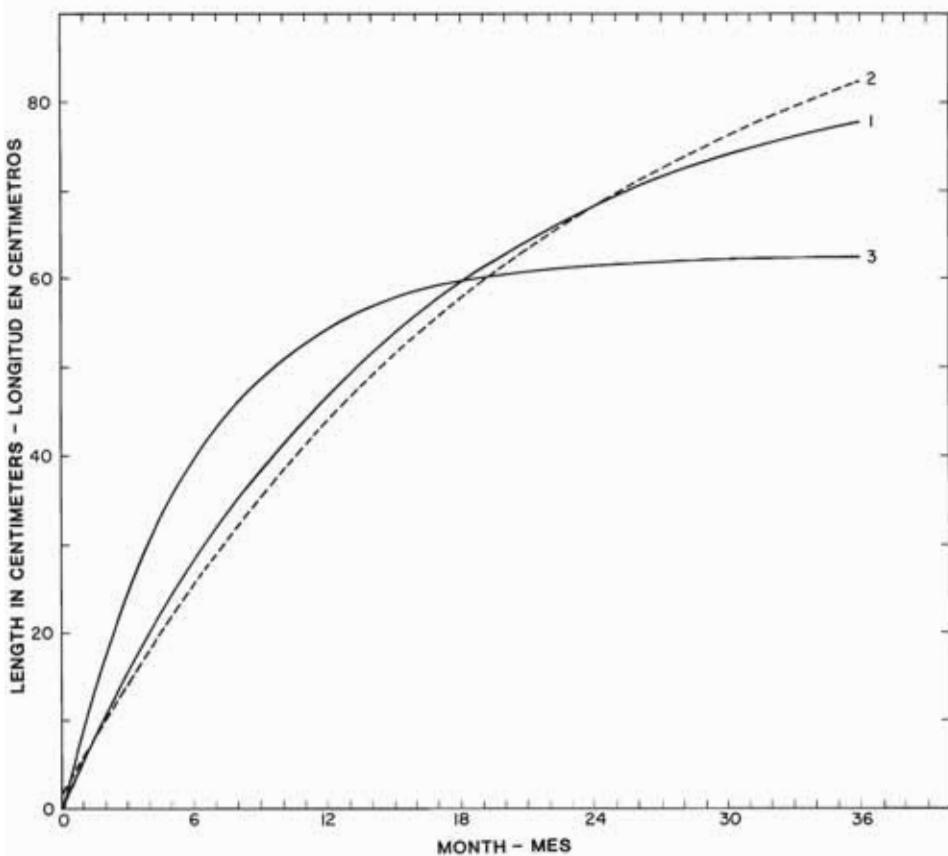


FIGURE 3. Von Bertalanffy growth curves for skipjack: 1) from tagging data in the EPO from Bayliff (1988) with $L_{\infty} = 84.6$ cm and $K = 0.829$; 2) from otolith data from the central Pacific from Uchiyama and Struhsaker (1981) with $L_{\infty} = 102.0$ cm, $K = 0.55$, and $t_0 = -0.02$ yr; and 3) from tagging data from the SPC area from Kearney, Sibert, and Lawson (1983) with $L_{\infty} = 62.5$ cm and $K = 2.00$.

FIGURA 3. Curvas de crecimiento de von Bertalanffy para el barrilete: 1) a partir de datos de marcado del OPO de Bayliff (1988), con $L_{\infty} = 84.6$ cm y $K = 0.829$; 2) a partir de datos de otolitos del Pacífico central de Uchiyama y Struhsaker (1981), con $L_{\infty} = 102.0$ cm, $K = 0.55$ y $t_0 = -0.02$ año; y 3) a partir de datos de marcado del área del SPC de Kearney, Sibert, y Lawson (1983), con $L_{\infty} = 62.5$ cm y $K = 2.00$.

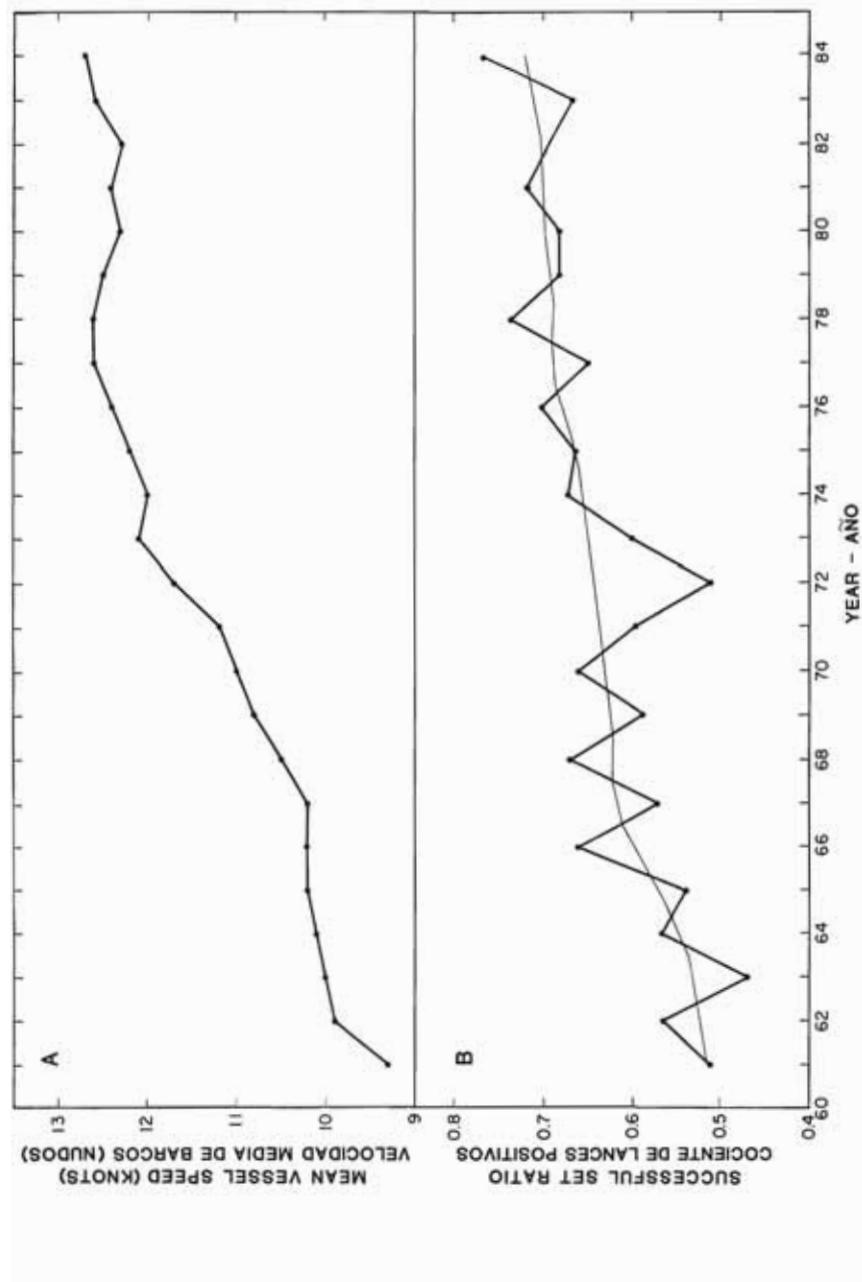


FIGURE 4. A. Mean nominal speed of purse seiners. B. SSR on skipjack (heavy line), and trend line for SSR on skipjack (light line). FIGURA 4. A. Velocidad media nominal de barcos arrastreros. B. SSR sobre barriles (línea gruesa), y línea de tendencia de SSR sobre barriles (línea delgada).

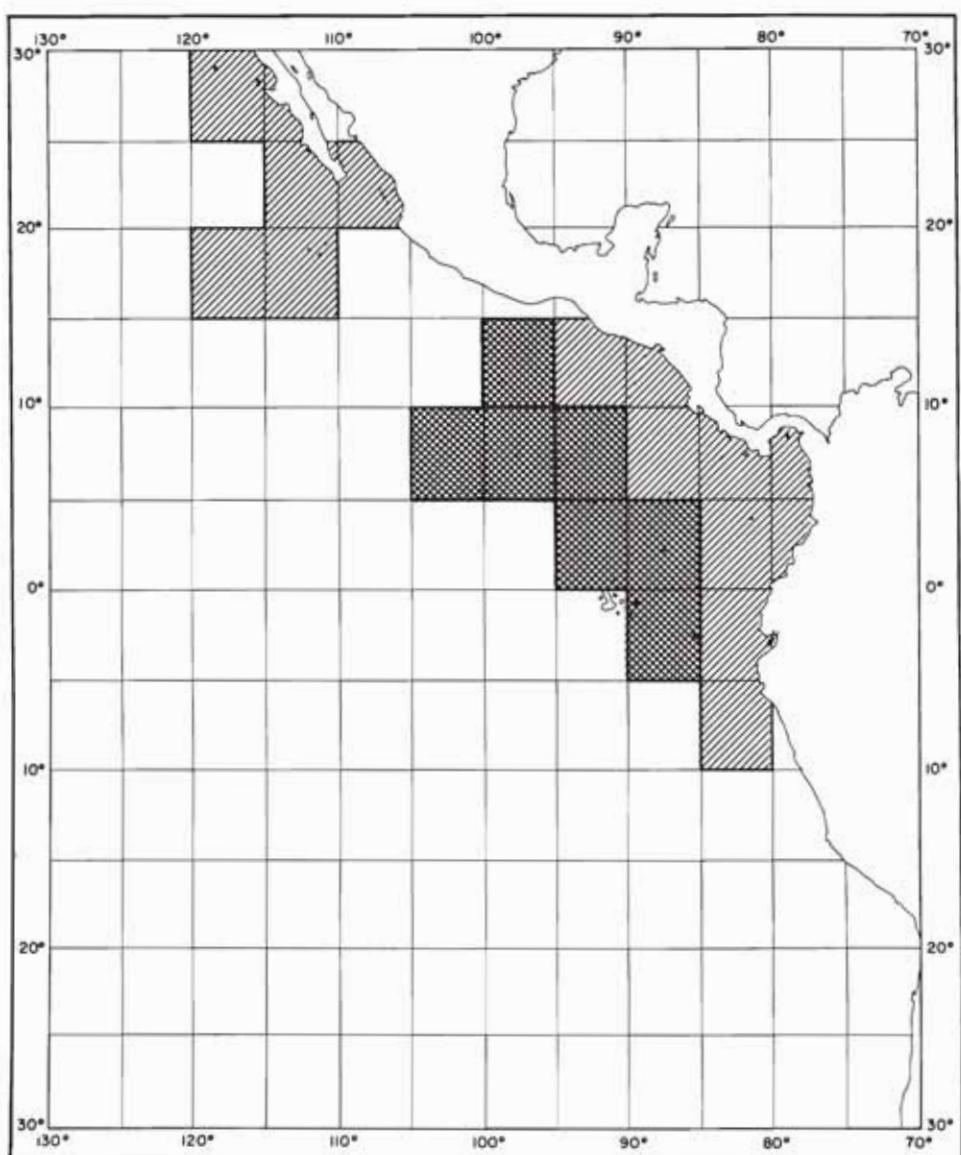


FIGURE 5. The 15 principal 5° areas for skipjack fishing during 1961–1968 (hatched) and the 7 additional principal areas during 1969–1984 (cross-hatched).

FIGURA 5. Las 15 principales zonas de 5° de pesca de barrilete durante 1961–1968 (sombreadas) y las 7 zonas principales adicionales durante 1969–1984 (dblemente sombreadas).

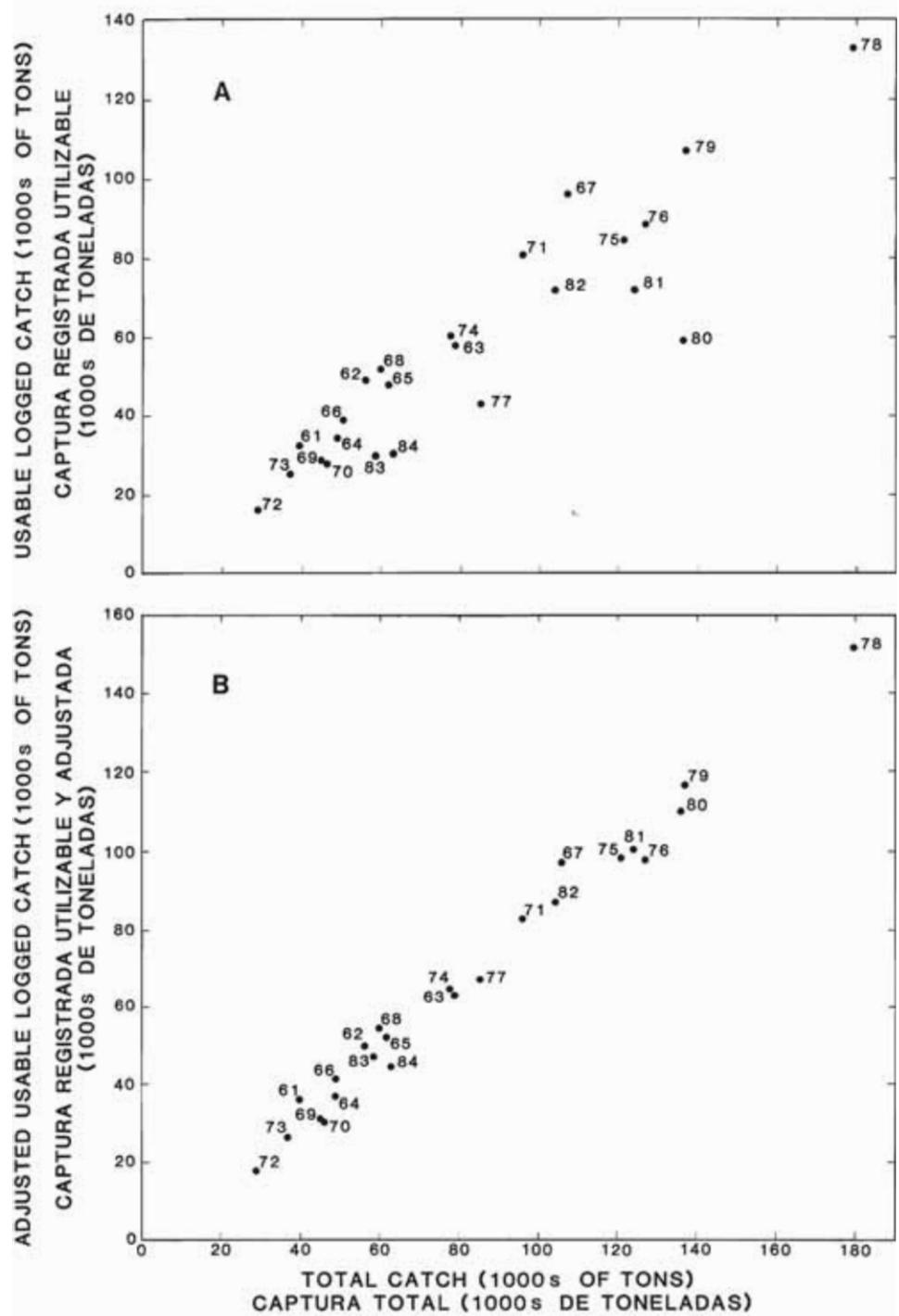


FIGURE 6. A. Plots of usable logged catch of skipjack in the 22+ areas *versus* total catch. B. Plots of adjusted usable logged catch in 22+ areas *versus* total catch.

FIGURA 6. A. Gráficos de capturas de barrilete utilizables registradas en las 22+ zonas *versus* captura total. B. Gráficos de capturas utilizables registradas ajustadas en las 22+ zonas *versus* captura total.

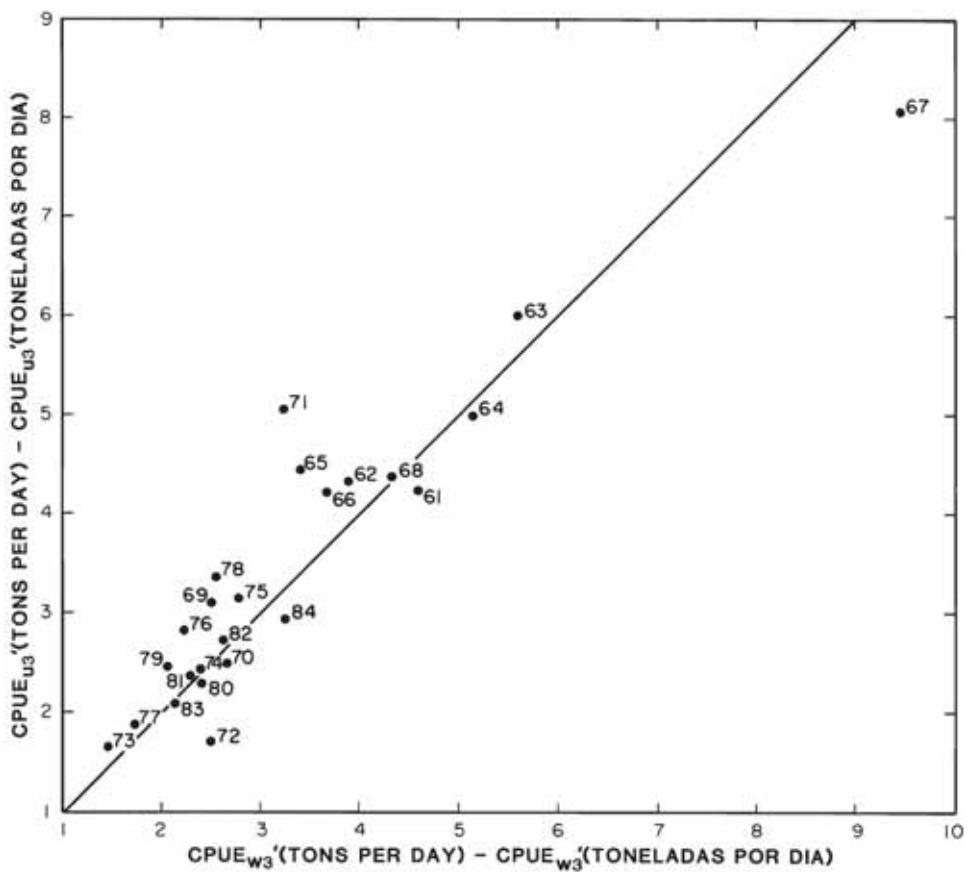


FIGURE 7. Plots of skipjack CPUE_{u3'} versus CPUE_{w3'} for purse seiners. The line represents a 1:1 ratio.

FIGURA 7. Gráficos de la CPUE_{u3'} de barrilete versus CPUE_{w3'} de barcos cerqueros. La línea representa un cociente de 1:1.

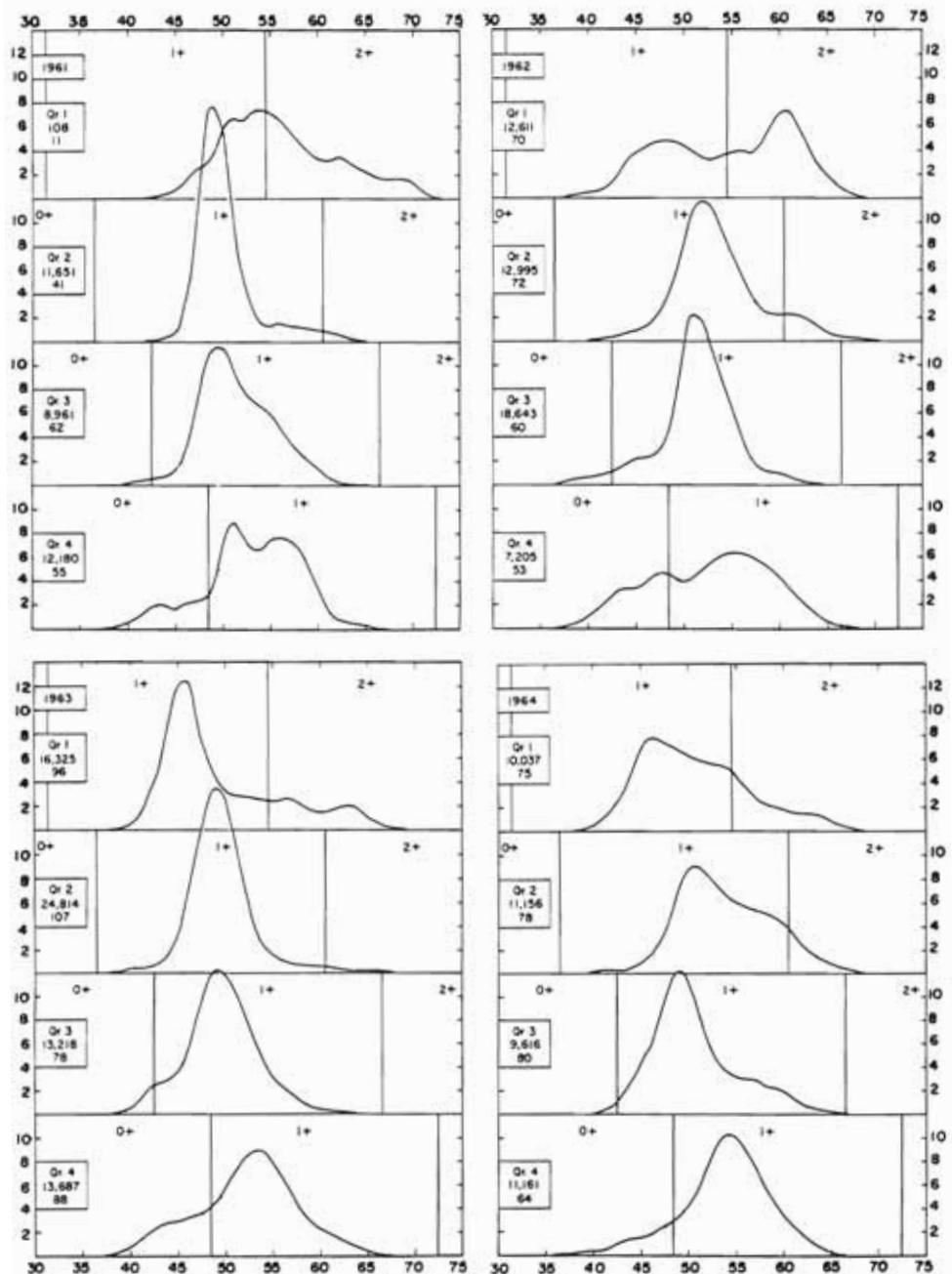


FIGURE 8. Length-frequency distributions by quarters for skipjack caught by purse seiners. Upper figures in boxes indicate catch in tons, and lower figures indicate number of samples. Vertical lines are separation lengths for age groups 0+, 1+, and 2+.

FIGURA 8. Distribuciones de frecuencia de longitud, por trimestre, de barrilete capturado con artes cerqueras. Las cifras superiores en las casillas indican capturas en toneladas, y las inferiores el número de muestras. Las líneas verticales representan las longitudes de separación de los grupos de edad 0+, 1+, y 2+.

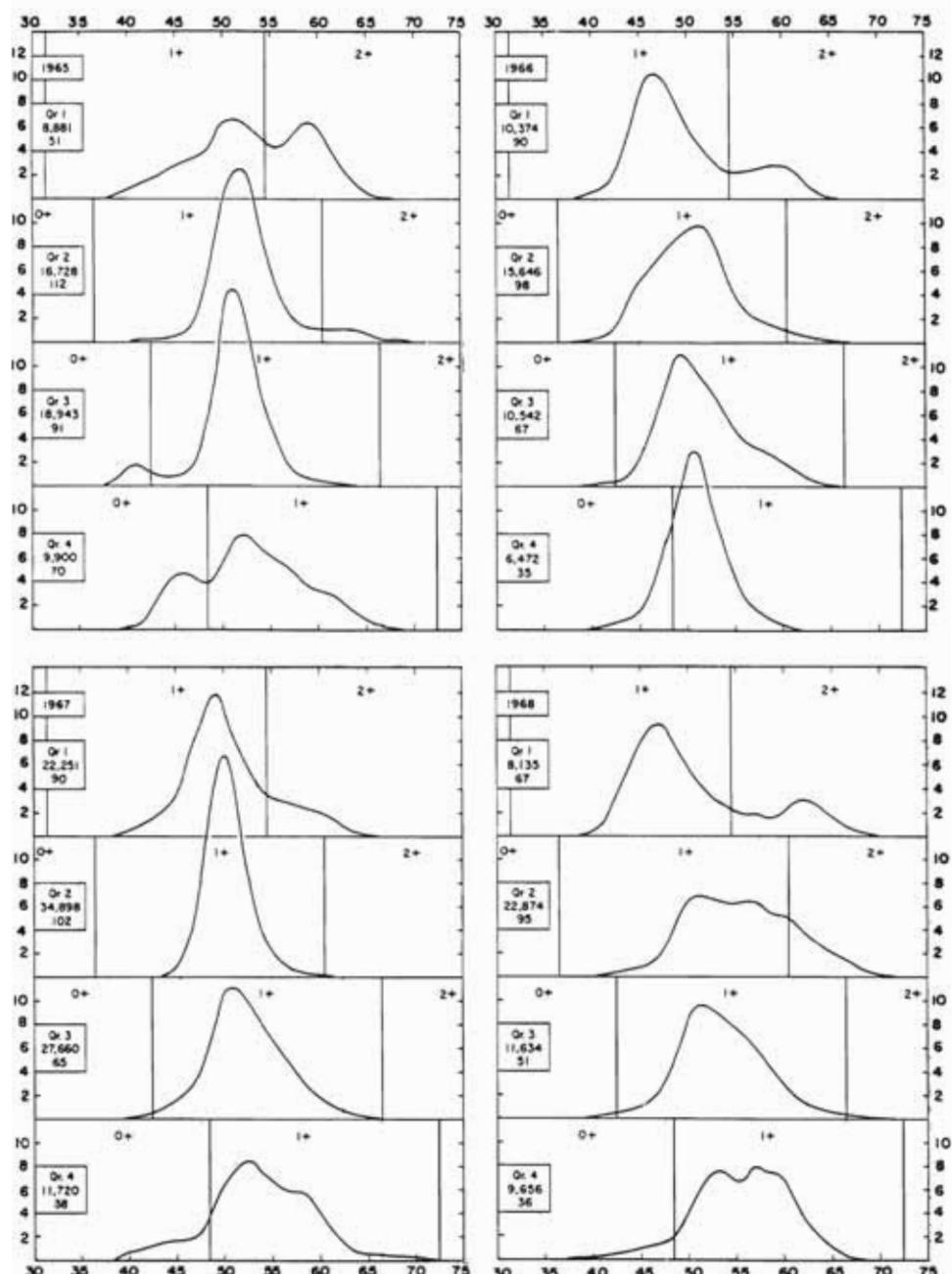


FIGURE 8. (continued).

FIGURA 8. (continuación).

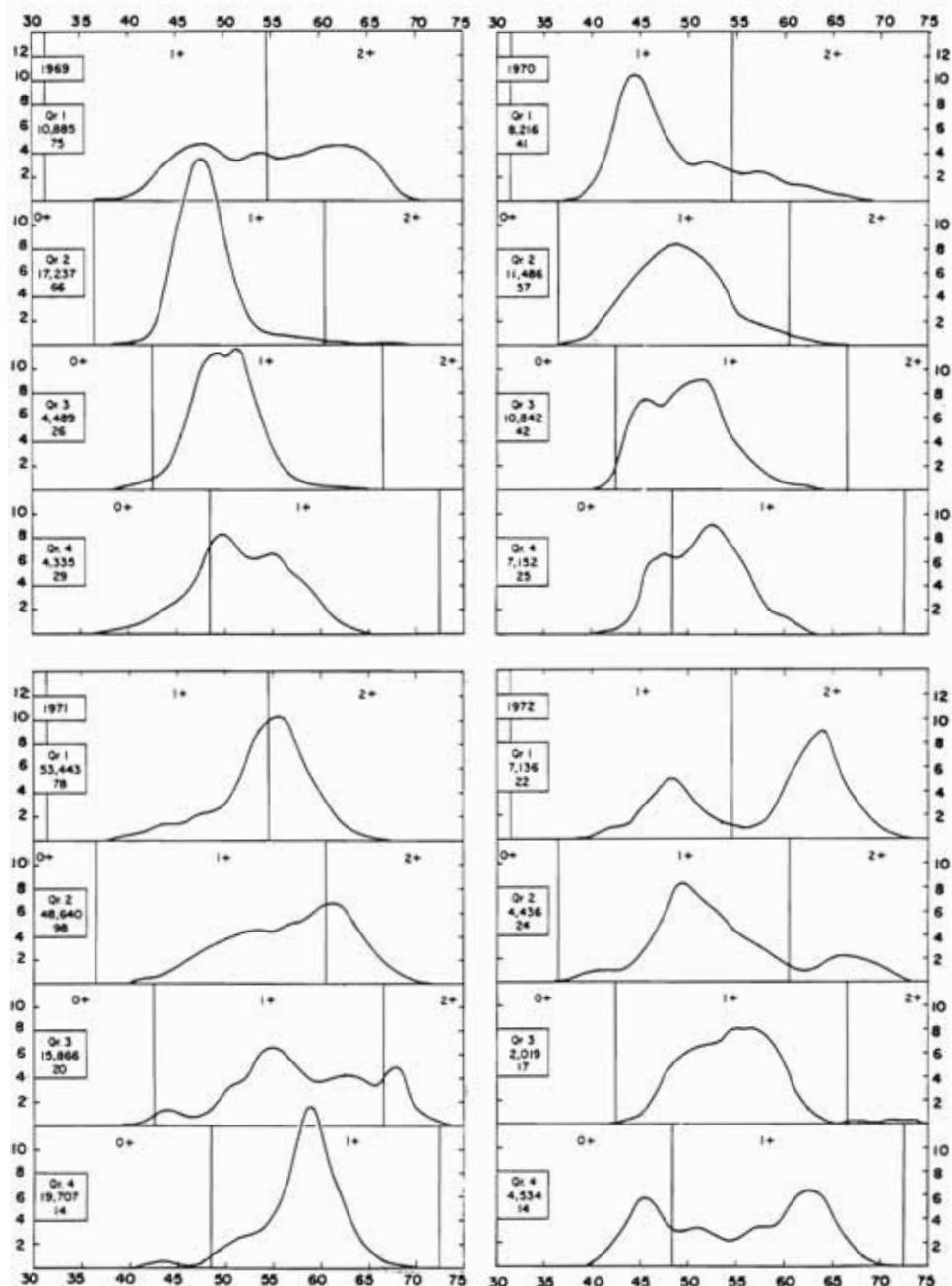


FIGURE 8. (continued).

FIGURA 8. (continuación).

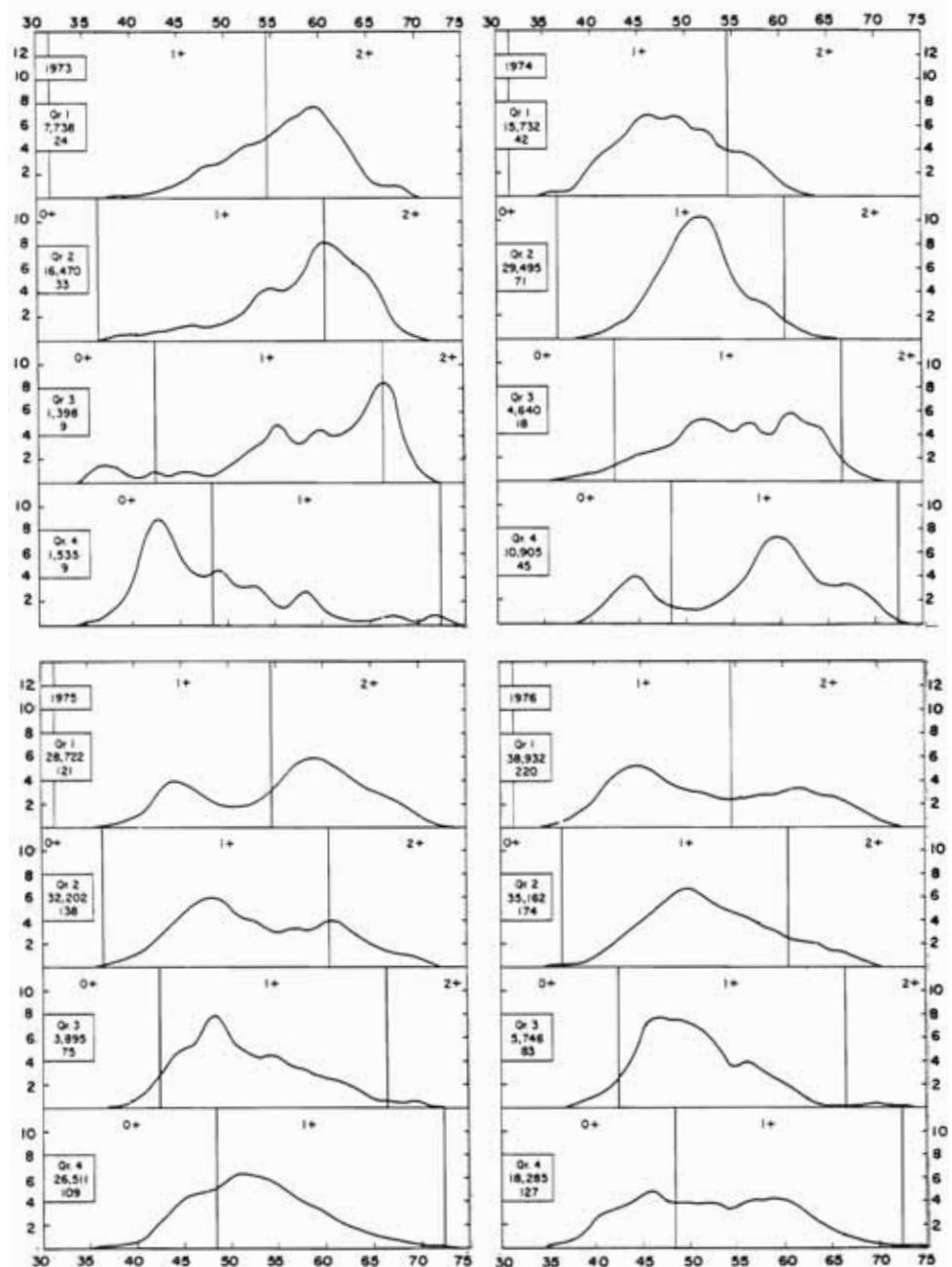


FIGURE 8. (continued).

FIGURA 8. (continuación).

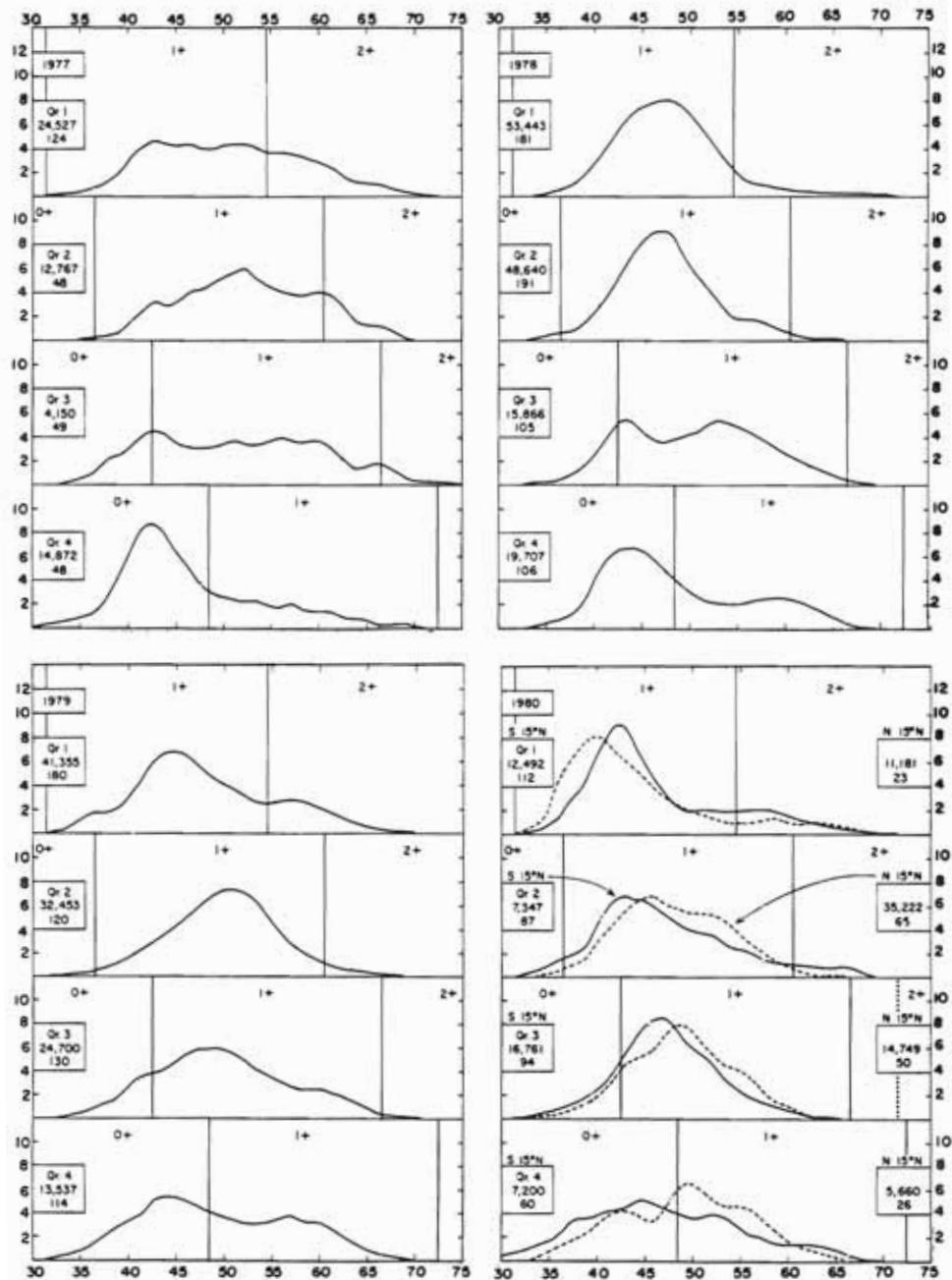


FIGURE 8. (continued).

FIGURA 8. (continuación).

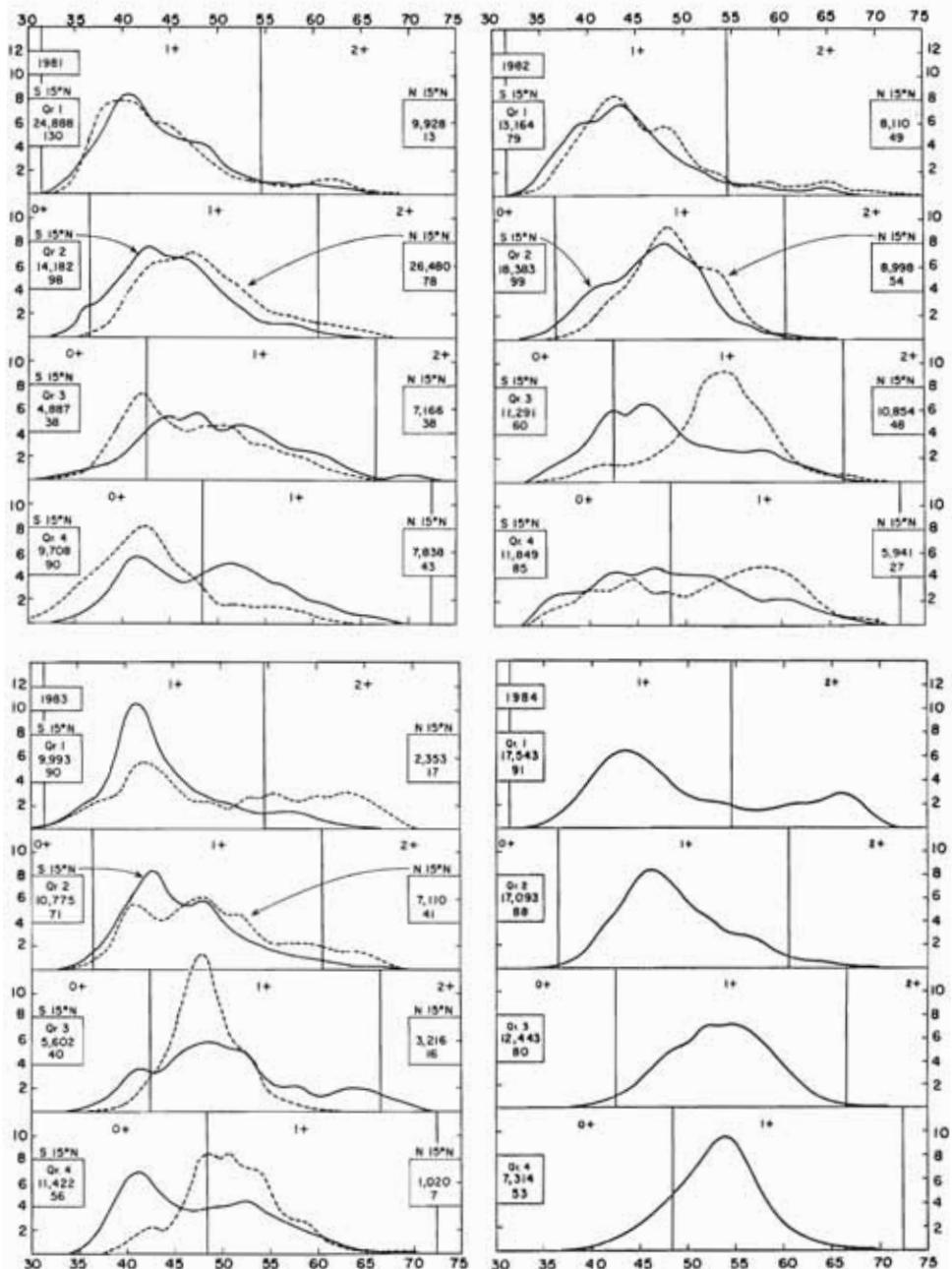


FIGURE 8. (continued).

FIGURA 8. (continuación).

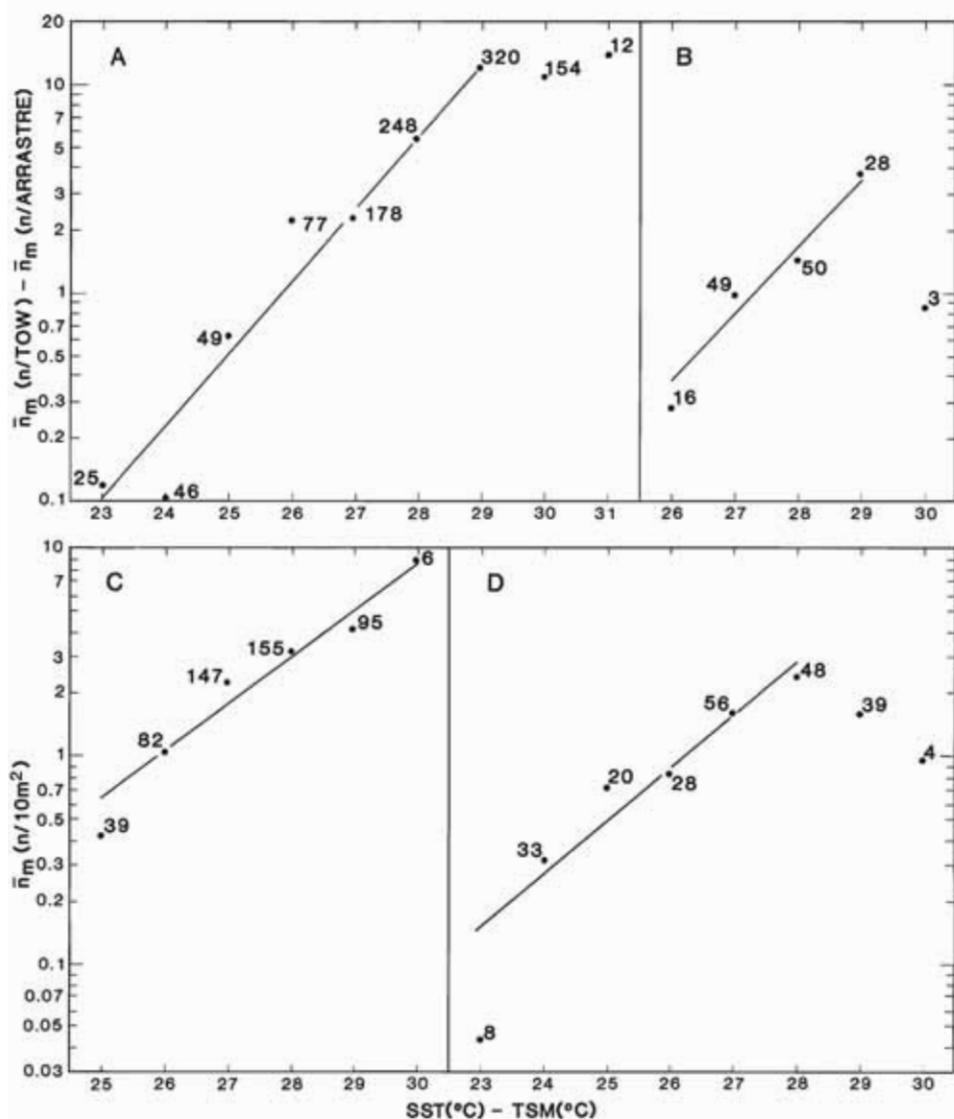


FIGURE 9. Plots of \bar{n}_m for skipjack larvae versus SST: A. *Shunyo Maru*, western Pacific, SBH (20–30 m); B. *Shunyo Maru*, central Pacific, SBH (20–30 m); C. NMFS Honolulu, central Pacific, oblique tows combined; and D. Equalant I, II, Atlantic, oblique tows combined.

FIGURA 9. Gráficos de \bar{n}_m de larvas de barrilete versus TSM: A. *Shunyo Maru*, Pacífico occidental, AHS (20–30m); B. *Shunyo Maru*, Pacífico central, AHS (20–30 m); C. NMFS Honolulu, Pacífico central, arrastres oblicuos combinados; y D. Equalant I, II, Atlántico, arrastres oblicuos combinados.

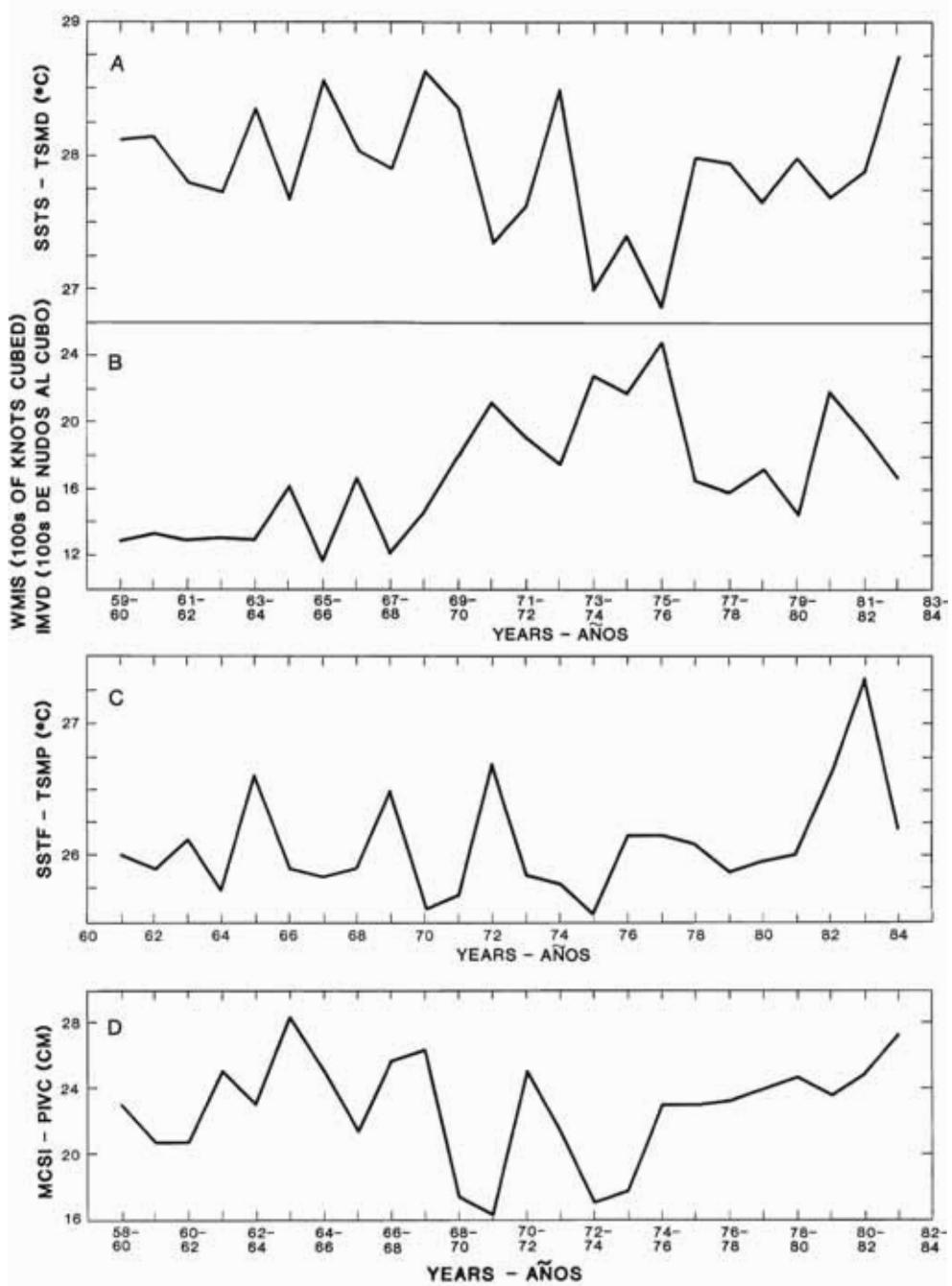
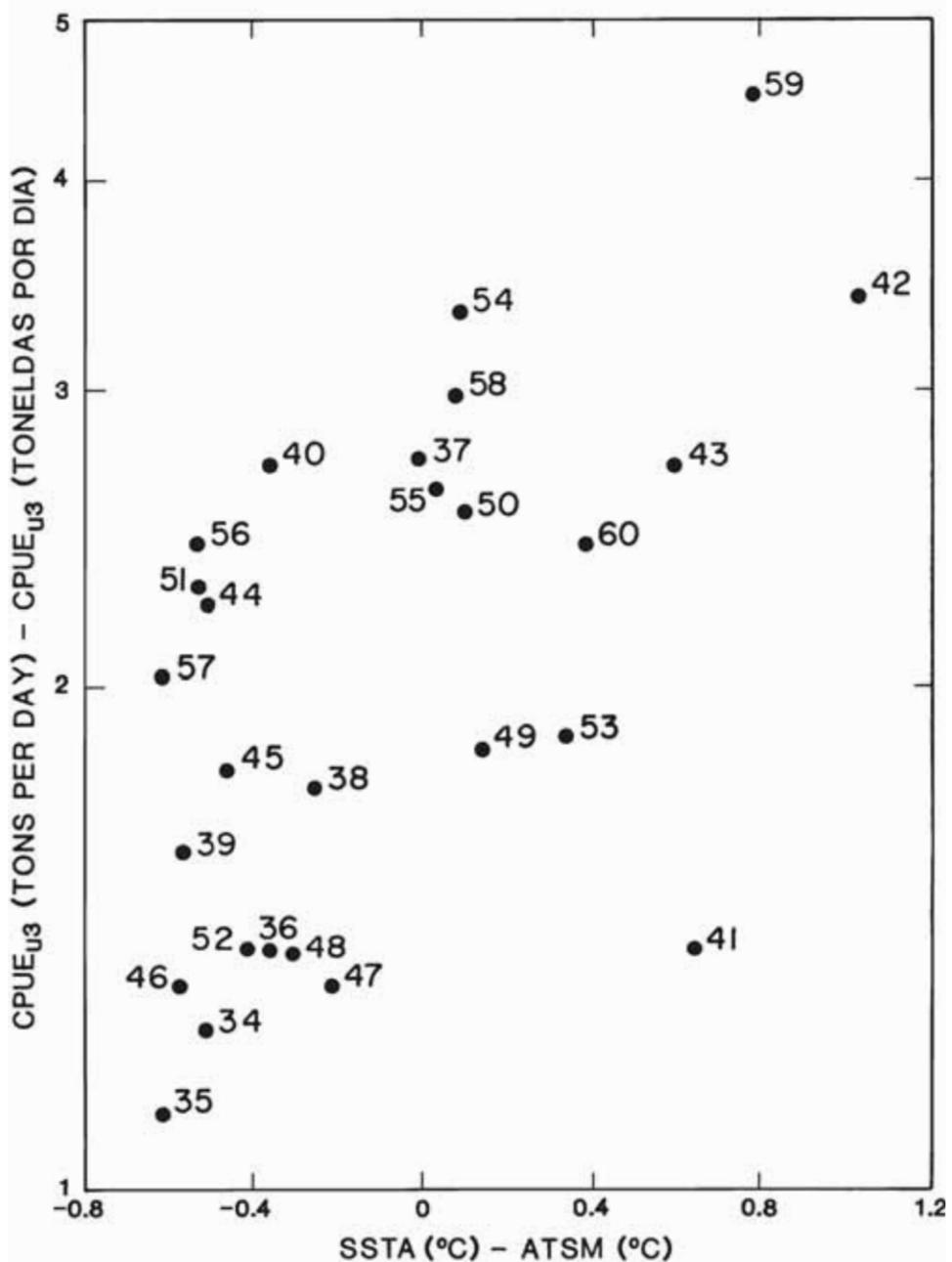


FIGURE 10. SSTS, WMIS, SSTF, and MCSL.

FIGURA 10. TSMD, IMVD, TSMP, y PIVC.

FIGURE 11. Plots of skipjack CPUE_{u3} for baitboats, 1934–1960, versus SSTA.FIGURA 11. Gráficos de la CPUE_{u3} de barcos de carnada, 1934–1960, versus ATSM.

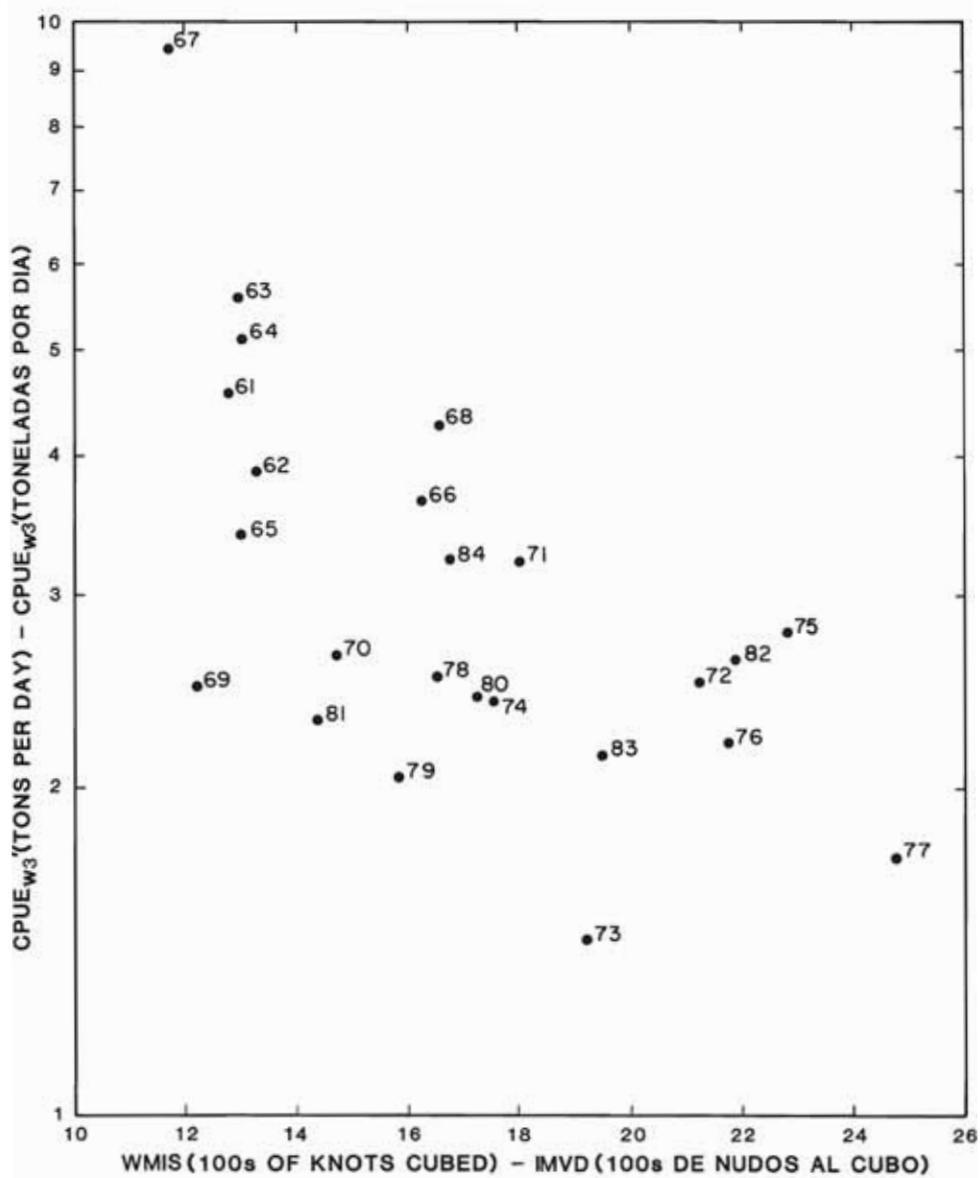
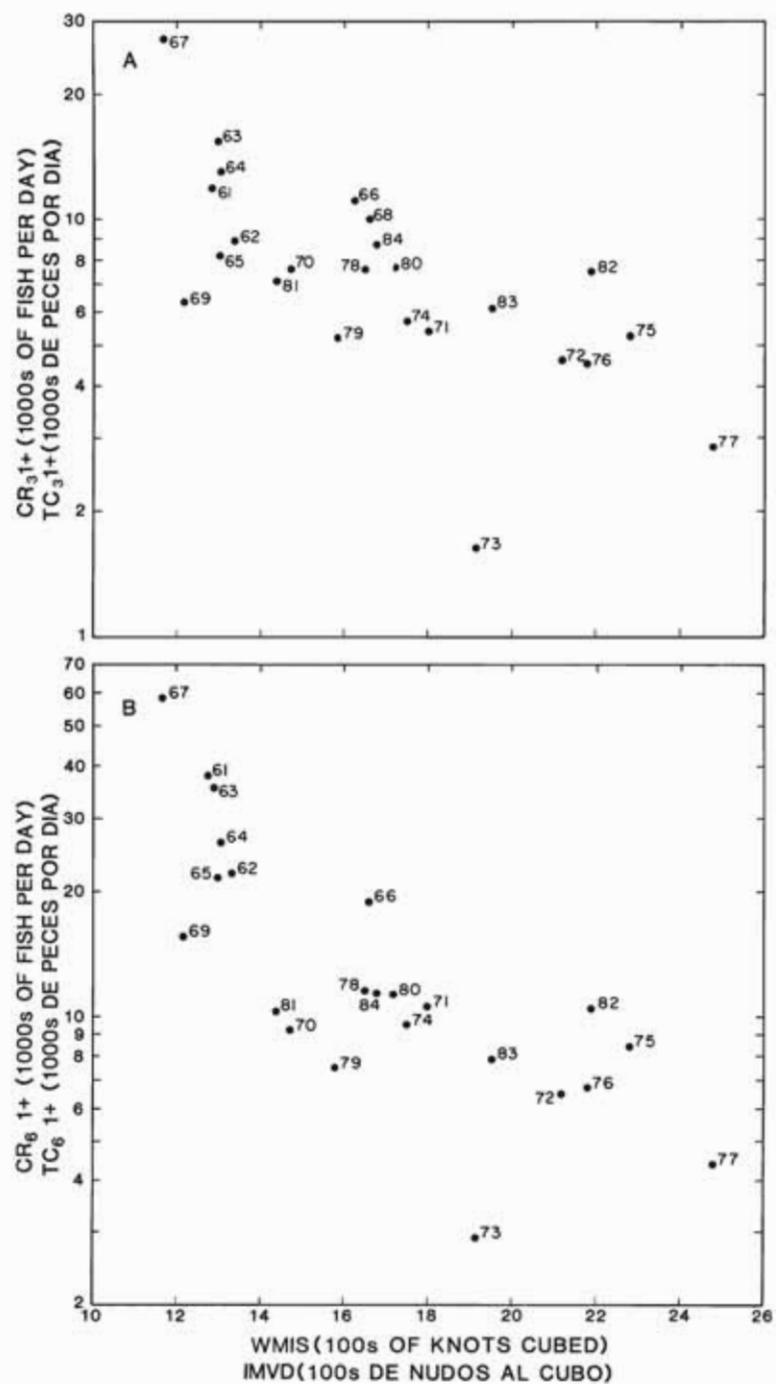


FIGURE 12. Plots of skipjack CPUE_{w3'} for purse seiners, 1961–1984, versus WMIS.

FIGURA 12. Gráficos de la CPUE_{w3'} de barcos cerqueros, 1961–1984, versus IMVD.

FIGURE 13. Plots of skipjack CR₃₁₊ (A) and CR₆₁₊ (B) for purse seiners *versus* WMIS.FIGURA 13. Gráficos de la TC₃₁₊ (A) y TC₆₁₊ (B) de barrilete de barcos cerqueros *versus* IMVD.

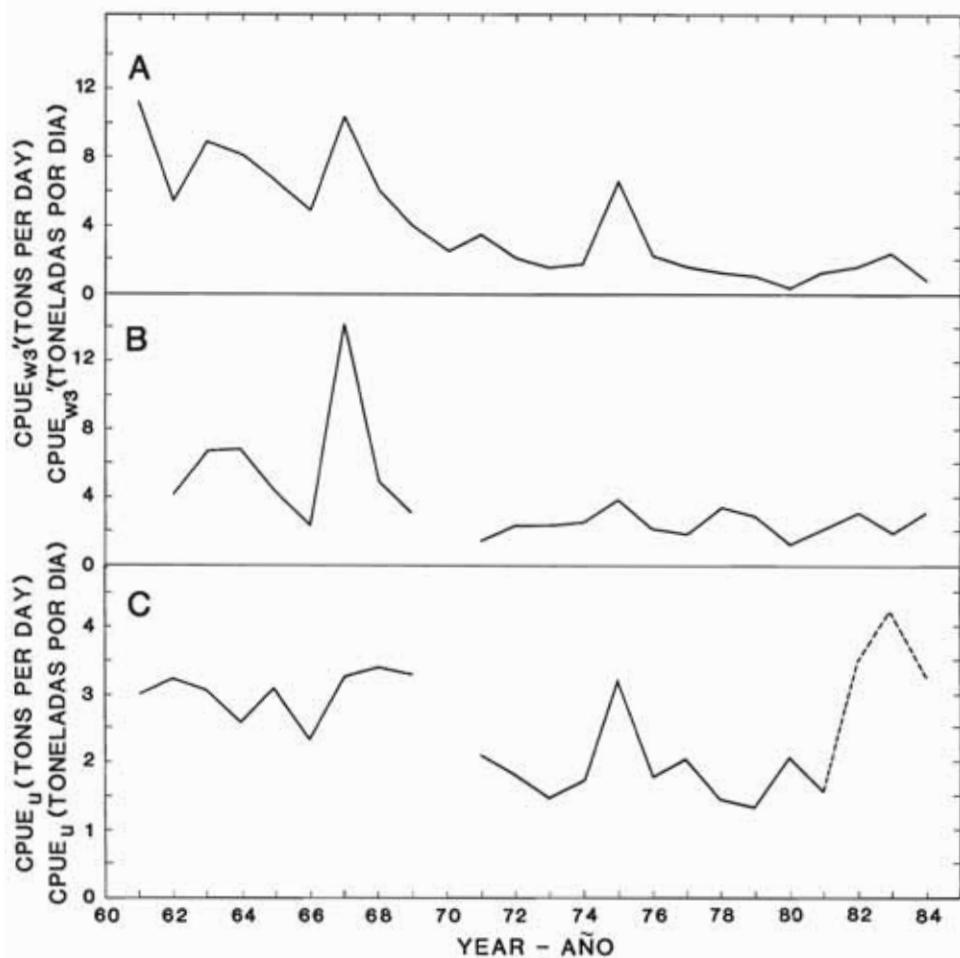


FIGURE 14. A. Skipjack CPUE_{w3'} for purse seiners for area S-05-080. B. Skipjack CPUE_{w3'} for purse seiners in the six 5° areas surrounding S-05-080. C. Skipjack CPUE_u for the local Ecuadorian baitboat fishery.

FIGURA 14. A. CPUE_{w3'} de barrilete de barcos cerqueros en la zona S-05-080. B. CPUE_{w3'} de barrilete de barcos cerqueros en las seis zonas de 5° alrededor de S-05-080. C. CPUE_u de la pesquería de carnada local ecuatoriana.

TABLE 1. Number of purse seiners fishing in the EPO by size class according to capacity in short tons, percentage of Class-6 vessels, and capacity of all classes.
 TABLA 1. Número de barcos cerco pescando en el OPO, por clase de arqueo, en capacidad en toneladas cortas, porcentaje de barcos de la clase 6, y capacidad de todas las clases.

Year-Año	Size class Clase de arqueo						Capacity Capacidad			
	1	2	3	4	5	6				
1961	0	3	51	41	20	9	124	7.3	29,514	238
1962	0	2	46	41	28	12	129	9.3	33,615	261
1963	1	8	44	41	31	18	143	12.6	40,079	280
1964	0	2	39	46	29	20	136	14.7	40,649	299
1965	1	12	39	43	29	22	146	15.1	42,283	290
1966	0	0	34	39	32	21	126	16.7	39,869	316
1967	0	2	30	37	30	24	123	19.5	40,331	328
1968	1	11	26	34	30	39	141	27.7	52,254	371
1969	0	7	29	35	29	50	150	33.3	57,658	384
1970	0	13	24	33	27	65	162	40.1	67,508	417
1971	0	16	26	32	27	84	185	45.4	88,770	480
1972	1	22	22	34	25	102	206	49.5	112,361	545
1973	1	16	24	39	16	120	216	55.6	131,910	611
1974	0	19	27	37	15	132	230	57.5	146,990	639
1975	4	24	33	25	17	146	249	58.6	163,766	658
1976	0	24	27	25	16	158	250	63.2	176,469	706
1977	0	20	32	19	18	161	250	64.4	178,813	715
1978	0	24	37	25	20	156	262	59.5	180,781	690
1979	2	27	34	25	22	158	268	59.0	183,673	685
1980	0	17	32	25	20	164	258	63.6	184,647	716
1981	1	20	25	20	16	165	247	66.8	183,729	744
1982	1	22	16	16	13	153	221	69.2	167,780	759
1983	8	26	20	14	10	121	199	60.8	137,842	693
1984	3	27	16	9	6	104	165	63.0	113,168	686
1985	4	22	18	10	6	115	175	65.7	127,272	727
1986	5	19	19	9	5	108	165	65.5	122,564	743
1987	2	16	18	8	5	128	177	72.3	143,765	812

TABLE 2. Growth rates of skipjack tagged in the EPO by length categories at release (from Bayliff, 1988). The 40-cm length category includes fish from 37.5 to 42.4 cm in length, the 45-cm category, from 42.5 to 47.4 cm, etc.

TABLA 2. Tasa de crecimiento de barriletes marcados en el OPO, por categoría de longitud de liberación (de Bayliff, 1988). La categoría de 40 cm incluye peces desde 37.5 hasta 42.4 cm, la de 45 cm desde 42.5 hasta 47.4 cm, etc.

Days at liberty Días en libertad	Length category Categoría de longitud	Number of fish Número de peces	Growth rate	
			cm	mm/day mm/día
31-180	40	48	1.2430	45.4
	45	205	0.7205	26.3
	50	271	0.6591	24.1
	55	84	0.3876	14.1
	60	18	0.2440	8.9
	65	14	0.4252	15.5
181-365	45	14	0.8982	32.8
	50	11	0.6996	25.6
31-365	45	219	0.7319	26.7
	50	282	0.6607	24.1
	55	84	0.3876	14.1
45-55	Unweighted mean - Promedio no ponderando			21.6

TABLE 3. Average nominal speed for purse seiners of all size classes (Clases 1–6), successful set ratios (SSR and SSR_6) on skipjack for non-porpoise sets, and adjustment factors (AF_3 and AF_6) for effort.

TABLA 3. Velocidad media nominal de barcos cerqueros de todas clases de arqueo (Clases 1–6), cocientes de lances positivos (CLP y CLP_6) sobre barrilete (excluidos lances sobre delfines), y factores de ajuste (FA_3 y FA_6) para el esfuerzo.

Year Año	Classes—Clases 1–6				Class—Clase 6		
	Speed (knots) Velocidad (nudos)	SSR CLP	SSR trend Tendencia del CLP	AF_3 FA_3	SSR_6 CLP_6	SSR_6 trend Tendencia del CLP_6	AF_6 FA_6
1961	9.3	0.513	0.518	1.00	0.487	0.487	1.00
1962	9.9	0.566	0.524	1.01	0.579	0.497	1.02
1963	10.0	0.470	0.532	1.03	0.441	0.510	1.05
1964	10.1	0.565	0.546	1.05	0.526	0.523	1.07
1965	10.2	0.538	0.570	1.10	0.497	0.548	1.13
1966	10.2	0.660	0.596	1.15	0.676	0.574	1.18
1967	10.2	0.570	0.615	1.19	0.540	0.596	1.22
1968	10.5	0.668	0.621	1.20	0.636	0.610	1.25
1969	10.8	0.587	0.624	1.21	0.573	0.617	1.27
1970	11.0	0.659	0.630	1.22	0.704	0.619	1.27
1971	11.2	0.594	0.637	1.23	0.588	0.622	1.28
1972	11.7	0.510	0.643	1.24	0.444	0.627	1.29
1973	12.1	0.598	0.650	1.25	0.568	0.633	1.30
1974	12.0	0.671	0.657	1.27	0.684	0.644	1.32
1975	12.2	0.662	0.664	1.28	0.632	0.662	1.36
1976	12.4	0.699	0.678	1.31	0.706	0.688	1.41
1977	12.6	0.647	0.688	1.33	0.682	0.710	1.46
1978	12.6	0.736	0.689	1.33	0.775	0.726	1.49
1979	12.5	0.680	0.695	1.34	0.716	0.736	1.51
1980	12.3	0.680	0.698	1.35	0.758	0.746	1.53
1981	12.4	0.717	0.699	1.35	0.768	0.746	1.53
1982	12.3	0.694	0.700	1.35	0.746	0.746	1.53
1983	12.6	0.668	0.704	1.37	0.703	0.750	1.54
1984	12.7	0.769	0.708	1.39	0.777	0.760	1.56

TABLE 4. Total fishing days and mean annual catch per day's fishing (CPDF) for skipjack by size category of purse seiner for the 1973–1982 period. The mean CPDF is given only for those categories in which all years had ≥ 500 fishing days. The data were supplied by Richard G. Punsly, LATTC, p.c.

TABLA 4. Totales de días de pesca y captura por día de pesca (CPDP) media anual de barrilete, por categoría de capacidad de cerquero, para el período 1973–1982. Se presenta la CPDP media solamente para aquellas categorías en las cuales todos los años tenían ≥ 500 días de pesca. Los datos provinieron de Richard G. Punsly, CIAT, c.p.

Capacity (tons) Capacidad (toneladas)	Size class Clase de arqueo	Fishing days Días de pesca	Mean CPDF CPDP media
1– 200	1–3	26,953	1.80
201– 400	4–5	38,637	2.23
401– 600	6	18,090	2.36
601– 800	6	35,839	3.09
801–1000	6	20,890	3.34
1001–1200	6	49,777	4.17
1201–1400	6	32,087	5.15
1401–1600	6	7,967	—
1601–1800	6	2,477	—
1801–2000	6	1,290	—
2001–2200	6	1,613	—
2201–2400	6	805	—

TABLE 5. Slopes (b) in the regressions of successful set ratio *versus* year for non-porpoise sets on skipjack, by categories of capacity for years with ≥ 100 total sets.

TABLA 5. Pendientes (b) en las regresiones del cociente de lances positivos contra año para lances sobre barriletes (excluidos los lances sobre delfines), por clase de arqueo, para años con un total de ≥ 100 lances.

Capacity (tons) Capacidad (toneladas)	Class Clase	Period Período	r	b
1– 400	1–5	1961–1984	0.537**	0.0051
401– 800	6	1961–1984	0.673**	0.0100
801–1200	6	1963–1984	0.833**	0.0142
>1200	6	1971–1984	0.697**	0.0157

TABLE 6. Numbers of successful sets and mean catches per successful set (CPSS) of skipjack for sets on schools and sets on logs in the CYRA. The data are from sets with pure skipjack and sets with mixed yellowfin and skipjack for which the catch of each species is known.

TABLA 6. Número de lances positivos y capturas por lance positivo (CPLP) medias de barrilete en lances sobre cardúmenes no asociados y asociados con objetos flotantes en el ARCAA. Los datos provienen de lances con barriles puros o mezclados con aletas amarillas para los cuales se conoce la captura de cada especie.

Year—Año	Schools—Cardúmenes puros		Logs—Objetos flotantes	
	Successful sets Lances positivos	CPSS (tons/SS) CPLP (tons/LP)	Successful sets Lances positivos	CPSS (tons/SS) CPLP (tons/LP)
1971	2,550	20.65	468	30.03
1972	378	14.07	211	18.08
1973	1,475	7.67	273	12.07
1974	1,780	10.87	1,404	17.63
1975	2,149	13.59	1,155	21.59
1976	2,546	11.13	2,341	16.89
1977	2,988	9.43	1,170	15.27
1978	2,624	10.30	4,643	14.91
1979	2,559	12.47	3,276	18.87
1980	3,182	10.62	3,124	18.12
1981	3,114	11.80	3,148	19.03
1982	2,372	12.98	3,287	16.82
1983	2,204	9.34	1,382	12.39
Mean—Promedio		11.92		17.82

TABLE 7. The 22 5° areas of latitude and longitude comprising the principal skipjack-fishing areas in the EPO, and additional areas (+) included in recent years. N and S indicate areas north and south of the equator; the first two digits indicate the latitude of the southern boundary of the area; the last three digits indicate the west longitude of the eastern boundary.

TABLA 7. Las 22 áreas de 5° de latitud y longitud que constituyen las zonas principales de pesca del barrilete en el OPO, y las áreas adicionales (+) añadidas en años recientes. N y S indican zonas al norte y al sur de la línea ecuatorial; las dos primeras cifras indican la latitud del límite sur del área; las últimas tres cifras indican la longitud occidental del límite oriental.

Year Año	N N	North of 15°N Al norte de 15°N	5°N-15°N 5°N-15°N	South of 5°N Al sur de 5°N
1961-1976, 1979	22	N-15-110 N-15-115 N-20-105 N-20-110 N-25-110 N-25-115	N-05-075 N-05-080 N-05-085 N-05-090 N-05-095 N-05-100 N-10-085 N-10-090 N-10-095	N-00-075 N-00-080 N-00-085 N-00-090 S-05-080 S-05-085 S-10-080
1977	+3		N-10-105	N-00-100 N-00-105
1978	+1		N-10-100	
1980	+11	N-15-105	N-05-105 N-05-120 N-05-125 N-05-130 N-05-135 N-10-105 N-10-110 N-10-115 N-10-130 N-10-135	
1981	+4		N-05-105 N-10-105 N-10-110	S-10-085
1982	+3	N-15-105	N-10-110 N-10-115	
1983	+7	N-30-115	N-10-110 N-10-120 N-10-125 N-10-130	S-15-080 S-15-085
1984	+3		N-05-105	N-00-105 S-05-090

TABLE 8. Total catches of skipjack in the EPO by all types of fishing gear and by purse seiners (PS) only; logbook coverage for purse seiners; usable logged catches of skipjack by purse seiners in the 22 5° areas, in the additional 5° areas (+), and in the combined areas (22 +), and catch in the 22 + areas adjusted by dividing by the logbook coverage (in thousands of tons).

TABLA 8. Capturas totales de barrilete en el OPO logradas por todas artes de pesca y por barcos cerqueros (PS) únicamente; cobertura de bitácoras de barcos cerqueros; capturas cerqueras registradas utilizables de barrilete en las 22 áreas de 5°, en las áreas de 5° adicionales (+), y en las áreas combinadas (22 +), y captura en las 22 + áreas ajustadas dividiendo por la cobertura de bitácoras (en miles de toneladas).

	Total catch Captura total		Logbook coverage Cobertura de bitácoras	22 areas		+ areas		22 + areas	
	All gears Todas artes	PS		Catch Captura	N	Catch Captura	Catch Captura	Adjusted Ajustada	
1961	75.5	39.4	0.891	31.8	0	0.0	31.8	35.7	
1962	78.3	55.7	0.963	48.9	0	0.0	48.9	50.1	
1963	105.3	79.3	0.917	57.9	0	0.0	57.9	63.1	
1964	65.3	48.7	0.927	32.8	0	0.0	32.8	35.4	
1965	86.2	61.5	0.931	48.7	0	0.0	48.7	52.3	
1966	66.7	48.7	0.976	40.4	0	0.0	40.4	41.4	
1967	133.5	106.8	0.967	96.6	0	0.0	96.6	99.9	
1968	78.3	59.8	0.954	51.1	0	0.0	51.1	53.6	
1969	64.1	44.9	0.930	29.1	0	0.0	29.1	31.3	
1970	61.8	45.7	0.925	28.5	0	0.0	28.5	30.8	
1971	115.4	95.9	0.980	80.3	0	0.0	80.3	81.9	
1972	36.8	29.0	0.935	16.2	0	0.0	16.2	17.3	
1973	48.4	36.9	0.929	24.0	0	0.0	24.0	25.8	
1974	86.8	78.2	0.936	59.9	0	0.0	59.9	64.0	
1975	136.7	120.8	0.847	84.1	0	0.0	84.1	99.3	
1976	140.1	127.4	0.893	88.1	0	0.0	88.1	98.7	
1977	95.2	84.8	0.793	42.9	3	10.3	53.2	67.1	
1978	187.1	179.3	0.886	132.7	1	2.1	134.8	152.1	
1979	145.5	137.2	0.906	107.0	0	0.0	107.0	118.1	
1980	144.1	136.3	0.895	59.3	11	38.8	98.1	109.6	
1981	131.8	124.5	0.888	71.9	4	17.2	89.1	100.3	
1982	108.8	104.4	0.911	71.9	3	7.4	79.3	87.0	
1983	64.0	58.6	0.911	31.3	7	11.8	43.1	47.3	
1984	66.7	62.7	0.928	29.5	3	11.8	41.3	44.5	

TABLE 9. Usable logged catch (LC) of skipjack by purse seiners in thousands of tons, usable logged effort standardized to Class-3-days (f_3) in thousands of days, and CPUE_{w3} in the 22 + skipjack areas; adjustment factor (AF₃); adjusted effort (f_3'), adjusted CPUE_{w3}' and CPUE_{w3}; and concentration index (CI₃); CR₃1+; and estimated total effort (f_3''').
TABLA 9. Captura registrada utilizables (LC) de barrilete por barcos cercoeros, en miles de toneladas, esfuerzo registrado utilizable estandarizado a días de la clase 3 (f_3), en miles de días, y CPUE_{w3} en las 22 + áreas de barrilete; factor de ajuste (FA₃); esfuerzo ajustado (f_3'), CPUE_{w3}' y CPUE_{w3}; e índice de concentración (CI₃); CR₃1+; y esfuerzo total estimado (f_3''').

Year Año	LC 10 ³ t	f_3 10 ³ d	CPUE _{w3} t/d	AF ₃ FA ₃	f_3' 10 ³ d	CPUE _{w3} ' t/d	CPUE _{w3} ' t/d	CI ₃ IC ₃	CR ₃ 1+ - TC ₃ 1+ nd	f_3''' 10 ³ t
FORSBERGH										
1961	31.8	7.45	4.26	1.00	7.45	4.26	4.57	0.93	1,345	16.5
1962	48.2	11.06	4.36	1.01	11.17	4.32	3.89	1.11	890	20.1
1963	57.9	9.38	6.17	1.03	9.66	5.99	5.61	1.07	1,556	18.8
1964	32.8	6.25	5.25	1.05	6.56	5.00	5.15	0.97	1,295	12.7
1965	48.7	9.98	4.88	1.10	10.98	4.44	3.40	1.31	824	25.4
1966	40.4	8.32	4.86	1.15	9.57	4.23	3.68	1.15	1,114	18.1
1967	96.6	10.05	9.61	1.19	11.96	8.08	9.46	0.85	2,722	14.1
1968	51.1	9.72	5.26	1.20	11.66	4.38	4.32	1.01	999	18.1
1969	29.1	7.69	3.78	1.21	9.30	3.12	2.49	1.25	622	25.7
1970	28.5	9.39	3.04	1.22	11.46	2.49	2.66	0.94	761	23.2
1971	80.3	12.91	6.22	1.23	15.88	5.06	3.22	1.57	538	35.8
1972	16.2	7.54	2.15	1.24	9.35	1.73	2.49	0.69	464	14.8
1973	24.0	11.69	2.05	1.25	14.61	1.64	1.45	1.13	158	33.4
1974	59.9	19.41	3.08	1.27	24.65	2.43	2.40	1.01	557	36.2
1975	84.1	21.00	4.01	1.28	26.88	3.13	2.80	1.12	532	48.8
1976	88.9	23.98	3.71	1.31	31.41	2.83	2.22	1.27	454	63.1
1977	53.2	21.17	2.51	1.33	28.16	1.89	1.73	1.09	286	55.0
1978	134.8	30.27	4.45	1.33	40.26	3.35	2.54	1.32	767	73.7
1979	107.0	32.71	3.27	1.34	43.83	2.44	2.05	1.19	521	71.0
1980	98.1	31.75	3.09	1.35	42.86	2.29	2.43	0.94	764	59.3
1981	89.1	27.57	3.23	1.35	37.22	2.39	2.31	1.03	711	57.1
1982	79.3	21.62	3.67	1.35	29.19	2.72	2.62	1.04	756	41.5
1983	43.1	14.94	2.88	1.37	20.47	2.10	2.15	0.98	611	29.8
1984	41.3	10.10	4.09	1.39	14.04	2.94	3.25	0.90	816	20.5

TABLE 10. Usable logged catch (LC_6) of skipjack by Class-6 purse seiners in thousands of tons, usable logged effort by Class-6 purse seiners (f_6') in thousands of days, and CPUE_{w6}['] in the 22 + skipjack areas; adjustment factor (AF_6); adjusted effort (f_6''), adjusted CPUE_{w6}['] and CPUE_{w6}^{''}, and concentration index (CI_6); CR_61+ ; and estimated total effort f_6''' .

TABLA 10. Captura registrada utilizable (LC_6) de barrilete por barcos cerceros de la clase 6, en miles de toneladas, esfuerzo registrado utilizable de cerceros de la clase 6 (f_6'), en miles de días, y CPUE_{w6}['] en las 22 + áreas de barrilete; factor de ajuste (AF_6); esfuerzo ajustado (f_6''), CPUE_{w6}['] y CPUE_{w6}^{''} ajustado, e índice de concentración (CI_6); TC_61+ ; y esfuerzo total estimado (f_6''').

Year Año	LC ₆ 10 ³ t	f ₆ 10 ³ d	CPUE _{w6} t/d	AF ₆ FA ₆	f ₆ ' 10 ³ d	CPUE _{w6} ['] t/d	CPUE _{w6} ^{''} t/d	CI ₆ IC ₆	CR ₆₁₊ - TC ₆₁₊ n/d	f _{6'''} 10 ³ t
1961	4.6	0.52	8.83	1.00	0.52	8.83	12.58	0.70	3,816	15.3
1962	10.6	1.07	9.91	1.02	1.09	9.72	9.48	1.03	2,217	11.5
1963	19.5	1.74	11.21	1.05	1.83	10.68	11.16	0.96	3,578	11.7
1964	15.0	1.48	10.12	1.07	1.59	9.46	10.18	0.93	2,632	11.1
1965	22.9	2.24	10.21	1.13	2.53	9.04	8.48	1.07	2,144	10.9
1966	20.1	2.24	9.00	1.18	2.64	7.63	7.51	1.02	2,289	10.0
1967	45.3	2.08	21.77	1.22	2.54	17.84	19.95	0.89	5,844	8.0
1968	28.2	2.73	10.37	1.25	3.41	8.30	8.12	1.02	1,826	10.1
1969	11.5	1.16	9.95	1.27	1.47	7.83	5.71	1.37	1,562	16.5
1970	4.9	1.32	3.70	1.27	1.68	2.91	3.24	0.90	933	30.0
1971	60.5	4.86	12.43	1.28	6.23	9.71	6.76	1.44	1,064	17.5
1972	10.1	3.26	3.11	1.29	4.20	2.41	3.95	0.61	648	30.9
1973	19.8	5.54	3.57	1.30	7.20	2.75	2.63	1.05	291	31.0
1974	51.4	9.71	5.28	1.32	12.83	4.00	4.17	0.96	970	27.1
1975	67.9	10.15	6.69	1.36	13.83	4.92	4.49	1.10	849	33.9
1976	76.0	12.38	6.14	1.41	17.45	4.35	3.34	1.30	683	36.8
1977	42.5	9.55	4.45	1.46	13.95	3.05	2.73	1.12	444	37.5
1978	117.7	15.08	7.80	1.49	22.48	5.23	3.93	1.33	1,168	32.1
1979	88.1	15.85	5.56	1.51	23.93	3.68	2.97	1.24	756	37.7
1980	89.8	16.24	5.53	1.53	24.85	3.61	3.60	1.00	1,138	34.1
1981	75.7	14.26	5.31	1.53	21.81	3.47	3.35	1.04	1,034	34.6
1982	59.9	10.70	5.60	1.53	16.37	3.66	3.65	1.00	1,053	31.0
1983	28.0	7.00	4.00	1.54	10.78	2.60	2.75	0.95	789	23.5
1984	27.4	3.72	7.34	1.56	5.81	4.71	4.60	1.02	1,146	22.6

TABLE 11. Lengths used to assign skipjack from the EPO to age groups by quarters according to a linear growth rate of 24 cm/yr and the von Bertalanffy (vB) growth function with $L_{\infty} = 86$ cm and $K = 0.79$.

TABLA 11. Longitudes usadas para asignar barriletes del OPO a grupos de edad, por trimestre, de acuerdo con una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año y la función de crecimiento de von Bertalanffy (vB) con $L_{\infty} = 86$ cm y $K = 0.79$.

Growth rate Tasa de crecimiento	Quarter Trimestre	Age—Edad		
		0+ cm	1+ cm	2+ cm
24 cm/year	1	<31	31–54	>54
	2	<37	37–60	>60
	3	<43	43–66	>66
	4	<49	49–72	>72
vB curve 1	1	<25	25–55	>55
	2	<35	35–60	>60
	3	<43	43–64	>64
	4	<50	50–66	>66

TABLE 12. Proportions of the numbers by age groups for skipjack caught by purse seiners, calculated according to a linear growth rate of 24 cm/yr. Mean values for three periods are given below.

TABLA 12. Proporciones de los números por grupo de edad de barriletes capturados por barcos cerqueros, calculadas de acuerdo con una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año. Al pie se presentan valores medios para tres períodos.

Year-Año	Age-Edad 0+	Age-Edad 1+	Age-Edad 2+
1961	0.054	0.938	0.008
1962	0.050	0.816	0.134
1963	0.046	0.897	0.057
1964	0.033	0.883	0.084
1965	0.062	0.856	0.082
1966	0.031	0.908	0.061
1967	0.014	0.939	0.047
1968	0.014	0.857	0.129
1969	0.027	0.856	0.117
1970	0.038	0.909	0.053
1971	0.001	0.583	0.416
1972	0.079	0.653	0.268
1973	0.056	0.472	0.472
1974	0.029	0.893	0.078
1975	0.093	0.656	0.251
1976	0.071	0.720	0.209
1977	0.253	0.542	0.205
1978	0.090	0.869	0.041
1979	0.094	0.793	0.113
1980	0.104	0.851	0.045
1981	0.142	0.812	0.046
1982	0.119	0.847	0.034
1983	0.164	0.781	0.055
1984	0.024	0.867	0.109
1961-1984	Mean-Promedio	0.070	0.130
1961-1970	Mean-Promedio	0.037	0.077
1974-1984	Mean-Promedio	0.108	0.108

TABLE 13. Quarterly logged catch of skipjack for all gear-area strata with two or more samples (W') by purse seiners, $CPUE_{ws3}'$ in the 22+ skipjack areas, and fishing effort (f_3'') estimated from $W'/CPUE_{ws3}'$; numbers of skipjack (N , in thousands) caught by purse seiners; and catch rate (CR_3) in number of fish per day (N/d) in three age groups.

TABLA 13. Captura cerquera trimestral registrada de barrilete de todos los estratos de arte-área con dos muestras o mas (W'), $CPUE_{ws3}'$ en las 22+ áreas de barrilete, y esfuerzo de pesca (f_3'') estimado a partir del $W'/CPUE_{ws3}'$; cantidad de barrilete (N , en millares) capturada por barcos cerqueros; y tasa de captura (TC_3), en número de peces por día (N/d) en tres grupos de edad.

Year Año	Quarter Trimestre	W'	$CPUE_{ws3}'$	f_3''	Age—Edad 0+		Age—Edad 1+		Age—Edad 2+		
					t	t/d	d	N 10^3	CR_3-TC_3 N/d	N 10^3	CR_3-TC_3 N/d
1960	1	479	—	—	0	—	—	33	—	76	—
	2	2,680	3.36	798	0	0	0	707	886	48	60
	3	4,403	1.92	2,293	7	3	3	1,286	561	8	3
	4	970	0.60	1,617	2	1	1	142	88	0	0
1961	1	108	—	—	0	—	—	5	—	4	—
	2	11,651	5.81	2,005	0	0	0	3,894	1,942	76	38
	3	8,961	3.75	2,390	20	8	8	2,673	1,118	0	0
	4	12,180	4.16	2,928	528	180	180	2,858	976	0	0
1962	1	12,611	3.51	3,593	0	0	0	1,469	409	1,650	459
	2	12,995	3.57	3,640	0	0	0	3,250	893	329	90
	3	18,643	4.93	3,782	167	44	44	5,829	1,541	0	0
	4	7,205	3.54	2,035	568	279	279	1,458	716	0	0
1963	1	16,325	4.02	4,061	0	0	0	4,271	1,052	1,200	295
	2	24,814	8.45	2,937	0	0	0	8,930	2,268	122	42
	3	13,218	5.35	2,471	164	66	66	4,584	1,855	0	0
	4	13,687	4.62	2,963	904	305	305	3,101	1,047	0	0
1964	1	10,037	5.12	1,960	0	0	0	2,417	1,233	748	382
	2	11,156	6.26	1,782	0	0	0	2,673	1,500	289	162
	3	9,616	3.07	3,132	22	7	7	3,120	996	1	0
	4	11,161	6.14	1,818	381	210	210	2,640	1,452	0	0
1965	1	8,881	3.28	2,708	0	0	0	1,355	500	1,076	397
	2	16,728	4.16	4,021	0	0	0	4,619	1,149	269	67
	3	18,943	3.30	5,740	329	57	57	5,910	1,030	0	0
	4	9,900	2.87	3,449	678	197	197	2,122	615	0	0
1966	1	10,374	2.09	4,964	0	0	0	2,793	563	743	150
	2	15,646	5.10	3,068	0	0	0	5,137	1,674	138	45
	3	10,542	3.76	2,804	14	5	5	3,337	1,190	0	0
	4	6,472	3.75	1,726	423	245	245	1,777	1,030	0	0
1967	1	22,251	14.16	1,571	0	0	0	5,994	3,814	1,417	902
	2	34,898	11.24	3,105	0	0	0	11,960	3,852	20	6
	3	27,660	6.39	4,329	35	8	8	8,043	1,858	0	0
	4	11,720	6.06	1,934	390	202	202	2,634	1,362	0	0
1968	1	8,135	4.01	2,029	0	0	0	1,927	950	655	323
	2	22,874	4.18	5,472	0	0	0	4,308	787	1,073	196
	3	11,634	3.67	3,170	16	5	5	3,066	967	28	9
	4	9,656	5.40	1,788	167	93	93	2,308	1,291	0	0

TABLE 13. (continued)

TABLA 13. (continuación)

Year Año	Quarter Trimestre	W'	CPUE _{w3} '	f ₃ ''	Age-Edad 0+		Age-Edad 1+		Age-Edad 2+	
					t	t/d	d	N 10 ³	CR ₃ -TC ₃ N/d	N 10 ³
1969	1	10,885	3.18	3,423	0	0	1,259	368	1,346	393
	2	17,237	2.49	6,922	0	0	6,791	981	88	13
	3	4,489	1.72	2,610	20	8	1,503	576	0	0
	4	4,335	2.58	1,680	306	182	945	563	0	0
1970	1	8,216	1.83	4,490	0	0	2,341	521	565	126
	2	11,486	3.05	3,884	2	1	3,819	983	88	23
	3	10,842	2.35	4,614	31	7	3,616	784	0	0
	4	7,152	3.42	2,091	446	213	1,582	757	0	0
1971	1	38,966	3.17	12,292	0	0	4,892	398	5,525	449
	2	37,406	4.24	8,822	1	0	5,291	600	2,688	305
	3	3,800	3.44	814	5	6	596	732	115	141
	4	4,386	2.02	2,171	17	8	916	422	0	0
1972	1	7,136	1.35	5,286	0	0	474	90	887	168
	2	4,436	2.14	2,073	1	0	929	448	196	95
	3	2,019	3.33	606	0	0	477	787	3	5
	4	4,534	3.14	1,444	320	222	766	530	0	0
1973	1	7,738	1.05	7,369	0	0	558	76	1,171	159
	2	16,470	2.60	6,335	1	0	1,789	282	1,504	237
	3	1,398	1.04	1,344	16	12	178	132	50	37
	4	1,535	1.11	1,383	307	222	197	142	1	1
1974	1	15,732	1.70	9,254	0	0	4,288	463	1,026	111
	2	29,495	2.80	10,534	0	0	8,408	798	296	28
	3	4,640	2.52	1,841	33	18	999	543	29	16
	4	10,905	2.58	4,227	463	110	1,790	423	2	0
1975	1	28,722	2.59	11,090	0	0	2,492	225	4,123	372
	2	32,202	2.36	13,645	6	0	6,546	480	1,782	131
	3	3,895	2.24	1,739	50	29	1,044	600	21	12
	4	26,511	4.02	6,595	2,135	324	5,440	825	11	2
1976	1	38,932	2.60	14,974	0	0	6,121	409	4,253	284
	2	35,162	2.24	15,697	18	1	8,375	534	1,299	83
	3	5,746	1.45	3,963	96	24	1,699	429	19	5
	4	18,285	2.59	7,060	1,797	255	3,141	445	23	3
1977	1	24,527	2.09	11,735	0	0	3,609	308	2,836	242
	2	12,767	1.77	7,213	4	1	2,933	407	578	76
	3	4,150	0.80	5,188	199	38	851	164	60	12
	4	14,872	2.26	6,581	4,067	618	1,737	264	2	0
1978	1	53,443	3.80	14,064	0	0	18,328	1,303	1,823	130
	2	48,640	2.76	17,623	132	7	18,835	1,069	237	13
	3	15,866	1.44	11,018	681	62	4,291	389	25	2
	4	19,707	2.17	9,082	3,799	418	2,795	308	0	0

TABLE 13. (continued)

TABLA 13. (continuación)

Year Año	Quarter Trimestre	W'	CPUE _{w3'}	f _{3''} d	Age—Edad 0+		Age—Edad 1+		Age—Edad 2+	
					N 10 ³	CR ₃ —TC ₃ N/d	N 10 ³	CR ₃ —TC ₃ N/d	N 10 ³	CR ₃ —TC ₃ N/d
1979	1	41,355	2.90	14,260	0	0	10,928	766	3,659	257
	2	32,453	2.10	15,454	132	9	9,832	636	511	33
	3	24,700	1.52	16,250	1,182	73	6,641	409	48	3
	4	13,537	1.69	8,010	2,192	274	2,170	271	0	0
1980	1	23,674	2.01	11,778	0	0	8,456	718	1,496	127
	2	42,570	3.39	12,558	212	17	15,116	1,204	348	28
	3	31,510	2.71	11,627	1,759	151	10,000	860	22	2
	4	12,860	1.62	7,938	2,400	302	2,163	272	0	0
1981	1	34,816	2.44	14,269	0	0	15,042	1,054	1,346	94
	2	40,662	2.77	14,679	305	21	14,749	1,005	603	41
	3	12,053	1.99	6,057	1,034	171	3,104	512	53	9
	4	17,546	2.04	8,601	4,815	560	2,360	274	0	0
1982	1	21,275	2.02	10,532	0	0	8,350	793	902	86
	2	27,382	2.79	9,976	160	16	10,232	1,026	135	14
	3	22,145	2.93	7,558	1,036	137	5,714	756	60	8
	4	17,790	2.72	6,540	2,631	402	2,940	450	1	0
1983	1	9,993	1.89	5,287	0	0	3,495	661	597	113
	2	17,885	2.15	8,319	124	15	6,382	767	352	42
	3	8,817	2.34	3,768	296	79	2,481	658	64	17
	4	12,442	2.20	5,655	2,593	459	2,021	357	0	0
1984	1	17,543	5.09	3,446	0	0	3,650	1,059	1,555	451
	2	17,092	3.32	5,148	18	3	5,763	1,119	229	44
	3	12,443	1.68	7,407	49	7	3,218	434	15	2
	4	7,314	2.90	2,522	330	131	1,645	652	0	0

TABLE 14. Estimated quarterly catch rate (CR_3) by age groups for skipjack caught by purse seiners in numbers of fish per day. Means (\bar{x}), standard deviations (s), and coefficients of variation (C) are given below.

TABLA 14. Tasa de captura trimestral estimada (TC_3), por grupo de edad, de barrilete capturado por barcos cerqueros, en número de peces por día. Al pie de la tabla se presentan los promedios (\bar{x}), desviaciones estándar (s), y coeficientes de variación (C).

Cohort Cohorte	Quarter Trimestre Q1-IT	Age—Edad 0+		Age—Edad 1+				Age—Edad 2+		
		3 1	4 2	1 3	2 4	3 5	4 6	1 7	2 8	
		1961	3	1	—	1,942	1,118	976	459	90
1962		8	180	409	893	1,541	716	295	42	
1963		44	279	1,052	2,268	1,855	1,047	382	162	
1964		66	305	1,233	1,500	996	1,452	397	67	
1965		7	210	500	1,149	1,030	615	150	45	
1966		57	197	563	1,674	1,190	1,030	902	6	
1967		5	245	3,814	3,852	1,858	1,362	323	196	
1968		8	202	950	787	967	1,291	393	13	
1969		5	93	368	981	576	563	126	23	
1970		8	182	521	983	784	757	449	305	
1971		7	213	398	600	732	422	168	95	
1972		6	8	90	448	787	530	159	237	
1973		1	222	76	282	132	142	111	28	
1974		12	222	463	798	543	423	372	131	
1975		18	110	225	480	600	825	284	83	
1976		29	324	409	534	429	445	242	76	
1977		24	255	308	407	164	264	130	13	
1978		38	618	1,303	1,069	389	308	257	33	
1979		62	418	766	636	409	271	127	28	
1980		73	274	718	1,204	860	272	94	41	
1981		151	302	1,054	1,005	512	274	86	14	
1982		171	560	793	1,026	756	450	113	42	
1983		137	402	661	767	658	357	451	44	
1984		79	459	1,059	1,119	434	652			
1962-1983		\bar{x}	43	265	758	1,061	808	628	278	78
		s	50	140	764	773	470	387	189	80
		C	1.18	0.53	1.01	0.73	0.58	0.62	0.68	1.02

TABLE 15A. Number (N) of surface net tows, mean concentration of skipjack larvae (n/tow), and proportion (p) of positive tows at SST intervals from 22° to 31°C from various cruises in the Pacific and Atlantic Oceans, between 1950 and 1970.

TABLA 15A. Número (N) de arrastres de red de superficie, concentración media de larvas de barrilete (n/tow), y proporción (p) de arrastres positivos con intervalos de TSM entre 22° y 31°C, de varios cruceros en los Océanos Pacífico y Atlántico, entre 1950 y 1970.

Cruises and years Crucero y año	Region Región	Source Fuente	Note Nota	SST-TSM (°C)								Total			
				22	23	24	25	26	27	28	29				
Shanyo Maru 1960-1968	Western Pacific Pacífico occidental	1.2	1	N n/tow	26	26	48	52	98	202	270	340	189	14	1265
				p p	0	0	0.04	0.48	1.42	0.91	2.24	3.78	1.80	0.07	
Shoyo Maru 1963-1970	Central Pacific Pacífico central 160°E-130°W	3	3	N n/tow	8	4	6	9	18	54	57	29	4	0	189
				p p	0	0	0	0	0.68	0.08	0.35	1.53	0		
Shoyo Maru 1963-1970	EPO OPO	3	3	N n/tow	21	23	25	33	63	81	58	4	0	1	309
				p p	0	0	0	0	0	0.05	0.07	0			
Spreezer F. Baird 1947-1949	Philippine Islands Islas Filipinas	17	4	N n/tow	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0		0	0
				p p	0	0	0	0	0	0.29	0.25	0.21	0.39	0.05	461
NMFS Honolulu 1950-1957	Central Pacific Pacífico central 162°W-130°W	5-7 10.12	4	N $n/10^3 m^3$	1	8	22	59	62	18	19	9	0	0	198
				p p	0	1.14	0.27	0.93	0.97	2.00	2.22	10.67			
Geronimo 3, 4, 5 1964-1965	Atlantic Atlántico	16.18	7	N $n/10^3 m^3$	8	19	33	97	85	29	58	152	36	2	519
				p p	0	0	0.18	0.12	0.37	0.47	2.34	1.30	0.27	0	
					0	0	0.03	0.05	0.09	0.14	0.17	0.13	0.11		

Sources—Fuentes: 1—Ueyanagi (1969); 2—Ueyanagi; Mori, and Nishikawa (1969); 3—Far Seas Fish. Res. Lab., Shimizu, Japan; 4—King, Austin, and Doty (1957); 5—Wilson and Rinkels (1957); 6—Strasburg (1960); 7—U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Honolulu; 8—Wilson, Nakamura, and Yoshida (1958); 9—Nakamura and Matsumoto (1966); 10—Austin (1954); 11—Stroup (1954); 12—Matsumoto (1958); 13—Cronwell and Austin (1954); 14—U.S. Nat. Oceanogr. Data Ctr., Rockville, Md.; 15—Richards (1969); 16—U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Miami; 17—Wade (1951); 18—Richards, Simmons, Jensen, and Mann (1969a, 1969b, 1970).

Notes—Notas:

1.—one cruise using 2-m diameter larval nets towed for 30 min, 13 cruises using 2-m nets towed for 20 min.—un crucero usando redes larvales de 2 m de diámetro, arrastradas 30 minutos, 13 cruceros usando redes de 2 m arrastradas 20 minutos. 2.—2-m nets towed for 10, 15, or 20 min.—redes de 2 m arrastradas 10, 15, o 20 minutos. 3.—1.4- and 1.5-m nets towed for 10, 15, or 20 min.—redes de 1.4 y 1.5 m arrastradas 10, 15, o 20 minutos. 4.—1-m plankton nets—redes de plancton de 1 m. 5.—1-in net, 1.58 oblique tows from the top of the thermocline to the surface, 9 oblique tows 0-100 m, 24 oblique tows 0-200 m—red de 1 m, 1.58 arrastres oblicuos desde el límite superior de la termocina hasta la superficie, 9 arrastres oblicuos de 0-100 m, 24 arrastres oblicuos de 0-200 m. 6.—1-m net, 19 oblique tows and 34 vertical tows from the top of the thermocline to the surface—red de 1 m, 19 arrastres oblicuos y 34 verticales desde el límite superior de la termocina hasta la superficie. 7.—1-m net—red de 1 m.

APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK

507

TABLE 15B. Number (N) of subsurface horizontal (SBH) and oblique net tows, mean concentration of skipjack larvae (n/tow), and proportion (p) of positive tows at SST intervals from 22° to 31°C from various cruises in the Pacific and Atlantic oceans between 1950 and 1970. Sources and notes are given below Table 15A.

TABLA 15B. Número (N) de arrastres horizontales subsuperficiales (SBH) y oblicuos, concentración media de larvas de barrilete (n/tow), y proporción (p) de arrastres positivos con intervalos de TSM entre 22° y 31°C, de varios cruceros en los Océanos Pacífico y Atlántico, entre 1950 y 1970. Se explican las fuentes y las notas al pie de la Tabla 15A.

Cruises and years Crucero y año	Región Región	Source Fuente	Note Nota	SST-TSM (°C)								Total					
				22	23	24	25	26	27	28	29						
Shojo Maru 1960-1968	Western Pacific Pacífico occidental	SBH-AHS 20-30m	1.2 n/tow p	1	N n/tow 0	25 0.16 0	46 0.13 0.04	49 0.73 0.35	77 2.44 0.36	178 2.37 0.46	248 5.07 0.61	320 10.16 0.67	154 8.63 0.71	12 10.25 1.00	1135		
Shojo Maru 1965-1970	Central Pacific Pacífico central 160°E-130°W	SBH-AHS 20-30m	3 n/tow p	2	N n/tow 0	0 0	2 0	8 0	16 0.31	49 1.01	50 1.34	28 3.26	3 0.67	0 0.39	156		
Shojo Maru 1965-1970	EPO OPO E. ofde 130°W	SBH-AHS 20-30m	3 n/tow p	2	N n/tow 0	8 0	11 0	10 0.06	18 0.18	51 0.39	61 0.30	54 0	4 0	0 0	1 0	218	
NMFS Honolulu 1955-1957	Central Pacific Pacífico central 159°W-130°W	Oblique 0-60m	4.7 n/10m² p	4	N n/10m² 0	2 0	1 0	6 0.51	21 1.12	36 0.79	20 1.68	10 2.20	3 0.67	0 0.70	0 0.67	99	
NMFS Honolulu 1957-1958	Central Pacific Pacífico central 144°W-136°W	Oblique 0-140m	8.9 n/10m² p	4	N n/10m² 0	0 0	0 0	0 0.43	0 0.50	0 0.40	0 0.40	0 0.30	0 0.11	0 0	0 0	193	
NMFS Honolulu 1950-1957	Central Pacific Pacífico central 180°-130°W	Oblique 0-200m	5-7 n/10m² p	4	N n/10m² 0	0 0	2 0	1 0	18 0.46	46 1.19	87 2.58	73 1.37	16 3.26	1 2.12	5 3.60	7.88	244
NMFS Honolulu (combined)	Central Pacific Pacífico central 180°-130°W	Oblique	4-13 n/10m² p	4	N n/10m² 0	2 0	3 0	7 0	39 0.49	82 1.16	147 2.29	155 3.50	95 0.57	6 0.74	1 0.67	6 6.92	536
Equalant I, II 1963	Atlantic Atlántico	Oblique	14-16 n/10m² p	5.6	N n/10m² 0	6 0.06	8 0.41	33 0.85	20 0.91	56 1.61	48 2.24	39 1.35	4 0.75	0 0.54	4 0.75	242	

TABLE 16. Ranges of SST intervals used in the weighted linear regressions of $\log_{10}\bar{n}_m$ for skipjack larvae versus SST; correlation coefficients (r) and slopes (b); and factors for each 1°C increase in SST (from data in Table 15).

TABLA 16. Rangos de intervalos de TSM usados en las regresiones lineales ponderadas de $\log_{10}\bar{n}_m$ de larvas de barrilete versus TSM; coeficientes de correlación (r) y pendientes (b); y factores para cada incremento de 1°C de TSM (a partir de datos en la Tabla 15).

Cruises Cruceros	Región Región	Tow Arrastre	Unit Unidad	SST range Rango de TSM °C	No. of tows Número de arrastres	<i>r</i>	<i>b</i>	Factor
<i>Shunyo Maru</i>	Western Pacific	SBH—AHS	n/tow	23–29	943	0.977	0.347	2.22
<i>Shunyo Maru</i>	Western Pacific	Surface	n/tow	24–29	1010	0.923	0.326	2.12
<i>Shunyo Maru</i>	Central Pacific	SBH—AHS	n/tow	26–29	143	0.960	0.322	2.10
NMFS Honolulu	Central Pacific	Oblique	n/10 m ²	25–30	524	0.951	0.222	1.67
NMFS Honolulu	Central Pacific	Surface	n/10 ³ m ³	23–29	197	0.864	0.226	1.68
Equalant I, II	Atlantic	Oblique	n/10 m ²	23–28	193	0.948	0.254	1.79
Geronimo 3, 4, 5	Atlantic	Surface	n/10 ³ m ³	24–28	302	0.937	0.370	2.34
<i>Stephen F. Baird</i>	Philippines	Surface	n/tow	25–29	366	0.802	0.086	2.04
<i>Shunyo Maru</i>	Central Pacific	Surface	n/tow	26–29	158	0.614	0.331	2.14

^a mean weighted by the number of tows—promedio ponderado por número de arrastres

TABLE 17. Latitudinal limits which approximate the mean monthly position of the 28°C isotherm and which, with the longitudinal limits, delineate the areas from which SSTS and WMIS are computed.

TABLA 17. Límites latitudinales que aproximan la posición media mensual del isoterma de 28°C y que, junto con los límites longitudinales, definen las zonas desde las cuales se calculan las de TSMD e IMVD.

Month—Mes	Western sector Sector occidental	Eastern sector Sector oriental
	180°–155°W	155°W–135°W
January	5°N–15°S	5°N–15°S
February	5°N–15°S	5°N–15°S
March	5°N–15°S	5°N–15°S
April	5°N–15°S	5°N–15°S
May	10°N–15°S	5°N–15°S
June	15°N–10°S	10°N–10°S
July	15°N–10°S	10°N–10°S
August	20°N–10°S	10°N– 5°S
September	20°N–10°S	10°N– 5°S
October	15°N–10°S	10°N–10°S
November	15°N–10°S	10°N–10°S
December	10°N–15°S	5°N–15°S

TABLE 18. SSTS and WMIS for 12-month periods June-July (A), SSTF during the fishing year (B), and MCSI (C).

TABLA 18. TMSD e IMVD para los períodos de 12 meses julio-junio (A), TSMP durante el año pesquero (B), y PIVC (C).

Years Años	A		Year Año	B		Years Años	C	
	SSTS-TSMD °C	WMIS-IMVD kt ³		SSTF-TSMP °C	MCSI-PIVC cm			
1959-1960	28.14	1,278	1961	26.00	1959-1961	23.0		
1960-1961	28.15	1,334	1962	25.89	1960-1962	20.7		
1961-1962	27.80	1,295	1963	26.13	1961-1963	20.7		
1962-1963	27.73	1,306	1964	25.72	1962-1964	25.0		
1963-1964	28.35	1,299	1965	26.60	1963-1965	23.0		
1964-1965	27.68	1,622	1966	25.90	1964-1966	28.3		
1965-1966	28.55	1,168	1967	25.83	1965-1967	25.0		
1966-1967	28.05	1,660	1968	25.90	1966-1968	21.3		
1967-1968	27.90	1,215	1969	26.49	1967-1969	25.7		
1968-1969	28.64	1,468	1970	25.58	1968-1970	26.3		
1969-1970	28.35	1,799	1971	25.71	1969-1971	17.3		
1970-1971	27.35	2,123	1972	26.67	1970-1972	16.3		
1971-1972	27.63	1,915	1973	25.84	1971-1973	25.0		
1972-1973	28.50	1,747	1974	25.78	1972-1974	21.3		
1973-1974	27.00	2,280	1975	25.54	1973-1975	17.0		
1974-1975	27.39	2,178	1976	26.16	1974-1976	17.7		
1975-1976	26.88	2,478	1977	26.16	1975-1977	23.0		
1976-1977	27.99	1,653	1978	26.08	1976-1978	23.0		
1977-1978	27.95	1,586	1979	25.88	1977-1979	23.3		
1978-1979	27.68	1,719	1980	25.95	1978-1980	24.0		
1979-1980	27.99	1,438	1981	26.00	1979-1981	24.7		
1980-1981	27.70	2,192	1982	26.65	1980-1982	23.7		
1981-1982	27.88	1,948	1983	27.32	1981-1983	25.0		
1982-1983	28.74	1,677	1984	26.21	1982-1984	27.4		

TABLE 19. Coefficients of correlation for $\log\text{CPUE}_{w3}'$, CPUE_{w3}' , $\log\text{CPUE}_{w6}'$, and CPUE_{w6}' for skipjack caught by purse seiners versus various independent variables, and probabilities multiplied by five (5P). d.f. = 22. P for r_s is interpolated from Table 1 in Zar (1972).

TABLA 19. Coeficientes de correlación para $\log\text{CPUE}_{w3}'$, CPUE_{w3}' , $\log\text{CPUE}_{w6}'$, y CPUE_{w6}' de barrilete capturado por barcos cerqueros versus varias variables independientes, y probabilidades multiplicadas por cinco (5P). g.l. = 22. Se interpola por $P r_s$ de la Tabla 1 en Zar (1972).

Independent- Independent	Variable Dependent- dependiente	r_s	r	5P
SSTS-TSMD	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	0.405	0.396	
WMIS-IMVD	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.594**	-0.622**	0.015 0.006
SSTF-TSMP	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.218	-0.222	
Year-Año	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.698**	-0.637**	<0.005 <0.005
MCSI-PIVC	CPUE_{w3}'	0.023	0.093	
f_3'''	CPUE_{w3}'	-0.732**	-0.533**	
SSTS-TSMD	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	0.389	0.354	
WMIS-IMVD	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.652**	-0.671**	<0.005 <0.005
SSTF-TSMP	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.151	-0.223	
Year-Año	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.750**	-0.793**	<0.005 <0.005
MCSI-PIVC	CPUE_{w6}'	-0.128	0.060	
f_6'''	CPUE_{w6}'	-0.795	-0.638**	

TABLE 20. Correlation matrices for four environmental variables and year. d.f. = 22.

TABLA 20. Matrices de correlación para cuatro variables ambientales y año, g.l. = 22.

	SSTS-TSMD	WMIS-IMVD	SSTF-TSMP	MCSI-PIVC
<i>r</i> _s	WMIS-IMVD	-0.556**		
	SSTF-TSMP	-0.218	0.125	
	MCSI-PIVC	0.223	-0.330	0.026
	Year-Año	-0.179	0.624**	0.295
<i>r</i>	WMIS-IMVD	-0.663**		
	SSTF-TSMP	-0.123	0.186	
	MCSI-PIVC	0.359	-0.409*	0.066
	Year-Año	-0.151	0.581**	0.310
				0.099

TABLE 21. Correlation matrices for $\log CR_3$ in 8 quarterly intervals for the 1962–1983 skipjack cohorts. d.f. = 20.

TABLA 21. Matrices de correlación para logTC₃ en 8 intervalos trimestrales para las cohortes de barrilete de 1962-1983. g.l. = 20.

TABLE 22. Logged catches by age groups (in thousands of fish) for skipjack cohorts caught by purse seiners, and the proportion of age-1+ fish (Prop 1+).

TABLA 22. Capturas registradas, por grupos de edad (en miles de peces), de cohortes de barriletes capturados por barcos cerqueros, y la proporción de peces de edad 1+ (Prop 1+).

Cohort Cohorte	Age 0+ Edad 0+	Age 1+ Edad 1+	Age 2+ Edad 2+	Total	Prop 1+
1961	9	9,430	1,979	11,418	0.826
1962	548	12,006	1,322	13,876	0.865
1963	735	20,886	1,038	22,659	0.922
1964	1,068	10,850	1,345	13,263	0.818
1965	403	14,006	881	15,290	0.916
1966	1,007	13,044	1,438	15,489	0.842
1967	437	28,631	1,756	30,824	0.929
1968	425	11,609	1,434	13,468	0.862
1969	183	10,498	653	11,334	0.926
1970	326	11,358	8,328	20,012	0.568
1971	479	11,695	1,086	13,260	0.882
1972	23	2,646	2,726	5,395	0.490
1973	321	2,722	1,353	4,396	0.619
1974	324	15,485	5,937	21,746	0.712
1975	496	15,522	5,594	21,612	0.718
1976	2,191	19,336	3,446	24,973	0.774
1977	1,911	9,130	2,085	13,126	0.696
1978	4,270	44,279	4,218	52,737	0.839
1979	4,612	29,571	1,866	36,049	0.820
1980	3,526	35,735	2,002	41,263	0.866
1981	4,371	35,255	1,098	40,724	0.866
1982	6,154	27,236	1,013	34,403	0.792
1983	3,827	14,379	1,799	20,005	0.719
Mean—Promedio					0.794

TABLE 23. Coefficients of correlation for $\log CR_a$ by eight quarterly intervals for the 1962-1983 cohorts and SSTS and WMIS. d.f. = 20.
 TABLA 23. Coeficientes de correlación para $\log TC_3$, por ocho intervalos trimestrales para las cohortes de 1962-1983 y TMSD e IMVD. g.l. = 20.

		Quarterly interval—Intervalo trimestral							
		1	2	3	4	5	6	7	8
SSTS TMSD	r_a	-0.245	-0.058	0.402	0.389	0.301	0.240	0.192	0.264
	r	-0.226	0.212	0.458*	0.485*	0.434*	0.218	0.173	0.300
WMIS IMVD	r_a	-0.177	0.106	0.500*	0.710**	0.531*	0.467*	0.102	-0.057
	r	0.129	-0.119	-0.535*	-0.714**	-0.581**	-0.433*	-0.165	-0.081

TABLE 24. Coefficients of correlation for $\log CR_3 1+$, $CR_3 1+$, $\log CR_6 1+$, and $CR_6 1+$ and various independent variables, and probabilities multiplied by five ($5P$). Group I includes the 1961–1984 cohorts with 22 d.f. and Group II excludes the 1971 and 1973 cohorts and has 20 d.f. P for r_s is interpolated from Table 1 in Zar (1972).

TABLA 24. Coeficientes de correlación para $\log TC_3 1+$, $TC_3 1+$, $\log TC_6 1+$, y $TC_6 1+$ y varias variables independientes, y probabilidades multiplicadas por cinco ($5P$). El Grupo I incluye las cohortes de 1961–1984, g.l. = 22; el Grupo II excluye las cohortes de 1971 y 1973, g.l. = 20. Se interpola por $P r_s$ de la Tabla 1 en Zar (1972).

Dependent dependiente	Variable Independent independiente	Group 1		Group 2	
			5P		5P
$\log CR_3 1+$	SSTS-TSMD	r_s	0.469*	0.115	0.460*
		r	0.453*	0.143	0.512* 0.078
$\log CR_3 1+$	WMIS-IMVD	r_s	-0.735**	<0.005	-0.712** <0.005
		r	-0.675**	<0.005	-0.734** <0.005
$\log CR_3 1+$	SSTF-TSMP	r_s	-0.072	-0.238	
		r	-0.095	-0.224	
$\log CR_3 1+$	Year-Año	r_s	-0.557**	0.028	-0.601** 0.020
		r	-0.456*	0.136	-0.559** 0.041
$CR_3 1+$	MCSI-PIVC	r_s	0.258	0.283	
		r	0.225	0.344	
$CR_3 1+$	f_3'''	r_s	-0.618**	-0.645**	
		r	-0.483*	-0.510*	
$\log CR_6 1+$	SSTS-TSMD	r_s	0.452*	0.193	0.421
		r	0.429*	0.197	0.443* 0.208
$\log CR_6 1+$	WMIS-IMVD	r_s	-0.781**	<0.005	-0.782** <0.005
		r	-0.760**	<0.005	-0.788** <0.005
$\log CR_6 1+$	SSTF-TSMP	r_s	-0.094	-0.213	
		r	-0.126	-0.227	
$\log CR_6 1+$	Year-Año	r_s	-0.643**	<0.005	-0.670** <0.005
		r	-0.657**	<0.005	-0.734** <0.005
$CR_6 1+$	MCSI-PIVC	r_s	0.173	0.246	
		r	0.178	0.193	
$CR_6 1+$	f_6'''	r_s	-0.674**	-0.706**	
		r	-0.568**	-0.604**	

TABLE 25. Adjusted usable effort by purse seiners in the EPO in Class-3 days (f_3'), usable catch of skipjack in tons, quarterly CPUE_{w3}', and annual CPUE_{w3}' for area S-05-080.
 TABLA 25. Esfuerzo cerquero utilizado ajustado en el OPQ, en días de la clase 3 (f_3'), captura utilizable de barrilete, en toneladas, CPUE_{w3}' trimestral, y CPUE_{w3}' anual del área S-05-080.

Year	Qr1	Qr2	Qr3	Qr4	CPUE _{w3} '	Year	Qr1	Qr2	Qr3	Qr4	CPUE _{w3} '
FORSBERGH											
1961	f_3'	0	528	282	556	1969	f_3'	1,035	1,833	662	229
	Catch	0	9,083	2,167	4,832		Catch	3,589	12,970	1,539	657
	CPUE _{w3} '	—	17.20	7.68	8.69	11.19	CPUE _{w3} '	3.47	7.08	2.33	2.87
1962	f_3'	178	1,099	1,553	1,043	1970	f_3'	1,349	568	368	418
	Catch	361	7,732	14,742	3,265		Catch	4,324	2,179	352	831
	CPUE _{w3} '	2.03	7.04	9.49	3.13	5.42	CPUE _{w3} '	3.21	3.83	0.96	1.99
1963	f_3'	663	814	822	1,662	1971	f_3'	3,781	563	293	1,226
	Catch	4,121	11,790	9,599	5,234		Catch	32,139	924	266	3,761
	CPUE _{w3} '	6.21	14.49	11.68	3.15	8.88	CPUE _{w3} '	8.50	1.64	0.91	3.07
1964	f_3'	460	609	643	681	1972	f_3'	1,453	0	448	1,158
	Catch	4,869	3,535	4,039	6,970		Catch	1,001	0	985	3,765
	CPUE _{w3} '	10.59	5.80	6.29	10.23	8.23	CPUE _{w3} '	0.69	—	2.20	3.25
1965	f_3'	1,106	1,159	1,807	1,516	1973	f_3'	1,386	0	558	0
	Catch	7,362	9,150	15,162	5,312		Catch	3,855	0	281	0
	CPUE _{w3} '	6.66	7.89	8.39	3.50	6.61	CPUE _{w3} '	2.78	—	0.50	—
1966	f_3'	1,511	1,949	1,857	1,680	1974	f_3'	1,078	315	0	1,209
	Catch	6,643	13,651	9,408	6,294		Catch	1,439	211	0	4,167
	CPUE _{w3} '	4.40	7.00	5.03	3.75	5.06	CPUE _{w3} '	1.33	0.67	—	3.45
1967	f_3'	1,508	1,006	1,148	616	1975	f_3'	1,924	943	0	2,356
	Catch	15,509	17,255	9,276	3,661		Catch	14,067	3,711	0	19,038
	CPUE _{w3} '	10.29	17.16	8.08	5.94	10.37	CPUE _{w3} '	7.31	3.93	—	8.08
1968	f_3'	716	754	1,090	360	1976	f_3'	3,210	541	531	1,524
	Catch	7,402	6,022	3,304	877		Catch	8,031	1,568	203	4,398
	CPUE _{w3} '	10.34	7.99	3.03	2.44	5.95	CPUE _{w3} '	2.50	2.90	0.38	2.89

APPARENT ABUNDANCE OF SKIPJACK

TABLE 25. (continued)
TABLA 25. (continuación)

Year	Qr1	Qr2	Qr3	Qr4	CPUE _{w3} '	Year	Qr1	Qr2	Qr3	Qr4	CPUE _{w3} '
1977	f_3' Catch CPUE ₃ '	2,069 5,337	983 983	440 253	1,615 3,684	1981	f_3' Catch CPUE ₃ '	1,463 2,484	381 327	0 0	3,362 4,756
1978	f_3' Catch CPUE ₃ '	2,58 1,408	983 531	0 0	2,245 3,798	1982	f_3' Catch CPUE ₃ '	1,173 2,050	0 0	259 691	732 337
1979	f_3' Catch CPUE ₃ '	1,53 1,936	71 0	— 0	1,69 3,355	1983	f_3' Catch CPUE ₃ '	1,75 616	— 375	2,67 0	0,45 2,393
1980	f_3' Catch CPUE ₃ '	1,126 513	1,754 321	0 0	2,001 1,307	1984	f_3' Catch CPUE ₃ '	0,99 1,013	— 0	10,746 553	4,49 2,098
		0,46	0,18	—	0,65	0,43		1,026 1,01	— —	282 0,51	2,239 1,07

TABLE 26. Mean quarterly CPUE_{3'} and mean annual CPUE_{w3'} (in tons/day) for skipjack from purse seiners in area S-05-080 and number of years with usable data for three periods.

TABLA 26. CPUE_{3'} cerquera media trimestral y CPUE_{w3'} media anual (en toneladas/día) de barrilete en el área S-05-080, y número de años con datos utilizables para tres períodos.

Period—Período		CPUE _{3'}				CPUE _{w3'}
		Qr1	Qr2	Qr3	Qr4	Annual
1961-1968	tons/day toneladas/día	7.22	10.57	7.46	5.10	7.59
	number of years número de años	7	8	8	8	
1969-1976	tons/day toneladas/día	3.72	3.34	1.21	3.66	2.98
	number of years número de años	8	6	7	7	
1977-1984	tons/day toneladas/día	1.44	0.86	1.25	1.59	1.29
	number of years número de años	8	5	3	8	

TABLE 27. Coefficients of correlation for annual $\log\text{CPUE}_{w3}'$, CPUE_{w3}' , $\log\text{CPUE}_{w6}'$, and CPUE_{w6}' for skipjack from purse seiners in area S-05-080 versus various independent variables. d.f. = 22.

TABLA 27. Coeficientes de correlación para $\log\text{CPUE}_{w3}'$ anual, CPUE_{w3}' , $\log\text{CPUE}_{w6}'$, y CPUE_{w6}' de barrilete capturado por barcos cerco en el área S-05-080 versus varias variables independientes. g.l. = 22.

Independent Independiente	Dependent Dependiente	Variable		Dependent Dependiente	r_s	r
		r_s	r			
SSTS-TSMD	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	0.149	0.081	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	0.086	0.034
WMIS-IMVD	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.507*	-0.441*	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.434*	-0.365
SST mean-TSM media	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.296	-0.298	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.413	-0.336
SST gradient- pendiente de TSM	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	0.562**	0.569**	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	0.636**	0.668**
Year-Año	$\log\text{CPUE}_{w3}'$	-0.840**	-0.849**	$\log\text{CPUE}_{w6}'$	-0.789**	-0.811**
MCSI-PIVC	CPUE_{w3}'	-0.166	-0.141	CPUE_{w6}'	0.100	-0.098
Skipjack catch in 6 surrounding areas— Captura de barrilete en 6 áreas adyacentes	CPUE_{w3}'	-0.400	0.259	CPUE_{w6}'	-0.191	-0.274

TABLE 28. Coefficients of correlation for quarterly logCPUE₃' for skipjack from purse seiners in area S-05-080 versus mean SST and the north-south SST gradient in the area 0°–4°S, 81°W–83°W.

TABLA 28. Coeficientes de correlación de logCPUE₃' trimestral de barrilete capturado por barcos cerqueros en el área S-05-080 versus TSM media y la pendiente norte-sur de las TSM en el área 0°–4°S, 81°W–83°W.

Independent variable— Variable independiente	d.f.—g.l.	Qr1	Qr2	Qr3	Qr4
		21	17	15	20
SST mean—TSM media	r_s	−0.134	−0.273	−0.061	−0.184
	r	−0.277	−0.173	−0.026	−0.301
SST gradient— pendiente de las TSM	r_s	0.569**	0.157	−0.162	0.358
	r	0.529**	0.215	−0.188	0.555**

TABLE 29. Combined catches of skipjack landed in Ecuador by Ecuadorean baitboats and by unknown gear; known skipjack catch, effort, and skipjack CPUE_u for Ecuadorean baitboats.

TABLA 29. Capturas combinadas de barrilete descargado en el Ecuador por barcos de carnada ecuatorianos y de arte desconocida; captura conocida de barrilete, esfuerzo, y CPUE_u de barrilete de barcos de carnada ecuatorianos.

Year Año	Baitboats + unknown— Barcos de carnada + desconocidos		Baitboats— Barcos de carnada	
	Catch—Captura tons		Catch—Captura tons	Effort—Esfuerzo days—días
1957	1,460		—	—
1958	2,944		—	—
1959	6,965		—	—
1960	6,207		6,012	3,307
1961	12,199		11,359	3,761
1962	10,680		10,448	3,215
1963	13,344		11,344	3,710
1964	9,832		6,229	2,404
1965	14,755		14,144	4,599
1966	10,611		8,823	3,740
1967	17,375		12,646	3,893
1968	13,976		2,909	862
1969	15,909		3,246	982
1970	7,920		—	—
1971	10,719		3,169	1,499
1972	3,044		2,091	1,149
1973	3,225		2,448	1,656
1974	4,699		4,083	2,378
1975	7,784		7,325	2,285
1976	1,970		1,576	874
1977	3,567		1,784	877
1978	1,681		461	317
1979	1,796		343	252
1980	2,483		693	337
1981	1,469		641	410
1982	578		179	52
1983	760		406	96
1984	1,104		565	174
1985	88		30	11

TABLE 30. Coefficients of correlation for $\log\text{CPUE}_u$ and CPUE_u for skipjack from Ecuadorian baitboat *versus*: environmental variables and year; skipjack catches by purse seiners in areas 00-075, 00-080, and S-05-080; and CPUE_{w3}' from purse seiners in area S-05-080. Coefficients are given for baitboat years having three required minimum values of effort (in fishing days).

TABLA 30. Coeficientes de correlación para $\log\text{CPUE}_u$ y CPUE_u de barrilete capturado por barcos de carnada ecuatorianos *versus*: variables ambientales y año; capturas cerqueras de barrilete en las áreas 00-075, 00-080, y S-05-080; y CPUE_{w3}' cerquera en la zona S-05-080. Se presentan coeficientes para años de barcos de carnada con tres valores mínimos de esfuerzo requisitos (en días de pesca).

Dependent Dependiente	Independent Independiente		Required minimum effort— Esfuerzo mínimo requerido		
			250	500	1,000
d.f.—g.l			18	14	10
$\log\text{CPUE}_u$	SSTS-TSMD	r_s r	0.180 0.149	0.328 0.270	0.242 0.102
$\log\text{CPUE}_u$	WMIS-IMVD	r_s r	-0.300 -0.409	-0.576* -0.609*	-0.507 -0.546
$\log\text{CPUE}_u$	SST-TSM	r_s r	-0.047 -0.014	-0.278 -0.221	-0.276 -0.260
$\log\text{CPUE}_u$	Year-Año	r_s r	-0.676** -0.749**	-0.496 -0.634**	-0.437 -0.629*
CPUE_u	MCSI-PIVC	r_s r	-0.032 0.004	0.135 0.161	-0.051 0.029
CPUE_u	PS catch— Captura cerquera	r_s r	0.271 0.270	0.505 0.337	0.518 0.377
CPUE_u	PS CPUE_{w3}'	r_s r	0.764** 0.793**	0.650** 0.737**	0.725* 0.821**

LA INFLUENCIA DE ALGUNAS VARIABLES AMBIENTALES SOBRE
LA ABUNDANCIA APARENTE DEL ATÚN BARRILETE, *KATSUWONUS PELAMIS*,
EN EL OCEÁNO PACÍFICO ORIENTAL

por

Eric D. Forsbergh

EXTRACTO

La abundancia de larvas de barrilete en el Pacífico central y occidental se multiplicó por dos, aproximadamente, por cada aumento de 1°C en la temperatura de la superficie del mar (TSM) entre 23°C y un máximo de unos 29°C, y luego generalmente disminuyó con más aumentos en la TSM. Las larvas de barrilete son escasas en el Océano Pacífico oriental (OPO), y por lo tanto se cree que la mayoría de los reclutas y adultos en esta zona surgieron del Pacífico central, y posiblemente también del Pacífico occidental.

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE), en toneladas cortas por día de pesca, y la tasa de captura, en número de peces por día de pesca, son estimaciones de la abundancia aparente en una pesquería. El logaritmo de la CPUE anual de barrilete lograda por barcos de carnada en el OPO en el período 1934–1960 se correlacionó positivamente con la TSM en la zona de desove en el Pacífico central de 18 meses antes ($r^2 = 0.31$), durante el período de junio–julio en el cual se cree que nació la mayoría de los reclutas en cada cohorte. No se dispuso de datos suficientes sobre otras variables ambientales para comprobarlos con los datos de los barcos de carnada.

Las demás variables ambientales disponibles y seleccionadas para someterlas a pruebas de correlación con las estimaciones de la abundancia del barrilete de barcos cerqueros en el período 1961–1984, y las razones por su selección, son las siguientes: 1) Índice de mezcla por el viento (IMV). El grado de mezcla en las capas superiores del océano es proporcional al cubo de la velocidad del viento, llamado IMV. Es posible que el grado de mezcla en las zonas de desove del Pacífico central y occidental afecte la concentración de los organismos que alimentan a las larvas del barrilete, afectando así la supervivencia de éstas, y finalmente determinando el tamaño de las cohortes y el número de reclutas a la pesquería del OPO. 2) TSM en la zona de pesca al realizarse la pesca (TSM). Se ha mostrado que la relación de la CPUE del atún aleta amarilla a la TSM en la zona de pesca es inversa, y existen indicaciones que la CPUE de barrilete es inferior durante eventos del Niño, cuando las TSM son superiores a lo normal. 3) Gradiente norte-sur de las TSM a través del frente térmico frente al Golfo de Guayaquil. Esto es una medida del grado de afloramiento y enriquecimiento nutritivo del nivel superior de las aguas al sur de dicho frente, y finalmente de la producción de alimento para los atunes. 4) La velocidad de la Contracorriente Ecuatorial del Norte (CCEN). Es posible que los bariletes juveniles migren del Pacífico central al Pacífico oriental en la CCEN, que fluye hacia el este; de ser así, es posible que la cantidad de reclutas se vea afectada por variaciones en la velocidad de la corriente.

El logaritmo de la tasa anual de captura de reclutas de barrilete por cerqueros de varias banderas en el OPO en el período 1961–1964 estuvo correlacionado de forma positiva con las TSM en la zona de desove del Pacífico central de 18 meses antes ($r^2 = 0.21$), y de forma inversa con el IMV de la zona de desove de 18 meses antes ($r^2 = 0.46$). El logaritmo de la CPUE de los cerqueros en la zona frente al Golfo de Guayaquil no estuvo correlacionado con las TSM en la zona de desove de 18 meses antes, pero sí estuvo correlacionado de forma inversa con el IMV en la zona de desove de 18 meses

antes ($r^2 = 0.19$), y con el gradiente norte-sur de las TSM en la zona de pesca al realizarse la pesca ($r^2 = 0.32$). Ninguna de estas estimaciones de abundancia aparente provenientes de barcos cerqueros estuvo correlacionada con las TSM en las zonas de pesca o con la velocidad de la CCEN en épocas anteriores.

1. INTRODUCCION

El atún barrilete, *Katsuwonus pelamis*, se encuentra distribuido en el Pacífico en latitudes tropicales y subtropicales, generalmente en aguas que superan los 20°C en la superficie. Debido a las corrientes cálidas que fluyen hacia los polos en el Océano Pacífico occidental, ocurren comúnmente entre 40°N y 40°S, aproximadamente, mientras que en el Océano Pacífico oriental (OPO) las corrientes frías que fluyen hacia la línea ecuatorial les limitan a entre 30°N y 30°S (Brock, 1959; Kearney, 1978; Matsumoto y Skillman, 1984). Matsumoto y Skillman (1984) señalan occurrences excepcionales de barriletes a 50°N en el Pacífico occidental y 49°N en el oriental, y hasta 49°S a longitud 180° y hasta 35°S en el OPO. Frente a Tasmania se han registrado barriletes en latitud 43°S (Blackburn y Serventy, 1981).

En el Pacífico occidental existen importantes pesquerías comerciales del barrilete cerca del Japón, las Islas Ryukyu, Taiwan, las Islas Bonin, las Islas Marianas, las Islas Carolinas occidentales, las Filipinas, Indonesia, Papua Nueva Guinea, las Islas Salomón, Kiribati, Fiji, Australia, y Nueva Zelanda. En el Pacífico central existen pesquerías cerca de las Islas de Hawaii y en la Polinesia Francesa, y en el OPO cerca de Baja California, las Islas Revillagigedo, la Isla Clipperton, Centroamérica, el norte de América del Sur, la Isla de Cocos, y las Islas Galápagos. Capturas incidentales de barrilete logradas por palangreros pescando atunes y peces espada se ven ampliamente distribuidas por el Pacífico entero (Miyake, 1968; Matsumoto, 1975).

En 1984 la tonelaje total capturado en todos los océanos del mundo fue 1,054,000 toneladas métricas (1,162,000 toneladas cortas), el 78% del cual (822,000 toneladas métricas/906,000 toneladas cortas) se capturó en el Pacífico (Anónimo, 1987a). Para este informe se define el OPO como las aguas al este de 150°W al norte de la línea ecuatorial y al este de 130°W al sur de dicha linea, y se presentan todas las capturas de esta zona en toneladas cortas. Se han logrado capturas significativas de barrilete en el OPO desde 1918 (Shimada y Schaefer, 1956), y se dispone de estadísticas de captura confiables a partir de 1934. Las capturas anuales en el OPO solieron aumentar hasta 1950; entre 1950 y 1974 no se detecta ninguna tendencia aparente alrededor de la captura media de 74,000 toneladas; durante el período 1975–1982 la captura media fue de 136,000 toneladas; y en el período 1983–1985 disminuyó a un promedio de 62,000 toneladas.

Las capturas y los índices de abundancia aparente de barrilete en la pesquería del OPO han mostrado grandes fluctuaciones anuales (Figura 1). Entre 1934 y 1960, época en la cual predominaban los barcos de carnada, los valores anuales de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) variaron por un factor de tres; desde 1961 han predominado los barcos cerqueros, y los valores anuales han variado por un factor de siete.

Shimada y Schaefer (1956) realizaron la primera investigación de la pesquería del barrilete en el OPO, basándose en datos de la pesca de los barcos de carnada entre 1934 y 1954. Llegaron a la conclusión que las fluctuaciones anuales en la CPUE no estaban asociadas con el esfuerzo pesquero, y que se podrían aumentar mucho las capturas anuales sin afectar la población media. Sugerieron que los cambios en la CPUE se debían a cambios en la disponibilidad, causados por variaciones en el ambiente o el comportamiento de los peces, o en el vigor de las generaciones anuales. Joseph y Calkins (1969) y Pella y Psaropoulos (1975) también concluyeron que la CPUE era independiente del esfuerzo pesquero, y que era más probable que estuviera relacionado a la variabilidad ambiental.

El objetivo del presente estudio es identificar aquellas variables ambientales que pudieran causar fluctuaciones en la CPUE, directamente o indirectamente.

2. FUENTES Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Se dispone de datos de captura y esfuerzo de tres pesquerías en el OPO: la de carnada internacional observada, la cerquera internacional observada, y la pesquería local ecuatoriana, efectuada por barcos de carnada pequeños. Se utilizaron métodos diferentes para calcular la CPUE de cada pesquería.

En el caso de la pesquería de carnada internacional observada, los datos de captura y esfuerzo analizados corresponden al período 1934–1960; se excluyeron los datos posteriores a 1960 debido a la gran reducción en el esfuerzo en años subsiguientes. Para la pesquería cerquera internacional observada, los datos analizados corresponden al período 1961–1984; se excluyeron aquellos anteriores a 1961 porque se consideraban insuficientes los datos de esfuerzo. Los datos del período 1934–1950 provienen de Shimada y Schaefer (1956), y los de 1951–1984 de los archivos de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). Los datos de la pesquería local ecuatoriana incluyen el período 1961–1984, y se obtuvieron de los archivos de la CIAT.

Algunos de los problemas que se encuentran en la estimación del esfuerzo pesquero sobre aletas amarillas y barriletes en el OPO son: 1) la estandarización del esfuerzo entre barcos del mismo tipo pero de distintas capacidades; 2) la conversión de datos de CPUE estandarizados de unidades de carnada a unidades cerqueras, o viceversa; 3) el ajuste por las diferencias en la eficacia de la pesca con tiempo y/o con tipo de cardumen; 4) la repartición del esfuerzo en una pesquería de especies múltiples; y 5) el ajuste por cambios en zonas de pesca.

Broadhead (1962) ideó un método, aplicable al aleta amarilla, para convertir datos de esfuerzo cerquero a datos de esfuerzo de carnada. Posteriormente Bayliff (1971) derivó una ecuación de los mismos datos para convertir datos de esfuerzo de carnada a datos de esfuerzo cerquero. Joseph y Calkins (1969) aplicaron el mismo método al barrilete. Bayliff (1977) examinó de nuevo los datos de Joseph y Calkins, que consistían de 26 parejas de valores de CPUE, eliminó tres parejas por ser valores atípicos, y recalcularó las ecuaciones para convertir datos de CPUE entre artes de pesca (de cerco a carnada y viceversa). Sin embargo, en el presente estudio no se convirtió la CPUE, y se trajeron por separado los datos correspondientes a las dos artes, por las siguientes razones: 1) las ecuaciones de conversión se basan en datos de 1959 a 1961, el único período en el cual suficientes barcos cerqueros y de carnada pescaban simultáneamente en las mismas zonas en gran parte del OPO; 2) hasta fines de 1968 barcos de ambas artes pescaron en algunas de las zonas de pesca tradicionales situadas a menos de varios centenares de millas del litoral y cerca de islas, pero a partir de 1968 los cerqueros se desplazaron hacia el oeste, cubriendo una zona mucho mayor (Figura 2), mientras que los barcos de carnada permanecieron en las zonas tradicionales; 3) se ignora la capturabilidad del barrilete en las nuevas zonas explotadas por los cerqueros, y diferencias significativas en las capturabilidades de las dos artes causadas diferencias en las zonas explotadas haría que las ecuaciones fueran inaplicables a los datos posteriores a 1968; 4) la eficacia de los cerqueros aumentó considerablemente entre 1961 y 1984 (Sección 4.1), pero no se han estudiado los cambios en la eficacia de los barcos de carnada durante esta época. Es sin embargo probable que la eficacia de los barcos de carnada no haya aumentado tan rápidamente como la de los cerqueros, ya que se agregaron a la flota muy pocos barcos de carnada nuevos pero muchos cerqueros (Forsbergh, 1980: Tabla 1). Es posible que la eficacia de los barcos de carnada haya disminuido a partir de 1961, ya que parece que muchos de los mejores capitanes y pescadores abandonaron dicha arte y comenzaron a pescar con cerco. En 1961 los barcos de carnada lograron el 30% de la captura registrada de barrilete lograda por ambas artes en el OPO, pero a partir de dicho año lograron tan sólo entre el 3 y

el 18% (promedio = 8%) de la captura anual registrada; se presume por lo tanto que al descartar los datos de los barcos de carnada no se afectará mucho la estimación de la abundancia aparente del barrilete en el período 1961–1984.

Los barcos atuneros grandes son generalmente más eficaces que los pequeños. Para ajustar por diferencias en la eficacia, se derivaron factores de estandarización para estimar el esfuerzo pesquero en días equivalentes a barcos de una clase de tamaño estándar. Shimada y Schaefer (1956) calcularon factores de eficacia para barcos de carnada de varias clases de tamaño en el OPO a partir de la captura por día de pesca (CPDP), y a continuación los utilizaron para estandarizar el esfuerzo pesquero sobre barrilete a barcos de la clase 3 (capacidad de 101 a 200 toneladas). Joseph y Calkins (1969) descubrieron diferencias significativas en la CPDP entre clases de tamaño para los barcos de carnada internacionales observados en el período 1951–1960 y estandarizaron el esfuerzo a barcos de la clase 4 (capacidad de 201 a 300 toneladas). Allen y Punsly (1984) criticaron el método de estandarización de Shimada y Schaefer (1956), a base del comentario de Gulland (1974) que al recalcular los factores de estandarización cada año la CPUE estandarizada depende de la clase que se selecciona como estándar. Para el presente estudio el esfuerzo de carnada de la CIAT correspondiente al período 1953–1960, estandarizado a días de la clase 4, se convirtió a días de la clase 3, usando factores de eficacia establecidos por la CIAT, y se calcularon de nuevo las CPUE.

Joseph y Calkins (1969) no descubrieron diferencias significativas en la CPDP entre cerqueros internacionales observados en el período 1959–1965, y por lo tanto no estandarizaron el esfuerzo cerquero. Sin embargo, entre 1966 y 1973 el promedio de los factores de eficacia de los cerqueros de la clase 6 (>400 toneladas) fue 1.59 en relación al de los barcos de la clase 3, cifra que se consideró ser significativamente mayor. Por lo tanto se estandarizó el esfuerzo cerquero para el presente estudio. En la Tabla 1 se presentan los números de barcos cerqueros en la flota durante el período 1961–1984, clasificados por clase de tamaño. Entre 1961 y 1963 predominaron barcos de la clase 3, entre 1964 y 1967 los de la clase 4, y entre 1968 y el presente los de la clase 6; a partir de 1972 los barcos de la clase 6 representaron más del 59% de todos los cerqueros, y parece bien claro que hubiera sido más realista una estandarización a esta clase. Sin embargo, los datos de la CIAT sobre el esfuerzo, compilados por zona de 5° y trimestre (estratos de área-trimestre) en el período 1961–1968, están estandarizados a días de la clase 3 pero no a los de la clase 6, mientras que los datos correspondientes al período 1969–1984 están estandarizados a días de ambas clases. La CIAT utilizó el método de Shimada y Schaefer (1956) para estandarizar el esfuerzo cerquero a días de la clase 3 para el período 1961–1973. Los factores de estandarización utilizados para los años subsiguientes fueron los que se obtuvieron para estandarizar a días de la clase 3 en 1973, ya que se consideró insuficiente el número de cerqueros de la clase 3 a partir de 1973.

No se realizó una estandarización para la pesquería local de carnada ecuatoriana, ya que se clasificaban casi todos los barcos en la clase 1 (capacidad ≤50 toneladas).

En la Sección 4.1 se señalan los demás problemas que resultan de diferencias en la eficacia del esfuerzo con tiempo y/o tipo de cardumen, la asignación del esfuerzo, y cambios en zonas pesqueras.

Para investigar las distribuciones de frecuencia de longitud del aleta amarilla y barrilete en las pesquerías epipelágicas del OPO, en 1955 se dividió la zona en 14 zonas de muestreo, de tamaños desiguales, que contenían las zonas pesqueras principales. Desde entonces se han modificado dichas zonas varias veces, para adaptarlas a los cambios en la distribución del esfuerzo pesquero (Hennemuth, 1957 y 1961; Davidoff, 1963; Anónimo, 1974 y 1982).

Hennemuth (1957) describió los métodos utilizados originalmente para obtener muestras de frecuencia de longitud para ambas especies. El objetivo fue obtener un mínimo de una muestra de 50 peces de cada especie capturado por cada arte (carnada y cerco) en cada zona de muestreo en cada mes. Si se obtenían suficientes muestras en un tal estrato (arte-zona-mes), se cesaba el muestreo de ese estrato y se concentraba el esfuerzo de muestreo en aquellos estratos donde se habían tomado

pocas muestras, o ninguna. A continuación se combinaban las muestras por trimestre en estratos extendidos (arte-zona-trimestre), y si un estrato tal incluía dos o más muestras, y sólo entonces, se utilizaron los datos. Se midieron los barriletes del punto del hocico a la furca caudal, al milímetro más cercano, y fueron asignados a la clase de longitud de 1 cm inferior próxima (por ejemplo, se asignaron a la categoría de 40 cm los peces de entre 400 y 409 mm de longitud). Para convertir de longitud a peso se presumió que la longitud media de cada grupo de 1 cm era el punto medio del intervalo, el cual se obtuvo añadiendo 4.5 mm a la longitud medida. Se usaron las ecuaciones siguientes para estimar la cantidad de peces en cada uno de K grupos de longitud diferentes para cada trimestre:

n = número de estratos de arte-zona-trimestre con por lo menos dos muestras;

l_i = número de muestras del estrato i ;

m_{ij} = número de peces de la muestra j del estrato i ;

$m_i = \sum_j^{l_i} m_{ij}$ = número total de peces muestreados del estrato i ;

$y_{ijk} = 1$ si un pez muestreado pertenece al intervalo de longitud k , si no, 0;

$w_{ijk} = 5.623 \cdot 10^{-9} L_k^{3.336}$ = peso en libras (de Hennemuth, 1959) si el pez pertenece al grupo de longitud k ;

L_k = longitud del punto medio, en mm, para el grupo de longitud k ;

$\bar{w}_i = \sum_j^{m_i} \sum_k^K y_{ijk} w_{ijk} / m_i$ = peso promedio de los peces muestreados en el estrato i , todos los grupos de longitud combinados;

$\bar{y}_{ik} = \sum_j^{m_i} y_{ijk} / m_i$ = estimación de la porción del grupo de longitud k en el estrato i ;

$\hat{M}_i = \hat{W}_i / \bar{w}_i$ = estimación del número de peces capturados (por barcos que proporcionan datos de bitácora) en el estrato i ;

\hat{W}_i = captura total registrada (de las bitácoras), en libras, para el estrato i ;

$\bar{\bar{w}} = \sum_i^n M_i \bar{w}_i / \sum_i^n M_i$ = tamaño medio estimado de los peces en la captura total, todos los grupos de longitud combinados;

$$\hat{Y}_k = \sum_i^n M_i y_{ik} / \sum_i^n M_i = \text{porción estimada de la captura que pertenece al grupo de longitud } k;$$

W = captura total registrada para todos los estratos de arte-zona-trimestre con dos o más muestras;

\hat{M} = W / \bar{w} = estimación del número total capturado;

$\hat{M}_k = \hat{M} \hat{Y}_k$ = estimación del número total capturado del grupo de longitud k ;

$N = \sum_{g=i}^h M_g$ = estimación del número total de un grupo de edad en un trimestre, donde g es la primera longitud y h la última.

Este método (sin ponderación) resulta en estimaciones sesgadas de las distribuciones de frecuencia de longitud, subestimando la cantidad de peces capturados y sobreestimando el peso promedio, comparado con las estimaciones ponderadas obtenidas con un método en el cual se pondera cada muestra por la cantidad estimada de peces en la unidad muestreada (Anónimo, 1986: 23-25). Shingu, Tomlinson, y Peterson (1974) describen el método ponderado. Ya que todavía no se dispone de las estimaciones ponderadas para los años antes de 1980, no se utilizaron estimaciones ponderadas en este estudio. Las distribuciones de frecuencia de longitud para 1985 según ambos métodos se presentan en Anónimo (1986: Figura 10), y no son muy distintas. Los pesos promedios anuales estimados de barriletes para el período 1980-1985 obtenidos por el método sin ponderar son entre 5 y 11% superiores a los que se obtienen con el método ponderado (Anónimo, 1986: Figuras 15 y 16).

Durante 1970 y 1971 se compilaron datos sobre larvas de atunes capturadas con redes de arrastre larvales y de plancton; dichos datos provenieron de la literatura y de varias organizaciones investigativas pesqueras en los Estados Unidos y Japón (véase Tabla 15A: Fuentes). Nishikawa *et al.* (1978 y 1985) presentaron datos adicionales sobre las larvas, pero éstos no han sido incorporados al presente informe. Se agruparon los datos por tipo de arrastre, crucero, y zona oceánica. El objetivo fue de determinar si existían correlaciones entre la abundancia, o ocurrencia, de larvas de barrilete y temperatura. Ya que no se midieron las temperaturas sub-superficiales durante muchos de los cruceros japoneses, pero sí se midió siempre la temperatura de la superficie del mar (TSM), sólo se utilizó esta medida.

Se obtuvieron del National Marine Fisheries Service (NMFS) de los Estados Unidos en La Jolla, California, datos sobre TSM y velocidad del viento transmitidos por buques en el mar. Se habían resumido los datos por mes y zona de 5° de latitud y longitud. Brian C. Weare, del Department of Land and Water Resources de la Universidad de California en Davis, proporcionó un conjunto de datos adicional, recolectado por el National Climate Center, en Asheville, North Carolina, de bitácoras de barcos, y resumidos de la misma forma.

Los datos sobre las diferencias en el nivel del mar a través de la Contracorriente Ecuatorial del Norte (CCEN) provinieron de Wyrtki (1979: Figura 3) y de Klaus Wyrtki, de la Universidad de Hawaii.

En el presente estudio, los valores de P y los asteriscos que indican niveles de significado se basan en pruebas bilaterales.

3. EL BARRILETE

3.1 *Problemas en la estimación de los índices de abundancia de las cohortes de barriletes a partir de las capturas del OPO*

Marr (1951) propuso las definiciones siguientes:

"La abundancia es el número absoluto de individuos en una población. La disponibilidad es el grado (porcentaje) en el cual la población es accesible al esfuerzo de una pesquería. La abundancia aparente es la abundancia afectada por la disponibilidad, o el número absoluto de peces accesibles a la pesquería."

Ricker (1975) definió la *capturabilidad* como la proporción de un stock de peces capturada por una cierta unidad de esfuerzo pesquero. Las estimaciones de abundancia aparente aquí utilizadas son CPUE en toneladas por día estandarizado de pesca y tasas de captura en número de peces por día estandarizado de pesca.

El presente estudio se basa en la suposición que los índices de abundancia representan la abundancia real de las cohortes de barriletes capturados en el OPO. Sin embargo, no es cierto que dicha suposición esté completamente justificada. Para obtener dichos índices para una especie explotada, tienen que ser relativamente constantes el período de desove, la tasa de crecimiento, la mortalidad natural, la disponibilidad, y la capturabilidad. Si una o más de estas cinco características varía suficientemente, entonces las estimaciones de abundancia aparente no serán representativas de la abundancia real y no pueden considerarse como índices de abundancia.

Para poder asignar los peces a la cohorte correcta por los métodos aquí utilizados (Sección 4.2), el período de desove deberá ocurrir al mismo tiempo cada año. Si la cohorte es desovada más temprano, se asignarán algunos de los peces mayores incorrectamente a la cohorte anterior, y si se desova más tarde, se asignarán algunos de los peces menores incorrectamente a la cohorte posterior.

Para poder asignar los peces a la cohorte correcta, la curva de crecimiento de longitud contra tiempo deberá ser constante para peces de cualquier edad dentro de una cohorte y para peces de cohortes distintas. Es sin embargo poco probable que la tasa de crecimiento sea constante dentro de una cohorte o entre cohortes. Al principio se estimaron curvas de crecimiento lineales y no curvas que disminuyan de forma exponencial con la edad, y ésto se debe a que el crecimiento observado a partir de progresiones modales parece ser lineal para los tamaños de los barriletes observados en la pesquería. Es probable que el crecimiento de los barriletes del OPO disminuya con edad y tamaño, pero para la mayoría de los peces capturados en dicha zona supone probablemente poca diferencia si se les asigna a una cohorte usando longitud de separación (Sección 4.2) basada en crecimiento lineal o exponencial. Sin embargo, si algunos de los peces de mayor edad crecieran más lentamente, pudieran haber sido asignados a la cohorte incorrecta, ya que su edad hubiera sido mayor de lo que indicaba su tamaño; pero este grupo es tan pequeño que ésto probablemente casi no afectará la estimación de la abundancia de la cohorte.

Es posible que la tasa de crecimiento del barrilete sea mayor cuando el alimento es abundante y menor cuando sea escaso. Tensiones fisiológicas impuestas por parásitos y condiciones ambientales, tal como temperaturas extremas y bajas concentraciones de oxígeno, pueden también reducir la tasa de crecimiento, pero no existen pruebas de estos efectos.

La mortalidad natural puede también variar dentro de y entre cohortes debido a variaciones posibles en las condiciones ambientales. Investigaciones de las tasas de agotamiento de las cohortes

de barriletes en el OPO indican que es todavía imposible distinguir entre mortalidad natural y emigración, y que no se puede estimar la mortalidad natural con los datos actualmente disponibles (Forsbergh, 1987).

Para que la disponibilidad sea constante, una porción constante de los peces de menor edad en una cohorte tendría que entrar en la zona de la pesquería al mismo tamaño cada año. La disponibilidad no sería constante para todas las edades si los peces de mayor edad emigraran de la pesquería, pero se podría calcular una medida relativa de abundancia si cada cohorte emigrara a la misma edad, suponiendo siempre que se satisfacieran todas las demás condiciones. Es probable que tan sólo una porción de los peces de menor edad entre en la zona de la pesquería, y que los demás migren a otras zonas o permanezcan en las zonas de desove. Si entra únicamente una porción, entonces no es probable que sea la misma para cada cohorte; es además poco probable que los peces de mayor edad emigren a la misma edad cada año, y es posible que peces de varias edades en una cohorte migren en diferentes ocasiones. Las migraciones de y a las zonas pesqueras podrían verse afectadas por variables ambientales tales como la velocidad de las corrientes, la abundancia del alimento, y la profundidad y extensión del hábitat de temperatura y oxígeno necesario para la supervivencia del barrilete (Barkley, Neill, y Gooding, 1978).

Para que la capturabilidad sea constante, la composición por edad de los peces tendría que ser siempre igual, o todas las edades de los peces disponibles tendrían que tener la misma capturabilidad. Green (1967) mostró que el porcentaje de lances positivos (con captura) en la pesquería del aleta amarilla y barrilete en el OPO era mayor (63.9%) cuando el gradiente vertical de la temperatura era grande y la termoclina poco profunda, y menor (39.9%) cuando el gradiente era pequeño y la termoclina más profunda. Sugirió que ésto pudiera no ser debido exclusivamente a la temperatura sino posiblemente también a condiciones asociadas tales como la distribución vertical de oxígeno disuelto, que en el OPO disminuye típicamente de unos 5 ml/litro en la capa mixta a 1 ml/litro o menos justo debajo de la termoclina. La tasa de captura del aleta amarilla en el OPO parece ser mayor cuando la termoclina es menos profunda y más marcada (Anónimo, 1983: 73-76); además, la capturabilidad disminuirá si los pescadores evitan las zonas de barrilete o pasan por alto los cardúmenes de barriletes en preferencia a los aleta amarilla.

Se deduce de todo ésto que ninguna de las características del barrilete en el OPO es suficientemente constante como para permitir el cálculo de índices realmente representativos de la abundancia absoluta de la población. Sin embargo, se continúa con los esfuerzos para obtener dichos índices, en espera de llegar a una mayor comprensión del grado de variabilidad y de los factores que lo causan, y eventualmente poder predecir el éxito de la pesca.

3.2 Zonas de desove

Las larvas de barrilete se encuentran generalmente en aguas con TSM superiores a los 24°C (Ueyanagi, 1969). Las aguas cálidas se extienden a latitudes mayores en el Pacífico occidental debido a las corrientes que transportan agua más cálida hacia los polos a lo largo del litoral occidental, mientras que las corrientes frías que fluyen a lo largo del litoral oriental hacia la línea ecuatorial en el OPO limitan la extensión de dichas aguas. La distribución de las larvas de barrilete refleja la distribución consecuente de los isotermos, y se extiende de 35°N a 35°S, aproximadamente, en el oeste, de 30°N a 20°S en el Pacífico central, y de 15°N a la línea ecuatorial en el OPO al este de 100°W (de mapas en Matsumoto, 1966; Ueyanagi, 1969; y Nishikawa *et al.*, 1978 y 1985). Mori (1972) mostró que barriletes juveniles en los estómagos de atunes y peces espada ocurren principalmente en aguas con TSM superiores a los 24°C.

Matsumoto (1966) señala la cantidad media de larvas de barrilete capturadas por arrastre (n/tow) en arrastres oblicuos realizados por barcos estadounidenses al este de 180° por intervalos de longitud de 5° entre 10°N y 10°S: la tasa de captura es mínima al este de 135°W (n/tow = 0 a 0.3), y

mayor entre 135°W y 180° ($n/tow = 0.6$ a 2.7). Ueyanagi (1969) demostró que entre 0° y 10°N aumenta de este a oeste la concentración de larvas de barrilete capturadas en arrastres horizontales de superficie efectuados por barcos japoneses: de 80°W a 120°W, $n/tow = 0.04$; de 120°W a 150°W, 0.14; de 150°W a 180°, 0.28; de 180° a 150°E, 0.46; y de 150°E a 120°E, 0.47. Es imposible comparar las tasas de captura obtenidas por las redes larvales japonesas y las redes de plancton estadounidenses, debido a diferencias en los diámetros y la luz de malla de las redes, y en los métodos y la duración de los arrastres.

Nishikawa *et al.* (1978) demostraron que la concentración de larvas de barrilete aumenta hacia el oeste a partir de 145°W y alcanza su grado máximo entre 150°W y 170°W. Basándose en todos los datos disponibles de arrastres efectuados por barcos japoneses entre 1956 y 1981, Nishikawa *et al.* (1985) mostraron que la cantidad de larvas capturadas por volumen de agua filtrado ($n/1000m^3$) es baja al este de 180° y mucho más elevada al oeste de 180°. Ueyanagi (1969) y Nishikawa *et al.* (1978) señalaron que arrastres de superficie realizados de día rara vez capturan larvas de barrilete. Nishikawa *et al.* (1985) señalan que el aumento en la abundancia aparente de este a oeste pudiera ser exagerada, debido a que la mayoría de los arrastres en el OPO fueron llevados a cabo por barcos de los institutos prefecturales de pesca, que a partir de 1969 sólo efectuaron arrastres superficiales y de día, mientras que los barcos de investigación de la Japan Fisheries Agency casi siempre realizaron arrastres superficiales y sub-superficiales simultáneamente, tanto de día como de noche. De los promedios y distribuciones disponibles de larvas de barrilete en el Pacífico, se consideran más confiables los de Ueyanagi (1969) y Nishikawa *et al.* (1978), ya que se basan exclusivamente en arrastres realizados por la Japan Fisheries Agency, usando métodos consistentes en todas zonas.

3.3 La cuestión de subpoblaciones

Se trató el problema de si existe o no más de una subpoblación de barriletes en el Pacífico durante sesiones de trabajo patrocinadas por la South Pacific Commission (SPC) (Anónimo, 1980 y 1981). Se concluyó durante dichas sesiones que los barriletes del Pacífico no son panmícticos, conclusión basada principalmente en el estudio de las frecuencias génicas de naftil esterasa en plasma (suero sanguíneo), transferina en plasma, y deaminasa de la guanina en eritrocitos en la sangre del barrilete, y las liberaciones y recapturas de peces marcados. En una población panmictica todos los peces pertenecen a una sola población, y una hembra adulta cualquiera tiene igual probabilidad de reproducir con cualquier macho en la zona entera de la distribución geográfica. Se consideraron dos hipótesis principales como las más probables para la estructura poblacional del barrilete en el Pacífico: la hipótesis clinal y la hipótesis de subpoblación distintas.

La frecuencia de naftil esterasa en plasma era constante entre 80°W y 140°W, y aumentó entre 140°E y 130°E (Anónimo, 1981: Figura 3). Según la hipótesis clinal, los barriletes del Pacífico pertenecen a solamente una población, pero la probabilidad de que reproduzcan dos peces cualquiera es inversamente proporcional a la distancia entre los dos, y las diferencias longitudinales en la frecuencia representan una clina continua o escalonada. Richardson (1983) propuso un modelo de la estructura de la población del barrilete del Pacífico que parece ser similar, y que se basa en la suposición de que el desplazamiento es aleatorio y que el único obstáculo al desplazamiento es la distancia.

Según la hipótesis de poblaciones distintas, propuesta originalmente por Fujino (1970), existen dos o más poblaciones de barriletes en el Pacífico, que son genéticamente distintas y mayormente aisladas en lo que a la reproducción se refiere, y las diferencias longitudinales en la frecuencia no representan una clina. Es posible que la población oriental y la occidental se sobrepongan, pero algún mecanismo comportamental tendría que prevenir la hibridización: por ejemplo, temporadas o zonas de desove diferentes (Anónimo, 1984: 90). Sin embargo, se observó que la TSM y la salinidad superficial presentaban declinaciones a través del Pacífico, y las diferencias

longitudinales en la frecuencia de naftil esterasa en plasma podría estar relacionado a alguna variable ambiental de este tipo (Anónimo, 1981: 26).

Forsbergh (1988) examinó de nuevo los datos y llegó a la conclusión que parece más probable la hipótesis de subpoblaciones distintas que la clinal. Para el propósito de estimar los índices de abundancia del barrilete de la pesquería del OPO (Sección 4.2), se supuso que existe tan sólo una subpoblación en el OPO, pero se admite la incertidumbre de dicha suposición.

3.4 Las corrientes oceánicas en las hipótesis de migración

Williams (1972) propuso tres modelos posibles para la migración del barrilete de las zonas de desove del Pacífico central al OPO: un modelo de migración activa, según el cual los peces nadan hacia el este contra las Corrientes Ecuatoriales del Norte y del Sur (CEN y CES), que fluyen hacia el oeste; un modelo de migración pasiva, según el cual los peces son llevados hacia el este por las Contracorrientes Ecuatoriales del Norte y del Sur (CCEN y CCES); y un modelo giratorio, según el cual los peces de la pesquería del norte son llevados por el giro de la masa de agua ecuatorial del norte, el cual fluye en sentido contrario a las manecillas del reloj, y la mayoría de los peces de la pesquería del sur es llevada por un giro formado por la CCEN y la CCES, el cual fluye en la dirección opuesta. Richard A. Barkley y Richard S. Shomura (Williams, 1972) sugirieron que la Subcorriente Ecuatorial (SCE), conocida también como la Corriente de Cromwell, podría también llevar barriletes juveniles al OPO. Forsbergh (1988) trató estas posibles rutas de migración, y concluyó que todavía no se sabe cuál es la más realista, pero que la CCEN o la SCE permitiría a los peces realizar el viaje con mayor rapidez y con menor gasto energético que al nadar contra la CEN o la CES. Sin embargo, en la SCE las temperaturas parecen ser demasiado bajas para las larvas y los juveniles, y las concentraciones de oxígeno demasiado bajas para peces de longitud >35 cm.

Gunter R. Seckel (c.p.), antiguamente del NMFS, Honolulu (Hawaii), sugirió la investigación de la relación entre las variaciones en la velocidad de la CCEN y las tasas de captura del barrilete en el OPO. Sobre la base del modelo de migración pasiva de Williams (1972), sugirió que más barriletes juveniles serían llevados hacia el este cuando la corriente fuera fuerte, y menos cuando fuera débil.

3.5 El crecimiento

Josse *et al.* (1979) revisaron y criticaron los métodos y resultados de numerosas investigaciones de las tasas de crecimiento de barriletes adultos. Concluyeron que de los varios métodos que se han utilizado para estimar dicho crecimiento, los menos confiables son contar las marcas temporales en las vértebras, escalas, y espinas dorsales, y seguir las progresiones modales de las frecuencias de longitud; el conteo de incrementos diarios en los otolitos es más confiable, y el más confiable de todos es la medición del crecimiento entre marcado y recaptura.

Se obtuvo una estimación de 17.4 cm/año para el crecimiento lineal del rango de tamaños encontrados con mayor frecuencia en la pesquería del OPO (35–65 cm) a partir de las progresiones modales (Anónimo, 1976: 48–49). Joseph y Calkins (1969) estimaron el crecimiento del barrilete en el OPO a partir de datos de marcado mediante la función de crecimiento de von Bertalanffy (vB). Se usaron dos tratamientos: sin promediar ni agrupar los datos, y promediándolos o agrupándolos para evitar los efectos de una gran cantidad de devoluciones a corto plazo comparada con la cantidad inferior de devoluciones a largo plazo. Los parámetros de la ecuación vB correspondientes a los datos sin promediar fueron $L_{\infty} = 72.9$ cm y $K = 0.82$, la longitud a los 12 meses fue 41 cm, y el crecimiento fue 18 cm en el año siguiente, similar a la tasa de crecimiento obtenida de las progresiones modales. Para los datos agrupados $L_{\infty} = 88.1$ cm y $K = 0.43$, la longitud a los 12 meses fue 31 cm, y el crecimiento fue 20 cm en el año siguiente. Joseph y Calkins (1969) advirtieron que las edades estimadas podrían no representar las edades verdaderas, ya que se supuso que la función de crecimiento de vB se aplica también a los tamaños de peces entre los recién desovados y los

reclutados por primera vez, y que la curva de crecimiento correspondiente a este rango de tamaños pudiera no seguir la curva de crecimiento de vB.

Bayliff (1988) estimó los parámetros de la ecuación de vB para barriletes en el Pacífico, a partir de datos de marcado correspondientes a peces medidos al centímetro más cercano al ser liberados. Para los datos sin agrupar, $L_{\infty} = 88.5$ cm y $K = 0.658$; para los datos agrupados, $L_{\infty} = 84.6$ cm y $K = 0.829$ (Figura 2: curva 1 de vB). Según esta segunda curva los peces de 40 cm de longitud crecen 25 cm en los doce meses siguientes. En la Tabla 2 se presentan las tasas de crecimiento del barrilete obtenidas a partir de datos de marcado del OPO por intervalos de longitud de liberación de 5 cm. Con la excepción del intervalo de 65 cm, las tasas de crecimiento disminuyen con el aumento en el tamaño, tal como se espera de la ecuación de vB. La tasa de crecimiento media de los tamaños más frecuentes de los peces fue 21.6 cm/año.

Wild y Foreman (1980) contaron incrementos de crecimiento diarios en los otolitos de barriletes de las Islas Revillagigedo y de frente a Baja California que habían sido marcados, inyectados con tetraciclina para marcar el otolito, liberados, y recapturados. Para 16 peces con fechas de recuperación exactas, el cociente de la cantidad de incrementos observables depositados en el otolito después de la marca de tetraciclina al número de días en libertad osciló entre 0.46 y 1.00, con un coeficiente de variación (C) de 0.22. Al incluir 10 peces con fechas de recuperación inexactas, el cociente osciló entre 0.45 y 1.09, con $C = 0.24$ (de Wild y Foreman, 1980: Tabla 8). Esta variación impide la estimación del crecimiento del barrilete del OPO a partir del conteo de los incrementos.

Uchiyama y Struhsaker (1981) estimaron la curva de crecimiento de vB a partir de los incrementos de crecimiento diarios en los otolitos de 51 barriletes del Pacífico central de entre 3.7 y 80 cm de longitud (se obtuvieron los peces de longitud <20 cm de los estómagos de barriletes capturados con curricán y de las regurgitaciones de aves marinas, *Sula* sp.; los peces mayores de 20 cm fueron pescados con curricán o en la pesca comercial). Según se sabe, éste es el único estudio del crecimiento del barrilete en el Pacífico en el cual las estimaciones de las edades correspondientes a los tamaños capturados en la pesquería pueden tratarse con cierto grado de confianza, ya que se dispone también de estimaciones de la edad de peces de menor edad. Según la curva 2 de vB (Figura 3) los peces de 12 meses de edad miden 44 cm, crecen 25 cm en el año siguiente, y 14 cm más en el subsiguiente. Se descubrió que las tres stanzas de crecimiento lineal corresponden a los datos mejor que la curva de vB: la tasa de crecimiento fue equivalente a 58 cm/año para 11 peces de hasta 27 cm de longitud, 29 cm/año para 35 peces de entre 27.0 y 71.4 cm, y 10 cm/año para 5 peces de entre 71.4 y 80.3 cm. Las curvas de crecimiento de vB y las stanzas lineales son similares para los datos del Pacífico central, sin embargo, y a edades inferiores a los 30 meses ambas son muy parecidas a la curva 1 de vB de los datos de marcado agrupados del OPO (Figura 3). Wild y Foreman (1980) establecieron que la tasa media de deposición de incrementos del barrilete del OPO es ligeramente inferior a uno diario. Si ésto es también cierto en el caso del barrilete del Pacífico central, entonces la tasa de crecimiento verdadera sería inferior a la estimada. Hasta ahora no se ha realizado ningún estudio de tetraciclina de los peces del Pacífico central, y por lo tanto se supone que cada incremento representa un día. Uchiyama y Struhsaker (1981: Figura 4) también presentan curvas de vB para el barrilete calculadas a partir de datos de marcado y de progresiones modales de investigadores previos, y todas indican un crecimiento de 20–22 cm entre los 12 y los 24 meses.

A partir de los datos de marcado de la SPC, Sibert, Kearney, y Lawson (1983: Tabla 10) obtuvieron parámetros medios de la función de vB de $L_{\infty} = 62.5$ cm y $K = 2.00$ de las estimaciones de barriletes de seis naciones del Pacífico occidental. La curva 3 de vB en la Figura 3 muestra que en el primer semestre los peces del Pacífico occidental crecen más rápidamente que los del OPO, que crecen a más o menos el mismo paso en el segundo semestre, y que a partir de entonces crecen más rápidamente los del OPO. Sin embargo, ya que se carece de datos sobre los peces menores del Pacífico occidental, es posible que el crecimiento rápido aparente de los peces jóvenes sea un artefacto.

4. ANALISIS

4.1 *El esfuerzo cerquero y la captura por unidad de esfuerzo*

Los objetivos de esta sección son 1) ajustar el esfuerzo de pesca cerquero por cambios en la eficacia desde 1961, y 2) estimar de forma más realista la CPUE de barrilete mediante la eliminación del esfuerzo dirigido principalmente hacia el aleta amarilla.

El precio del atún varía según el tamaño del pez, con precios más elevados pagados para los peces más grandes. Cuando las aletas amarillas son abundantes, los barcos cerqueros pasan frecuentemente por alto las zonas de pesca de barrilete y los cardúmenes de barriletes, a causa del mayor valor económico del aleta amarilla. En 1985, 1986, y 1987 se lograron capturas grandes de aleta amarilla en el OPO: 240,000, 296,000, y 306,000 toneladas, respectivamente. Esto resultó en una menor demanda de barrilete, y según los pescadores se pasaron muchas veces por alto cardúmenes de esta especie, en espera de regresar con una carga completa de aleta amarilla, aunque a veces lograron solamente capturas parciales de aleta amarilla y poco o ningún barrilete. El esfuerzo verdadero dirigido hacia el barrilete es una fracción del esfuerzo registrado, y las proporciones dependen del grado en el cual se evitan las zonas de barrilete y se pasan por alto los barriletes que se encuentran. Ya que se ignora el esfuerzo verdadero, se tiene que estimar la capturabilidad a partir del esfuerzo registrado, que siempre será inferior al esfuerzo real. Esto resulta en estimaciones de capturabilidad inferiores a la verdadera. Para evitar este problema, se clasificaron los datos de CPUE de barrilete para estos años como desconfiables y se les excluyó del análisis.

Punsly (1987) investigó los efectos de las características de los barcos sobre la tasa de captura del aleta amarilla en el OPO durante el periodo 1970–1985. Se estudiaron los efectos de capacidad, velocidad, el uso de un avión para localizar los cardúmenes y/o lanzar la red, las dimensiones de la red, y el capitán. La única característica significativa fue la velocidad del barco, efecto que se podría explicar en parte por el mayor área buscado por unidad de tiempo por los barcos más rápidos. Todavía no se ha realizado este análisis para el barrilete, pero es probable que la velocidad del barco sea también importante para esta especie. En este informe se calculó para cada año la velocidad de crucero nominal media de todo cerquero que pescó en el OPO y capturó por lo menos una tonelada de aleta amarilla o barrilete, y en años recientes se incluyeron también barcos que capturaron aleta azul. La velocidad de crucero nominal media aumentó de 9.3 nudos en 1961 a 12.4 nudos en 1976, y desde entonces ha permanecido a más o menos ese nivel (Tabla 3 y 3A). Los archivos de la CIAT no contienen datos sobre las velocidades de búsqueda verdaderas, que pudieran haber sido inferiores a las velocidades de crucero nominales, especialmente si se redujeron éstas en los años 70 para conservar combustible al aumentar el precio de éste. No se ajustó el esfuerzo de pesca para la velocidad, ya que el procedimiento de estandarización incluye el efecto de velocidad.

En la Sección 2 se explican las razones por estandarizar el esfuerzo cerquero a días de la clase 3. Se presume que la velocidad de los cerqueros de la clase 3 no ha cambiado con el tiempo, y que la zona buscada por unidad de tiempo ha permanecido igual para esta clase de acarreo. Los factores de eficacia usados para estandarizar en el periodo 1974–1984 se obtuvieron en 1973, ya que a partir de ese año no habían suficientes cerqueros de la clase 3. Parece que las estimaciones de esfuerzo estandarizado de 1974–1984 son dudosas.

Se ha estimado la CPUE de aleta amarilla a partir de datos de captura y esfuerzo de cerqueros de la clase 6 únicamente, para así intentar evitar los problemas de la estandarización (Anónimo, 1988). En este informe se obtuvo la CPUE de barrilete de barcos de la clase 6 únicamente, de la que se obtuvo de la estandarización de días de la clase 3. Una ventaja del uso de datos de la clase 6 exclusivamente es que se evita el uso de los factores de eficacia dudosos del periodo 1974–1984; una desventaja es que para los primeros años de la década de los 60 dichos datos representan solamente

una pequeña porción de la captura y el esfuerzo total de la flota cerquera. Las estimaciones de la abundancia aparente obtenidos a partir de los datos de la clase 6 de esa época podrían por lo tanto ser menos confiables que aquellas obtenidas de los datos estandarizados.

El tamaño de los cerqueros de la clase 6 ha aumentado con el tiempo. La capacidad media de los barcos de esta clase, ponderada por el número de días de pesca, en cada categoría de capacidad de 200 toneladas dentro de la clase de arqueo fue 680, 980, y 1044 toneladas en 1970, 1975, y 1982, respectivamente (Richard G. Punsly, CIAT, c.p.). En la Tabla 4 se presentan las CPDP anuales medias de barrilete por categorías de 200 toneladas en la clase 6 correspondientes al período 1973-1982. Para cada año se multiplicó la CPDP media de cada categoría en la Tabla 4 por el cociente anual del número de días de pesca en aquella categoría al número de días total, y se sumaron los resultados en las cinco categorías para obtener la CPDP anual esperada. Se excluyeron los datos correspondientes a barcos de capacidad >1,400 toneladas, ya que casi todos los años tenían <500 días de pesca, y los días totales de estas categorías formaban solamente el 8% de los días totales de todas las categorías de la clase 6. La CPDP esperada mostró un aumento gradual de 3.40 toneladas/día en 1973 a 4.11 toneladas/día en 1982, lo cual representa un aumento de 21% en la eficacia de los barcos de la clase 6 durante el período.

Es aparente que se deberían calcular de nuevo los factores de eficacia para un número mayor de categorías de capacidad dentro de la clase 6 actual, y estandarizar el esfuerzo a la categoría más común durante el período enfocado. Sin embargo, no se dispone de suficiente tiempo para realizar una estandarización de este tipo, por estratos de zona y trimestre, para el período entero de 1961 a 1984.

El cociente de lances positivos (CLP) es la proporción del número total de lances cerqueros que capturaron media tonelada o más de barrilete o aleta amarilla. Se combinaron lances sobre objetos flotantes, sobre cardúmenes puros (no asociados con objetos flotantes o delfines), y de tipo desconocido para obtener los CLP medios anuales de barrilete y aleta amarilla (Tabla 3 y Figura 4B). Se excluyeron lances sobre delfines porque se captura principalmente aleta amarilla en éstos, y se supuso que los lances de tipo desconocido eran sobre objetos flotantes o cardúmenes puros. El CLP del barrilete ha sólidamente aumentado con el tiempo, pero muestra una gran variabilidad entre 1961 y 1973; entre 1973 y 1984 la variabilidad disminuyó. El CLP del aleta amarilla en cardúmenes no asociados con mamíferos marinos ha sólidamente variado de forma similar, lo cual sugiere que estas variaciones se deben a factores ambientales desconocidos. Se supone que una línea suavizada trazada por los promedios móviles de cuatro años de los CLP del barrilete, excluyendo el valor atípico de 1972 (véase Figura 4B), representa la tendencia en la eficacia de captura de la especie del arte cerquero. Los valores anuales de la línea de tendencia del CLP del barrilete oscilan entre 0.518 en 1961 y 0.708 en 1984. Se incluyó el efecto de la velocidad completamente en los factores de eficacia del período 1961-1973, y parcialmente en los del período 1974-1984, pero no el posible efecto de mejoras en la tecnología y la habilidad de los pescadores para todas las clases de arqueo. Se decidió por lo tanto ajustar el esfuerzo estandarizado para cambios en el CLP. El factor de ajuste (FA_3) anual utilizado para ajustar el esfuerzo pesquero estandarizado a días de la clase 3 (f_3) para cambios en la eficacia es el cociente del valor de la tendencia del CLP al valor de la tendencia del CLP correspondiente a 1961 (Tabla 3). FA_3 y la velocidad media de los barcos están altamente correlacionadas ($r = 0.946$); en el período de 24 años la velocidad media de los barcos ha aumentado en un 37% y FA_3 en un 39%. Entre 1963 y 1967 la velocidad de los barcos aumentó solamente en un 2%, mientras que la tendencia del CLP aumentó en un 16% (Tabla 3), lo cual indica que una mejora en la habilidad y/o tecnología no relacionada a la velocidad de los barcos pudiera haber sido la causa principal de la tendencia positiva del CLP en este período. Los CLP de cuatro categorías de 400 toneladas de capacidad de acarreo aumentaron de forma irregular con el tiempo. El efecto de la capacidad sobre la tasa de aumento del CLP puede ser ilustrado por la pendiente, b , en la regresión de CLP contra año para cada categoría

(Tabla 5). Todas las pendientes son significativamente diferentes a cero. Las pendientes aumentaron de 0.0051 para la categoría de 1–400 toneladas a 0.016 para la categoría de >1,200 toneladas, lo cual indica que el aumento en el CLP de todas las clases combinadas fue causado no sólo por el aumento en la proporción de barcos de mayor tamaño en la clase 6, sino también por aumentos en la eficacia de todas las categorías en la clase. El ajuste para cambios en el CLP pudiera compensar parcialmente el no haber usado factores de eficacia diferentes para tamaños distintos de barcos de la clase 6.

En años recientes ha aumentado de forma marcada el uso de helicópteros. Antes de 1973, muy pocos barcos los llevaban; en 1976, 5% los tenían; y entre 1981 y 1984, de 32 a 38%. El uso de helicópteros aumenta el área efectiva de búsqueda de los barcos, y pueden así encontrar peces de forma más eficaz. Sería de esperar que el uso de helicópteros en el lance de la red mejoraría el CLP y aumentaría la captura por lance positivo (CPLP). Sin embargo, la inclinación de la línea de tendencia del CLP en la Figura 4 no muestra ningún cambio después de que se hizo común el uso de helicópteros, y es esencialmente recta entre 1966 y 1984. La CPLP del barrilete no aumentó en los años en los cuales aumentó el uso de helicópteros (Tabla 6). Es imposible ajustar el esfuerzo para cambios en la frecuencia del uso de helicópteros hasta que se hayan investigado datos sobre la CPUE de barrilete de barcos con y sin helicóptero.

Se han compilado datos por tipo de lance cerquero correspondientes al período 1971–1983 para el Área Reglamentaria de la Comisión para el Aleta Amarilla (ARCAA). En este período de 13 años la CPLP del barrilete ha sido siempre mayor para lances sobre objetos flotantes que para aquellos sobre cardúmenes puros (Tabla 6), con un promedio de 17.82 toneladas/día para objetos flotantes y 11.92 para cardúmenes puros, una diferencia de casi 50%. La cantidad de lances sobre objetos flotantes aumentó mucho entre 1978 y 1982, y se debería por lo tanto ajustar el esfuerzo de pesca para la proporción de dichos lances, debido a su mayor eficacia. Antes de intentar ésto, se examinó la medida de esfuerzo desarrollada para el aleta amarilla por Allen y Punsly (1984), para determinar si existía una diferencia en el esfuerzo entre ambos tipos de lance. La medida del esfuerzo es el tiempo de búsqueda entre el fin de un lance y el comienzo del próximo, entre las 0600 y las 1800 horas solamente. Entre 1971 y 1983 el tiempo de búsqueda medio para lances sobre objetos flotantes fue 43% mayor a aquél para lances sobre cardúmenes puros en el caso del aleta amarilla, y es posible que exista una diferencia similar para el barrilete. Todavía no se han calculado los tiempos de búsqueda para el barrilete, y es por lo tanto actualmente imposible hacer ajustes de f_3 para distintas eficacias entre ambos tipos de lance.

En la Figura 2 se presentan las distribuciones geográficas anuales de las capturas cerqueras registradas de barrilete por zonas de 1° de latitud y longitud. Una examinación de los datos de esfuerzo y captura en las zonas de pesca de barrilete por estratos de zona de 1°-mes descubrió que existía una gran proporción de estratos con pocos o ningunos datos. La combinación de los datos en estratos de zona de 5°-trimestre resultó en una proporción mucho menor de estratos sin datos o con datos insuficientes, y se utilizaron estos datos en el presente análisis. Para eliminar parte del esfuerzo dirigido principalmente hacia el aleta amarilla se utilizaron al principio solamente los datos de 22 zonas de 5° en las cuales se ha capturado la mayoría del barrilete entre 1961 y 1976 (Figura 5 y Tabla 7). Se utilizaron datos de captura y esfuerzo de cerqueros exclusivamente, y se limitaron a aquellos estratos de zona de 5°-trimestre con un mínimo de 100 días de esfuerzo registrado estandarizado a días de la Clase 3 y con una captura mínima registrada de 200 toneladas de barrilete. Se seleccionaron estos valores arbitrariamente para excluir estratos con esfuerzo insuficiente o capturas pequeñas de barrilete, y se eliminaron así sistemáticamente aquellos estratos en los cuales se dirigió el esfuerzo hacia el aleta amarilla. Se designaron "esfuerzo registrado utilizable" y "captura registrada utilizable" a los datos seleccionados de esta forma para el análisis.

El gráfico de la captura registrada utilizable anual de las 22 zonas contra la captura registrada utilizable total cerquera de todas las zonas al este de 150°W mostró una alineación buena, excepto en 1977, 1978, 1980, 1981, 1983 y 1984, cuando la captura de las 22 zonas cayó debajo de los gráficos de los otros 18 años (Figura 6A y Tabla 8). Las capturas registradas utilizables durante estos seis años y 1982 en aquellas zonas de 5° (Tabla 7) donde se lograron capturas sustanciales fuera de las 22 zonas se añadieron a aquellas de las 22 zonas. En la Tabla 8 se detallan las zonas adicionales y las capturas logradas en ellas. Estas capturas adicionales alinearon los gráficos con los demás, con la excepción de 1977, que permaneció bajo. En dicho año la proporción de cobertura de las bitácoras fue excepcionalmente bajo, 0.793 comparado con un rango de 0.847 a 0.976 para todos los demás años entre 1961 y 1984. Se ajustaron las capturas registradas utilizables combinadas de las 22 zonas y las zonas adicionales para la cobertura de las bitácoras dividiéndolas por la proporción cubierta para obtener la captura utilizable cerquera ajustada en las 22 + zonas (Tabla 8). Se graficó ésto contra la captura total cerquera estimada del OPO, y se descubrió que el gráfico de 1977 se alineó con los demás (Figura 6B; $r^2 = 0.991$).

Con este método se retuvo un promedio de 57% del esfuerzo registrado y un promedio de 88% de la captura registrada en las 22 + zonas de barrilete. Se aplicó de nuevo el método a los datos de los cerqueros de la clase 6, y se limitaron los datos usados a aquellos estratos de zona de 5-trimestre con ≥ 50 días de esfuerzo registrado, y ≥ 200 toneladas de barrilete registrado. Con este método se retuvo un promedio de 67% del esfuerzo registrado y un promedio de 91% de la captura registrada por barcos de la clase 6 en las 22 + zonas. Parece por lo tanto que el método logra eliminar gran parte del esfuerzo dirigido principalmente hacia el aleta amarilla y al mismo tiempo retener la mayoría de la captura de barrilete.

Si el esfuerzo pesquero estuviera distribuido al azar, la estimación anual más sencilla de la abundancia aparente sería la captura registrada utilizable total dividida por el esfuerzo registrado utilizable total; ésto se designa la estimación no ponderada ($CPUE_u$). Si el esfuerzo de pesca no estuviera distribuido al azar, sino concentrado por zona y temporada según la densidad de los peces, la $CPUE_u$ estaría sesgada hacia zonas y temporadas de alta densidad. Se puede minimizar el efecto de la concentración geográfica del esfuerzo si se divide la zona cubierta por la pesquería en sub-zonas y se obtiene la CPUE media de todas las sub-zonas ponderada por el área de cada sub-zona (Gulland, 1955). Similarmente, se puede minimizar el efecto de la concentración por temporada si se divide el año en períodos y se obtiene la CPUE media de todos los períodos ponderada por la duración de cada período. (Los períodos seleccionados son generalmente de duración casi igual (meses, o trimestres) y no es por lo tanto generalmente necesario ponderar por duración de período.) Se obtiene la estimación anual ponderada de abundancia aparente ($CPUE_w$) ajustada para concentración por zona y temporada promediando las CPUE medias de zona y temporada ponderadas. El cociente $CPUE_u : CPUE_w$ es el índice de concentración, medida del éxito de los pescadores en la búsqueda de zonas y temporadas de alta densidad (Gulland, 1955). Un índice de concentración igual a 1 significa que la pesca es aleatoria, >1 que se concentra en zonas de densidad más alta, y <1 que se concentra en zonas de densidad más baja (Calkins, 1963). En este estudio, usando estratos de zona de 5°-trimestre, se dividieron los valores anuales de $CPUE_{u3}$ y $CPUE_{w3}$ por los valores de FA_3 en la Tabla 3 para obtener $CPUE'_{u3}$ y $CPUE'_{w3}$ (Tabla 9). Los gráficos de los índices muestran que 1971 y 1967 son valores atípicos (Figura 7). El índice de concentración osciló entre 0.69 en 1972 y 1.57 en 1971 (Tabla 9), con un promedio de 1.08, lo cual indica que los pescadores tuvieron un éxito en la búsqueda del barrilete 8% mayor del que hubieran tenido si pescaran al azar. Para los datos de la clase 6 el índice de concentración osciló entre 0.61 en 1972 y 1.44 en 1971 (Tabla 10), con un promedio de 1.04.

Si la capturabilidad del barrilete varía con la zona, y si la distribución por zona de f varía con el tiempo, entonces se debería ajustar f para la capturabilidad por zona de acuerdo con los cambios en las proporciones del esfuerzo en las zonas de pesca. El esfuerzo cerquero comenzó a extenderse hacia

el oeste en 1969, con la pesca del aleta amarilla como objetivo, pero también se capturó barrilete en esas zonas de altamar (Figura 4). Se ha calculado el coeficiente de capturabilidad (q) del barrilete para algunas zonas cerca de la costa y para las Islas Revillagigedo (Bayliff, 1977), pero no para las nuevas zonas de pesca de altamar, y por consiguiente no se pueden hacer actualmente ajustes para posibles diferencias. Entre 1961 y 1968 se logró la mayor parte de la captura cerquera de barrilete en las 15 zonas de 5° sombreadas en la Figura 5. A partir de 1969 se lograron capturas significativas en una o más de siete zonas de 5° de altamar entre 5°S y 15°N y en zonas de altamar adicionales ($7+$ zonas). Se calcularon valores anuales de CPUE_{w3'} para las 15 zonas antiguas y las $7+$ nuevas. El promedio de los cocientes de las CPUE_{w3'} de las $7+$ zonas a aquellas de las 15 zonas fue 1.05 en el periodo de 1969–1984, lo cual no indica una diferencia significativa en la CPUE_{w3'} media, y sugiere que q no varía mucho entre las dos zonas.

El ajuste aquí efectuado para cambios en la eficacia de la pesca es sin embargo incompleto, ya que se basa solamente en el CLP, y no toma en cuenta los posibles efecto de ayuda aérea, tipo de cardumen, y diferencias en la capturabilidad en distintas zonas de pesca.

4.2 Grupos de edad y tasas de captura específicas para cada edad

El objetivo de esta sección es de separar las capturas trimestrales de barrilete por grupos de edad, y a continuación calcular la abundancia aparente de las cohortes por trimestre y año. Se define una cohorte como un grupo de peces que fueron desovados dentro de un cierto intervalo de tiempo y en una cierta zona.

Se encuentran larvas de barrilete durante las cuatro estaciones del año en el Pacífico central tropical (Nishikawa *et al.*, 1985: Figuras 49–52), y parece por lo tanto que no haya un periodo de desove bien definido para dicha especie; es posible que existan varios grupos de barriletes desovando en distintas temporadas en el curso del año. Un estudio de las distribuciones de frecuencia de longitud del barrilete del OPO indican el reclutamiento de dos cohortes a la pesquería, a intervalos de unos 6 meses, al igual que en el caso del aleta amarilla (Hennemuth, 1961; Davidoff, 1963). Se hizo un esfuerzo considerable para identificar las dos cohortes a partir de las distribuciones de frecuencia de longitud, por trimestres y zonas de muestreo, comenzando con los datos de 1955, año en que se inició la medición. Al fin se decidió que las identificaciones provisionales eran demasiado sujetivas y dudosas para ser de utilidad, ya que una identificación errónea pudiera llevar a errores serios en el cálculo del número de peces en una cohorte. Los problemas planteados por la posible presencia en la pesquería de dos cohortes de barriletes permanecen por ahora imposibles de solucionar, y la mejor de dos malas alternativas es suponer que existe nada más una cohorte.

A base de la suposición que se desova solamente una cohorte en un periodo de 12 meses en la zona al oeste de 135°W , y que se capturan peces de una cohorte cualquiera en varios años consecutivos (y peces de varias cohortes consecutivas en un año cualquiera), se estimó el número de peces capturado en cada grupo de edad. Se usaron trimestres como períodos de pesca, debido a que se habían compilado por trimestre y no por mes los datos sobre las cantidades de peces capturados por categoría de longitud. Sin embargo, se opina que el uso de datos mensuales y no trimestrales no hubiera modificado de forma significativa los resultados de los análisis.

En la Figura 8 se presentan distribuciones trimestrales de frecuencia de longitud de barriletes capturados por barcos cerqueros en el OPO. En todos los años se logró la mayor parte de la captura al sur de 15°N (Figura 2), pero entre 1980 y 1983 se obtuvieron con frecuencia capturas grandes al norte de dicha latitud, y por lo tanto se presentan por separado para las dos zonas las distribuciones de frecuencia de longitud correspondientes a aquellos años. Generalmente suelen ser similares en los primeros dos trimestres, y varían entre similares y diferentes en los dos últimos.

La longitud media de los peces en la moda mayor en las distribuciones de frecuencia de longitud de barcos cerqueros en el OPO es de 46.6 cm. Tal como se explica en la Sección 3.5, las únicas

curvas de crecimiento del barrilete en el Pacífico para las cuales se puede estimar la edad correspondiente a una cierta longitud con cierto grado de confianza son las que provienen de los estudios de otolitos del Pacífico central de Uchiyama y Struhsaker (1981). Las edades correspondientes a 46.6 cm estimadas a partir de su curva de vB y de su segunda stanza de crecimiento lineal son 13.1 y 13.7 meses, respectivamente. Se supone por lo tanto que los barriletes del OPO tienen la misma edad al alcanzar este tamaño, lo cual señala que la mayoría de los peces capturados en el primer trimestre tienen entre 12 y 15 meses de edad.

En la Sección 3.5 se demostró que en el OPO los barriletes de unos 40 cm de longitud crecen unos 21 a 25 cm en los 12 meses siguientes. Se consideró realista hasta los 30 meses la curva 1 de vB derivada de datos agrupados del OPO (Figura 3), ya que aquella parte de la curva era similar a la curva 2 de vB derivada de otolitos del Pacífico central por Uchiyama y Struhsaker (1981). Dada la variabilidad en las estimaciones de las tasas de crecimiento y el estrecho rango de tamaños en la pesquería (30–70 cm), es poco probable que sea crítico si se usa una curva de crecimiento asintótica, como es la de vB, o un crecimiento sencillo lineal; por lo tanto se decidió usar este último, ya que es el método más sencillo para la investigación de los grupos de edad. Se eligió una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año para separar por tamaño los barriletes en grupos de edad, para conformar con las tasas estimadas de crecimiento de 21–25 cm/año, y porque es fácil de dividir en crecimiento trimestral de 6 cm. Mediante la examinación de las distribuciones de frecuencia de longitud (Figura 8), se asignaron de forma subjetiva las longitudes para separar los barriletes en un trimestre en grupos de edad nominales (edad 0+, <12 meses; edad 1+, 12–24 meses, y edad 2+, >24 meses), de acuerdo con una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año, con la estipulación de estas longitudes de separación aumentaran 6 cm por trimestre para acomodar el crecimiento. Se seleccionaron las longitudes de separación de tal manera que la moda que se consideraba representativa de los peces de edad 1+ en los primeros tres trimestres con mayor frecuencia se encontraba cerca del punto medio entre las longitudes de separación. Se excluyeron las modas en el cuarto trimestre debido a que son a menudo mal definidas. El punto medio entre las longitudes de separación del primer trimestre es 42.5 cm, 4.1 cm inferior al promedio de la moda mayor del período de 24 años; para el segundo, tercero, y cuarto trimestre, el punto medio es 0.9 cm inferior, 3.5 cm superior, y 5.1 cm superior, respectivamente, al promedio correspondiente de la moda mayor. Es aparente que las modas no progresan con la misma rapidez que la tasa de crecimiento de 24 cm/año, lo cual se puede deber, en parte, al reclutamiento continuo (que resulta del desove continuo), que pudiera causar progresiones modales más lentas que la tasa de crecimiento real porque los peces a la derecha de la curva son reemplazados por reclutas a la izquierda de la curva. La estimación de la tasa de crecimiento a partir de los datos de marcado es sin embargo más confiable que la distribución temporal de los reclutas, y por lo tanto se separan aquí los grupos de edad según la tasa de crecimiento estimada, pero sin olvidar que el método podría ser sesgado debido al reclutamiento continuo.

La tasa de crecimiento del barrilete del Pacífico occidental cambia rápidamente con la edad, y a raíz de ésto se ha sugerido que no es aconsejable usar el crecimiento lineal para el barrilete en esa zona y quizás en otras zonas también (Sibert, Kearney, y Lawson, 1983). La Figura 3 muestra que para el barrilete del OPO la curva 1 de vB hasta los 70 cm es muy similar a la curva 2 de vB de los otolitos del Pacífico central. Entre los 12 y 24 meses de edad, las curvas 1 y 2 de vB muestran crecimientos de 21.3 y 24.6 cm, respectivamente, los cuales aproximan el crecimiento lineal de 24 cm/año usados en la mayoría de los cálculos en este trabajo. Se calcularon de nuevo las estimaciones del número de peces en cada grupo de edad, de acuerdo con la curva 1 de vB. En la Tabla 11 se presentan las longitudes usadas para separar los grupos de edad por los dos métodos. En general hay poca diferencia entre las longitudes basadas en un crecimiento lineal de 24 cm/año y aquellas basadas en la curva 1 de vB, con la excepción de los peces de edad 0+ en el primer trimestre y los de edad 2+ en el

cuarto. Sin embargo, ya que se capturan pocos peces <31 cm en el primer trimestre, y >66 cm en el cuarto, el método usado no afecta mucho la estimación del número de peces en los tres grupos de edad, se prosiguió por lo tanto el uso de la tasa de crecimiento de 24 cm/año.

Para ser válidas, las longitudes de separación deberían ajustarse a las distribuciones de frecuencia de longitud con bastante precisión en la mayoría de los trimestres de la mayoría de los años. Un ajuste bueno significa que las longitudes de separación caen cerca de las colas o en los puntos mínimos de las distribuciones, y no cerca de las cimas. La precisión del ajuste puede verse en la Figura 8: parece ser generalmente bueno o satisfactorio durante los primeros tres trimestres del año, pero es frecuentemente pobre durante el último trimestre. Fue muy pobre en los dos primeros trimestres de 1971, durante los cuales se logró la mayoría de la captura de aquel año, y también en los tres primeros trimestres de 1973. Las medidas de la abundancia de las cohortes derivadas de edades asignadas según las longitudes de separación en estos dos años deben ser consideradas como menos confiables que aquellas de otros años.

En la Tabla 12 se presentan las proporciones medias anuales de los barriletes de los tres grupos de edad, basadas en una tasa lineal de crecimiento de 24 cm/año, correspondientes a los años 1961–1984. Las proporciones son bastante consistentes entre 1961 y 1970, pero se hacen más variables a partir de 1971. Ya que en el período 1971–1973 se clasificaron cantidades atípicas de peces en el grupo de edad 2+, se excluyó este período del cálculo de las proporciones medias, y se calcularon éstas por separado para los períodos 1961–1970 y 1974–1984 (Tabla 12). Las proporciones medias de los peces de edad 1+ fueron menores, y las de los peces de edades 0+ y 2+ mayores, en el segundo período. Se ignoran las razones por esta diferencia, pero es posible que la expansión geográfica de las zonas de pesca que comenzó en 1969 (Figura 2) haya abarcado zonas con mayores proporciones de peces más jóvenes y de mayor edad.

Se estimaron las cantidades de barriletes en cada grupo de edad capturada por barcos cerqueros en el OPO por trimestre, usando longitudes de separación para una tasa de crecimiento de 24 cm/año. Se estimó la tasa de captura, en número de peces por día estandarizado de pesca, de la forma siguiente. La captura total cerquera registrada, en toneladas, correspondiente a todo estrato de zona-trimestre con dos o más muestras (W'), dividida por la CPUE_{w3'} trimestral en las 22+ zonas de barrilete de 5° (Sección 2), da por resultado un estimación trimestral del esfuerzo ($f_3'' = W'/\text{CPUE}_{w3'}$) que corresponde a la cantidad trimestral de peces (N), estimado por el método descrito en la Sección 2). Dividiendo N en cada grupo de edad por f_3'' resulta en las estimaciones trimestrales de las tasas de captura específicas para cada edad ($\text{TC}_3 = N(\text{CPUE}_{w3'})/W'$). En la Tabla 13 se presentan los datos usados para estimar las tasas de captura.

Los cálculos demuestran que se capturan pocos peces de edad 0+ en los primeros dos trimestres y muy pocos de edad 2+ en los últimos dos trimestres. Por lo tanto solamente se tomaron en cuenta para la estimación de la abundancia de las cohortes peces de edad 0+ en los últimos dos trimestres de un año, de edad 1+ en todos los trimestres del año siguiente, y de edad 2+ en los primeros dos trimestres del próximo año. Se designó la cohorte según el año en el cual se capturaron los peces de edad 1+, clase que predomina en la mayoría de los años. Por ejemplo, la cohorte de 1963 consistió de peces de edad 0+ capturados en los últimos dos trimestres de 1962, peces de edad 1+ en 1963, y de edad 2+ en los dos primeros trimestres de 1964. En la Tabla 14 se presentan valores de TC_3 para barriletes, basados en una tasa de crecimiento de 24 cm/año, correspondientes a 8 intervalos trimestrales (IT) consecutivos para cada cohorte, desde peces de edad 0+ en el tercer trimestre de un año hasta los de edad 2+ en el segundo trimestre dos años después.

4.3 Variables ambientales y abundancia aparente

En la búsqueda de correlaciones, la probabilidad de encontrar una que parece ser significativa pero para la cual no existe una relación funcional aumenta con la cantidad de variables indepen-

dientes que se somete a la prueba. Si antes de comenzar las pruebas se cree que haya igual probabilidad para cada una de las variables independientes de que exista una relación significativa, entonces se pueda aumentar el nivel de significación mediante la cantidad de variable independientes que se someten a la prueba. Esto resulta en una aproximación de P más realista (Ricker, 1975: 276–277). Por ejemplo, si una variable es significativa a $P = 0.01$, y se han comprobado cinco variables, el valor ajustado es $P = 0.05$. No obstante, Ricker comenta que antes de la prueba se espera que algunas variables tengan generalmente una mayor influencia que otras, y que existe mayor probabilidad de que las primeras correlaciones representen relaciones funcionales, ya que primero se consideran las más obvias. Esto indicaría que se debería aumentar P menos para la primera correlación comprobada, y más para las últimas, pero se ignora el grado de ajuste, y en esta zona de incertidumbre el lector tendrá que decidir por sí mismo la significación de las correlaciones dudosas. En este informe se presenta P sin ajuste y también multiplicado por el número de variables comprobadas.

4.31 Las larvas

En la Sección 3.2 se comentó la distribución geográfica de las larvas del barrilete en el Pacífico; en esta sección se trata la correlación estadística de la concentración de las larvas y las TSM. La fuente de datos más importante fue Ueyanagi (1969); en la Tabla 15A se presenta una relación de las demás.

Se agruparon por zona oceánica y tipo de arrastre los datos sobre larvas de barrilete capturadas en redes de plancton y larvales en el Atlántico y Pacífico por entidades investigativas de varias naciones. Se clasificaron por intervalos de 1°C todos los arrastres efectuados a TSM de entre 20°C (19.5–20.4°C) y 31°C (30.5–31.4°C). No se capturaron larvas de barrilete en los intervalos de TSM inferiores a los 23°C.

En la Tabla 15 se presentan, por intervalos de TSM, las concentraciones medias de larvas de barrilete capturadas por arrastre (n/tow), incluidos los arrastres sin captura de larvas, en cantidades capturadas por 10 m² de superficie del mar, o en cantidades capturadas por 10³ m³ de agua filtrada, así como la proporción (p) de arrastres positivos (con captura de una o más larvas). Las cifras se refieren a grupos de cruceros con cantidades de arrastres bastante mayores.

Ueyanagi (1969: Figura 10) mostró que en el OPO p es mucho más bajo (0.05) para las larvas de barrilete en arrastres superficiales diurnos que en los nocturnos (0.60), mientras que arrastres horizontales subsuperficiales (AHS) a 20–30m producen valores de p similares de día y de noche (0.90 y 0.98, respectivamente). Para el estudio actual se combinaron los arrastres diurnos y nocturnos para todo tipo de arrastre, ya que en la mayoría de los cruceros de los cuales se utilizaron los datos las cantidades de cada eran aproximadamente iguales.

Durante los cruceros del *Shunyo Maru* y el *Shoyo Maru*, ambos del Far Seas Fisheries Research Laboratory en Shimizu (Japón), se realizaron generalmente arrastres superficiales y AHS simultáneos, pero en algunos casos sólo se efectuaron los de superficie. Se realizaron arrastres oblicuos mientras el barco navegaba a velocidad lenta estándar, hundiéndola la red a una profundidad estándar y alzándola a una velocidad estándar. Los estándares eran generalmente consistentes dentro de grupos de cruceros; véase las referencias presentadas en la Tabla 15A.

Dentro de cualquier variable ambiental existen generalmente límites dentro de los cuales las condiciones favorecen el desove y sobrevivencia de los huevos y los juveniles (Ricker 1975: 276). Se espera que la curva de reclutas por reproductor contra la variable ambiental sea en forma de cúpula, que los reclutas por reproductor alcancen un máximo en algún valor de la variable ambiental y posteriormente disminuyan. La mayoría de los conjuntos de datos en la Tabla 15 sugieren un aumento exponencial de la concentración media ($\bar{n} = n/tow$, o $n/10\text{ m}^2$, o $n/10^3\text{ m}^3$) de larvas de barrilete con aumento de TSM en el Pacífico hasta 27–30°C (generalmente 29°C), y hasta 28°C en el

Atlántico, y una disminución con aumentos subsecuentes de la TSM en aquellos casos donde se dispone de suficientes datos. Sin embargo, arrastres AHS del *Shunyo Maru* en el Pacífico occidental (Tabla 15B) no sugieren una disminución de \bar{n} sino un nivel constante con aumentos de las TSM a niveles superiores a los 29°C, pero es posible que el valor de 31°C no sea representativo, ya que se basa en solamente 12 arrastres.

La tasa metabólica de la mayoría de las larvas de peces se multiplica por dos, aproximadamente, por cada aumento de 10°C ($Q_{10} = 2.2$; Reuben Lasker, U.S. NMFS, La Jolla, California, c.p.), y por lo tanto las larvas crecen por el período de vulnerabilidad larval más rápidamente a temperaturas elevadas. Esto daría por resultado que las cantidades de larvas capturadas a temperaturas elevadas fueran menores que si la tasa metabólica fuera constante. Se hicieron ajustes por este efecto, pero las diferencias son despreciables comparadas con la magnitud de los cambios observados en las concentraciones de larvas con TSM. En relación a la concentración de 27°C, el ajuste disminuyó los valores de 25°C en un 15%, y aumentó los de 29°C en un 18%. Gráficos de las concentraciones medias ajustadas para el efecto metabólico (\bar{n}_M) en una escala exponencial contra TSM, provenientes de cruceros con cantidades de arrastres bastante mayores, muestran un aumento lineal hasta un máximo (Figura 9). Se calcularon las pendientes de las regresiones lineales de $\log \bar{n}_M$ y TSM en la porción ascendente de la curva para cada grupo de cruceros. Solamente se utilizaron datos de aquellos grupos de cruceros con un mínimo de cuatro intervalos de TSM consecutivos con concentraciones mayores que cero. Con la excepción de los datos en la Figura 9A, el intervalo de TSM más elevado incluido en los análisis de regresión fue aquel con la concentración máxima. En la Tabla 16 se presentan los resultados. Se calculó una pendiente media para todos los grupos de cruceros combinados en los cuales $r \geq 0.850$. La pendiente media, ponderada por el número de arrastres en cada regresión, fue 0.309. Esto equivale a un factor de aumento de 2.04 (derivado de $10^{0.309}$) en el número de larvas para cada aumento de 1°C en la TSM. La pendiente media ponderada correspondiente a los cruceros del Pacífico únicamente fue 0.306, y el factor 2.02, basados en un total de 2,817 arrastres. Parece que las concentraciones medias de larvas de barrilete en el Pacífico se dobla, aproximadamente, por cada aumento de 1°C en la TSM entre 24° y 29°, y que a los 30° disminuye por una cantidad variable. En el Atlántico la curva es similar, pero el pico parece ocurrir a los 28°C.

Se realizaron análisis similares para otras especies de atunes para las cuales se dispone de datos suficientes, para determinar si la relación entre la concentración de larvas y la TSM existía tan sólo para el barrilete. La concentración de larvas del aleta amarilla alcanzó su máximo a los 29–30°C en 10 grupos de cruceros y a los 27–28°C en un grupo (datos de fuentes mencionadas en la Tabla 15A, y Klause, 1963). Las pendientes oscilan entre 0.230 y 0.642, y la pendiente media ponderada es 0.386, basada en 3,565 arrastres; el factor es 2.43, similar a aquél de las larvas de barrilete. Sin embargo, los datos del Atlántico no mostraron ninguna patrón consistente en las concentraciones de larvas del aleta amarilla y TSM.

Se obtuvieron datos sobre la albacora (*Thunnus alalunga*), el patudo (*T. obesus*), y el aleta azul (*T. thynnus*) de los cruceros del *Shunyo Maru* en el Pacífico occidental de Ueyenagi (1969) y Ueyenagi, Mori, y Nishikawa (1969). La concentración de larvas de albacora alcanzó su máximo a los 26°C, y luego disminuyó gradualmente con aumentos subsecuentes en la TSM; las pendientes fueron 0.401 para arrastres de superficie y 0.591 para arrastres AHS; la pendiente media ponderada fue 0.489, basada en 370 arrastres, y el factor fue 3.08. La concentración de larvas de patudo en arrastres superficiales alcanzó su máximo a los 28–29°C, y la pendiente fue 0.445; las cifras correspondientes para arrastres AHS fueron 30°C y 0.383; la pendiente media ponderada fue 0.413, basada en 1,877 arrastres, y el factor fue 2.59. Las concentraciones de larvas de aleta azul no parecen estar relacionadas a la TSM. Estos análisis indican que al menos tres especies de atunes en el Pacífico muestran curvas de concentración de larvas y TSM en forma de cúpula, similares a aquella del barrilete.

Se ignora si el efecto aparente de la temperatura sobre la abundancia de las larvas se debe a un efecto sobre los reproductores, un efecto directo sobre la supervivencia de las larvas, el efecto indirecto sobre dicha supervivencia de una o más variables ambientales o biológicas relacionados, o una combinación de éstos. Se continúa la discusión de la mortalidad y supervivencia de las larvas en la Sección 4.33.

4.32 *Reclutas y postreclutas*

4.321 *La selección de las variables ambientales*

Las variables ambientales seleccionadas fueron: 1) las TSM en la zona de desove (TSMD); 2) el índice de mezcla por el viento en la zona de desove (IMVD); 3) la temperatura de la superficie del mar en la zona de pesca (TSMP); 4) el índice de la velocidad de la corriente (IVC) de la Contracorriente Ecuatorial del Norte (CCEN); y 5) el gradiente norte-sur de las TSM en la zona frente al Golfo de Guayaquil (área de 5° S-05-080; véase explicación de los códigos de las áreas de 5° en la Tabla 7). Se seleccionó el área S-05-080 para estudio especial porque allí se logró gran parte de las capturas de barrilete del OPO durante los años 60 y 70, pero posteriormente las capturas disminuyeron de forma marcada.

TSMD fue la primera variable ambiental seleccionada porque las concentraciones de larvas de barrilete están tan altamente correlacionadas con TSM (Sección 4.31). Es posible que TSMD, o una o más variables asociadas, determine la fuerza de la cohorte y finalmente la CPUE y la tasa de captura (Sección 4.2) del barrilete en la pesquería del OPO. El desove del barrilete en aguas ecuatoriales ocurre generalmente durante todo el año (Matsumoto, 1966). Más lejos de la línea ecuatorial, el desove suele intensificarse en las temporadas más cálidas (Matsumoto, 1966; Naganuma, 1979; Argue y Kearney, 1983). Estudios histológicos de los ovarios de 87 barriletes capturados en noviembre y diciembre en varios lugares del Pacífico Sur indicaron que el desove ocurre cada 1.18 días, más o menos (Hunter, Macewicz, y Sibert, 1986). No se han realizado estudios de este tipo sobre el barrilete del Pacífico Ecuatorial o Norte, pero es probable que la frecuencia del desove sea similar en estas zonas cuando las condiciones (tal como la temperatura y el alimento) sean favorables. Dado que en los dos hemisferios combinados el desove ocurre durante todo el año, se seleccionó un período de 12 meses como el presunto período de desove. Con base en las estimaciones del crecimiento (Sección 3.5), se supone que los barriletes de edad 1+ capturados en el OPO habían sido desovados en el Pacífico central unos 18 meses antes. Por ejemplo, se supone que peces de edad 1+ capturados entre enero y diciembre de 1983 fueron desovados entre julio de 1981 y junio de 1982. Se seleccionó por lo tanto el período julio-junio para obtener TSMD que se comprobarían para correlaciones con los índices de abundancia del barrilete.

La segunda variable ambiental seleccionada fue IMVD. Lasker (1975) propuso que la supervivencia de las larvas de la anchoa del norte (*Engraulis mordax*) en la Corriente de California dependía de una condición estable de la capa superior mixta durante un período suficiente. Se han encontrado concentraciones de alimento apto para larvas de anchoa en sus primeras alimentaciones en grupos y estratos bien definidos (Owen, 1981a, 1981b, y 1989). El afloramiento y la mezcla pueden deshacer los estratos y dispersar los organismos alimenticios, y por lo tanto muchas de las larvas no pueden obtener alimento suficiente para sobrevivir. Se creyó que dicha hipótesis de estabilidad de Lasker pudiera también ser aplicable a las larvas de barrilete en las zonas de desove del Pacífico central. El grado de mezcla en la columna de agua es aproximadamente proporcional al cubo de la velocidad del viento (Elsberry y Garwood, 1978), o sea que IMVD es el cubo de la velocidad del viento en la zona de desove.

Se seleccionó TSMP como la tercera variable ambiental por las siguientes razones: 1) Barkley, Neill, y Gooding (1978) sugerieron que la intolerancia de los barriletes al agua cálida aumenta a

medida que crecen; 2) la TSM fue un factor significativo para la determinación de las tasas de captura del aleta amarilla en el OPO (Allen y Punsky, 1984); 3) Schaefer (1958, 1959, y 1960) opinó que las temperaturas elevadas del mar durante el evento de El Niño en 1957-1958 permitió a los barriletes trasladarse más al sur que de costumbre, lo cual resultó en capturas grandes frente al Perú; 4) se ha sugerido que la CPUE del barrilete en ciertas zonas, especialmente frente al Ecuador y el Domo de Costa Rica (centrado alrededor de 9°N-90°W), es menor durante eventos de El Niño, cuando las TSM son superiores a lo normal (Anónimo, 1984, 1985, 1986, 1987, y 1988); y 5) los barcos de carnada ecuatorianos pequeños no lograron capturas de barrilete ni aleta amarilla durante dichos eventos (Jon Cole, antiguo empleado de la CIAT, c.p.)

La cuarta variable ambiental fue el IVC de la CCEN, seleccionada a base de la hipótesis de Williams (1972), según la cual la CCEN es una posible ruta de migración, y también porque es posible que la cantidad de barriletes juveniles llevados hacia el este por esta corriente esté relacionada a la velocidad de la misma (Sección 3.4). No se dispone de datos sobre la velocidad de la CCES o la SCE para el período estudiado.

El gradiente norte-sur de la TSM en la zona de 5° S-05-080 frente al Golfo de Guayaquil fue la quinta variable ambiental seleccionada, a causa de su posible relación con la intensidad del afloramiento al sur del gradiente. Variaciones en el afloramiento causarían fluctuaciones en las condiciones oceánicas en la zona de pesca; variaciones en la concentración de nutrientes fitoplanctónicos llevarían a fluctuaciones en los varios niveles tróficos de la red alimenticia, y afectaría posiblemente la alimentación del barrilete.

4.322 *El cálculo de los índices ambientales*

El conjunto original de datos sobre TSM y velocidad del viento en la NMFS en La Jolla, California, se basaba en transmisiones radiofónicas recibidas de barcos en el mar, compiladas por zonas de 5° y mes. Se calificaron de insuficientes los datos provenientes de la zona al sur de la línea ecuatorial antes de 1962, ya que no habían observaciones de muchas zonas de 5°. Se obtuvo un nuevo conjunto de datos de bitácoras de barcos de la Universidad de California en Davis, el cual contenía datos adecuados comenzando en 1959. Para algunos de los estratos de zona de 5°-mes se disponía de datos de radio pero no de bitácora, y viceversa para otros, y por lo tanto se combinaron ambos conjuntos de datos (Sección 2) para crear el mayor número de estratos posible. Se supone que la zona de desove del barrilete yace al oeste de 135°W (Sección 3.2). Al comenzar esta investigación de la CPUE contra TSMD y IMVD del barrilete, el conjunto de datos original de transmisiones radiofónicas abarcaba solamente la zona al este de 180°, mientras que la zona de desove de los reclutas a la pesquería del OPO pudiera extenderse más al oeste de 180°W, aunque se ignoran sus límites. De ser así, los índices obtenidos de 180°-135°W representan condiciones en tan sólo una parte de la zona de desove verdadera.

Arrastres subsuperficiales en el Pacífico capturan generalmente más larvas de barrilete en los intervalos de TSM superiores a los 28°C (Tabla 15B), y por lo tanto se consideran favorables para el desove, la supervivencia de las larvas, o ambos, aquellas zonas donde las TSM superan los 28°C. Por esta razón se usó el isotermo de 28°C para delinear zonas favorables. En el Pacífico central la latitud de dicho isotermo fluctúa según la estación del año: suele estar más lejos de la línea ecuatorial al fin del verano, y más cerca de ella al fin del invierno, en ambos hemisferios. En el caso de barriletes capturados en el OPO, se presume que la zona donde ocurre la mayor parte del desove yace al oeste de 135°W y en aguas con TSM >28°C, es decir, entre los isotermos de 28°C en cada hemisferio (TSM <28°C ocurren con frecuencia en zonas de afloramiento a lo largo de la línea ecuatorial, pero se han descartado éstas para lograr mayor sencillez). Se dividió la zona en dos sectores (180°-155°W y 155°W-135°W) porque entre mayo y diciembre el isotermo de 28°C alcanza más al norte en el sector occidental que en el oriental. Los límites medios mensuales latitudinales seleccionados para incluir

la zona de $>28^{\circ}\text{C}$ fueron los incrementos de 5° de latitud más cercanos a las latitudes mensuales medias del isotermo de 28°C obtenidos de los mapas. Por ejemplo, si los isotermos de 28°C se encontraban a 12°N y 14°S , los límites seleccionados serían 10°N y 15°S , que incluirían dos incrementos de 5° de latitud en el norte y tres en el sur. En la Tabla 17 se presentan los límites mensuales.

Muchos de los estratos de zona de 5° -mes carecían de observaciones, y estos estratos vacíos se encontraban distribuidos de forma irregular por toda la zona de desove. La mayoría de ellos estaba en la parte sureste, menos en la suroeste, todavía menos en la noroeste, y un mínimo en la noreste. Para evitar sesgos hacia la parte noreste en los valores medios y medianos de TSM y velocidad del viento en la zona de desove, se dividió cada uno de los dos sectores (180° - 155°W y 155°W - 135°W) en dos partes, al norte y al sur de la línea ecuatorial. De ahora en adelante estas cuatro zonas se denominan "cuadrantes."

Idealmente, se elevaría al cubo cada observación de la velocidad del viento, y se promediarían los cubos para obtener el índice de la mezcla por el viento. Ya que la mayoría de los datos disponibles eran promedios de observaciones individuales, era imposible cubicarlos sin primero obtener los promedios finales. Se calcularon para cada cuadrante los promedios y las medianas de los valores medios de TSM y velocidad del viento correspondientes a cada zona de 5° .

Se seleccionó el valor mediano en cada cuadrante como la medida de tendencia central porque la mediana se ve menos afectada por valores extremos que el promedio. Dichos valores extremos pueden resultar de errores en la transcripción o trasmisión de los datos, o por valores extremos basados en unas pocas observaciones realizadas en condiciones atípicas, como por ejemplo en una calma o una tormenta. No se editaron los datos para eliminar valores extremos, ya que este procedimiento hubiera sido demasiado subjetivo. Se ponderaron las medianas de cada cuadrante por el número total de zonas de 5° en cada cuadrante y se promediaron para obtener un valor medio mensual en la zona de desove seleccionada. Se obtuvo un promedio total para el período de 12 meses de julio-junio, ponderado por el número total de zonas de 5° en cada mes de todos los cuadrantes combinados, y a continuación se cubicó éste para así obtener el IMVD. En la Tabla 18 se presentan las TSM medias en la zona de desove (TSMD) y las IMVD.

Se dispone de datos sobre la CPUE de la flota de carnada internacional a partir de 1934, y se puede comprobarlos para correlación con datos ambientales disponibles, pero los datos sobre TSM en la zona de desove antes de 1958 son insuficientes. Allison *et al.* (1971: Tabla 3) descubrieron que para el período 1949-1970 la precipitación en 11 islas tropicales, situadas en el Pacífico entre 165°E y 155°W , estaba altamente correlacionada ($r = 0.93$) con TSM en el Pacífico al este de 180° entre 10°N y 10°S , y pudieron estimar la TSM a partir de la precipitación en el período 1905-1948, para el cual se dispone de datos muy escasos sobre las TSM. En la Figura 18 de Allison *et al.* (1971) se presentan promedios continuos de 12 meses de anomalías de las TSM derivadas correspondientes a tan sólo tres zonas: 10°N - 20°N , 180° - 90°W ; 0° - 10°N , 180° - 80°W ; y 0°N - 10°S , 180° - 80°W . Las fluctuaciones son similares en todas tres zonas, excepto que la amplitud de la más norteña es menor que las demás. Para no dar demasiada ponderación al hemisferio norte al promediar las anomalías de las TSM, se obtuvieron de la Figura 18 en Allison *et al.* (1971) anomalías medias de las TSM (ATSM) correspondientes al período de desove de julio-junio para las zonas 0° - 10°N y 0° - 10°S y los períodos entre 1932-1933 y 1948-1949, y se combinaron éstas con las ATSM medias de las temperaturas oceánicas en las mismas zonas, obtenidas de su Figura 10, para los períodos entre 1949-1950 y 1958-1959; de este modo se produjo una serie de ATSM que abarca 27 años. Sin embargo, solamente un 45% de esta zona cae dentro de la zona de desove seleccionada entre 180° y 135°W . Aunque hubiera sido preferible tener un índice de las TSM que correspondiera exclusivamente a la zona de desove, se considera adecuado el presente, ya que las TSM en esta zona al este y oeste de 135°W están probablemente bien

correlacionadas, tal como sugiere $r = 0.75$ para la precipitación en las islas tropicales y TSM en las estaciones meteorológicas del litoral occidental de Sudamérica (Allison *et al.*, 1971: Tabla 3).

En las zonas de pesca se obtuvieron las TSM exclusivamente de las 22 zonas de barrilete de 5° (Figura 5), a pesar de que se lograron capturas significativas de barrilete en las zonas de 5° adicionales en años recientes (Tabla 8), ya que el uso de datos de las zonas adicionales pudiera haber sesgado las TSM medias para esos años. Se dividió la zona de pesca de barrilete en tres sub-zonas: seis zonas de 5° entre 15°N y 30°N ; nueve zonas de 5° entre 5°N y 15°N ; y siete zonas de 5° entre 10°S y 5°N (Figura 5). Se trataron los datos de la forma descrita arriba para obtener valores trimestrales medios para cada sub-zona. A partir de éstos se calcularon promedios trimestrales ponderados para la zona entera y luego valores medios para el año entero, denominados TSMP (para las 22 zonas de pesca de 5°). Se presentan éstas en la Tabla 18; para los primeros dos trimestres se denominan TSMP'.

Se compilaron los datos de TSM en la zona de pesca frente al Golfo de Guayaquil de mapas mensuales preparados por Forrest R. Miller, CIAT, para el período 1961–1984. Debido a la escasez de tráfico mercantil marino en esta zona, se dispone de muy pocas observaciones de las TSM, y los isotermos no son muy confiables. De los mapas se obtuvieron las TSM en seis puntos de la zona de mayor captura de barrilete (Figura 2): 0° – 81°W ; 0° – 83°W ; 2°S – 81°W ; 2°S – 83°W ; 4°S – 81°W ; y 4°S – 83°W . Se obtuvieron para cada trimestre la TSM media y el gradiente (diferencia) norte-sur de las TSM entre 0° y 4°S .

Debido a la rotación del planeta, cuerpos móviles son desviados por la fuerza de Coriolis, hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. El resultado de dicha fuerza en el hemisferio norte es que agua se desplaza del margen izquierdo (en la dirección de flujo) de una corriente y se acumula en el derecho, causando así una diferencia en el nivel del agua de un lado a otro. La velocidad de la corriente está relacionada directamente a esta diferencia en el nivel del mar. Wyrtki (1973 y 1974) usó estas diferencias en el nivel del mar en las corrientes del Pacífico al oeste de 150°W (tanto las que fluyen al este como al oeste) como índices de la velocidad de las mismas. No hay equipo instalado para medir el nivel del mar en estaciones al este de 150°W , y es por lo tanto imposible estimar las velocidades relativas de las corrientes por este método en el OPO. Sin embargo, se supone que existe una alta correlación entre la velocidad de la CCEN al este y al oeste de 150°W . Se ha mostrado que que la CCEN alcanzó su fuerza mayor durante los eventos de El Niño de 1957–1958, 1965–1966, 1969, 1972–1973, y 1982–1983. Se usaron las diferencias medias anuales del nivel del mar como índices de la velocidad de la corriente (IVC) para el período de desove de julio–junio y para los períodos de 12 meses de 6 y 12 meses después, cuando los barriletes juveniles en la CCEN pudieran haber sido transportados hacia las zonas de pesca en la parte oriental de la corriente. Se usó el IVC medio para los tres períodos (IVCM) como índice de la velocidad de la corriente para el tiempo entero durante el cual los peces pudieran estar en la CCEN. En la Tabla 18 se presentan los valores de IVCM.

4.323 La pesca de carnada internacional del OPO

Hasta 1961 la mayoría de las capturas de barrilete en el OPO fueron logradas por barcos de carnada. Para los años antes de 1955 no existen datos adecuados de frecuencia de longitud en los archivos de la CIAT, y es por lo tanto imposible estimar las cantidades de barriletes de edad 1+ capturados por la flota de carnada observada en años anteriores en el OPO. Es evidente en la Tabla 12 que la mayoría de los peces capturados por barcos cerqueros en muchos años eran de edad 1+. Los datos de frecuencia de longitud correspondientes a 1955–1960 demuestran que la mayoría de los barriletes capturados por barcos de carnada eran de edad 1+. Aunque la proporción por peso de peces de edad 1+ sería menor que la proporción por cantidad, debido al mayor peso de los peces de edad 2+, es probable que la CPUE de todas las edades combinadas, en toneladas por día

estandardizado de pesca, reflejaría variaciones en el reclutamiento. La CPUE anual calculada por Shimada y Schaefer (1956) para el período 1934–1954 es la captura total registrada dividida por el esfuerzo registrado estandarizado a embarcaciones de la clase 3, y se denomina aquí la estimación no ponderada de la abundancia aparente (CPUE_{u3}).

Se transformó CPUE_{u3} a logaritmos, porque Ricker (1975: 274) manifiesta que se deben convertir a logaritmos las estimaciones de abundancia de los reclutas al comprobarlas contra las variables ambientales, ya que es de esperar que los efectos ambientales sean multiplicativos y no aditivos.

Se comprobó el $\log\text{CPUE}_{u3}$ anual para el período 1934–1960 con ATSM en la zona de desove (Sección 4.322) 18 meses antes, desde el punto medio del año pesquero hasta el punto medio del período de 12 meses en la zona de desove; la correlación fue significativa, con $r_s = 0.520$ y $r = 0.553$ ($P < 0.01$ para ambos). En la Figura 11 se presentan gráficos de los datos. La estadística D de Durbin-Watson (Durbin y Watson, 1951) fue 1.62, lo cual indica que no existía ninguna autocorrelación significativa del primer orden al nivel de 5%. Una autocorrelación significativa significa que la relación de regresión no es lineal, o que falta una o más de las variables (Wesolowsky, 1976: 136). Estos resultados apoyan la hipótesis que la TSM en la zona de desove, o alguna otra variable o variables relacionada, pudiera haber afectado la fuerza de las cohortes de barriletes pescados en el OPO.

Se comprobó $\log\text{CPUE}_{u3}$ también con año, porque había un aumento aparente con tiempo, con $r_s = 0.442$ y $r = 0.488$ ($P < 0.05$ para ambos), lo cual pudiera indicar que alguna otra variable ambiental relacionada al tiempo ejercía un efecto, o que los barcos de carnada se iban haciendo más eficaces a medida que transcurría el tiempo. Si se considera año como una variable ambiental, entonces se han comprobado dos: si se multiplican los valores de P por dos, tal como sugiere Ricker (1975), los coeficientes para ATSM y año permanecen significativos al nivel de 5%. Una regresión escalonada (BMDP P2R, de Dixon, 1983) de $\log\text{CPUE}_{u3}$ contra ATSM y año mostró que año mejora la correlación de forma significativa, y da como resultado el coeficiente de correlación múltiple $R = 0.666$, $R^2 = 0.444$, y R^2 ajustado = 0.398; $D = 1.97$ no indica una autocorrelación del primer orden. La correlación de $\log\text{CPUE}_{u3}$ con año sugiere un factor ambiental desconocido correlacionado con año, o un aumento en la eficacia de los barcos de carnada con tiempo, o los dos. Es posible que IMVD sea el factor correlacionado con año, tal como fue en el período 1961–1984 (Tabla 20).

No se dispone de datos adecuados sobre la velocidad del viento en la zona de desove definida para la mayoría de los años cuando predominaban los barcos de carnada, y fue por lo tanto imposible comprobar $\log\text{CPUE}_{u3}$ contra IMVD. Si se hubiera dispuesto de los datos, quizás hubiera mostrado IMVD la mejor correlación, al igual que para los datos cerqueros (Sección 4.324), y se hubiera rechazado ATSM en un análisis de regresión escalonado. Similarmente, no se dispone de datos adecuados sobre las TSM en la zona de pesca y los IVC para la CCEN correspondientes al mismo período.

4.324 La pesca cerquera internacional del OPO

Dadas las altas correlaciones entre la abundancia aparente de las larvas y las TSM (Sección 4.31), se esperaba descubrir correlaciones positivas significativas entre $\log\text{CPUE}_{w3}'$ para barrilete de cerqueros en el período 1961–1984 y las TSM de 18 meses antes, y correlaciones significativas entre $\log\text{CPUE}_{u3}'$ de barcos de carnada en el período 1934–1960 y ATSM en la zona de desove 18 meses antes (Sección 4.323). Se comprobó la $\log\text{CPUE}_{w3}'$ para barrilete de cerqueros en el período 1961–1984 en el OPO para correlaciones con las TSM de 18 meses antes, pero las correlaciones no fueron significativas (Tabla 19). Se comprobó $\log\text{CPUE}_{w3}'$ también para correlación con IMVD de 18 meses antes, TSMP, y año. No se transformó CPUE_{w3}' a logaritmos para comprobar con los IVC de la CCEN, ya que se esperaría que el número de barriletes llevados a las zonas de pesca por la CCEN

fuerza proporcional a la velocidad de la corriente. Tampoco se transformó CPUE_{w3'} para comprobarlo con el esfuerzo de pesca estimado total (f_3'''). Los coeficientes de correlación fueron significativos para IMVD, año, y f_3''' ; no fueron significativos para TSMP, los tres IVC de 18, 12, y 6 meses antes, y PIVC (Tabla 19). Se repitieron las pruebas, usando logCPUE_{w6'} y CPUE_{w6'6'}. Los coeficientes de correlación fueron significativos para IMVD y año; no fueron significativos para TSMD y TSMP. Los coeficientes de correlación no fueron significativos para CPUE_{w6'} y los tres IVC de 18, 12, y 6 meses antes, y PIVC, pero sí lo fueron para CPUE_{w6'} y f_6''' (Tabla 19).

Las hipótesis que los eventos de El Niño afectan la abundancia aparente del barrilete en algunas de las zonas pesqueras del OPO (Sección 4.321) no se ven apoyadas por los resultados de las pruebas de correlación con TSMP.

Las correlaciones inversas con f_3''' y f_6''' sugieren que un aumento en el esfuerzo de pesca ha reducido la abundancia aparente. Sin embargo, existe una correlación matemática intrínseca entre la CPUE y el esfuerzo, ya que el esfuerzo está incluido en la CPUE. Forsbergh (1987: 14) simuló datos sobre captura y esfuerzo de números aleatorios y obtuvo un promedio $r = -0.659$ ($P < 0.01$) para CPUE y esfuerzo. Para los datos cerqueros verdaderos los valores de r fueron similares a aquellos obtenidos de los números aleatorios, y una correlación funcional es por lo tanto dudosa. Forsbergh (1987) aplicó modelos de producción de stock al barrilete en el OPO; los resultados indicaron que f_3''' ejercía la mayor influencia sobre CPUE_{w3'}, pero las suposiciones requeridas hacen que ésto sea muy controvertible. Los modelos de producción de stock requieren que ocurra muy poco intercambio de peces entre la zona de pesca en cuestión y otras zonas donde se pudiera pescar la especie, o que las tasas de intercambio sean conocidas. Los resultados del mercado señalan que si ocurre intercambio de barriletes entre el OPO, el Pacífico central, y el Pacífico occidental (Anónimo, 1987: Figura 66). Debido a ésto, se considera generalmente que los modelos de producción de stock no son aplicables al barrilete en el OPO (Anónimo 1987b: 69).

Existen correlaciones altamente significativas entre variables ambientales y año que complican los resultados de las pruebas de correlación con estimaciones de abundancia de cohorte (Tabla 20). Se realizó una regresión escalonada para logCPUE_{w3'} contra las cuatro variables ambientales y año. Esto requirió el uso de logCPUE_{w3'} y no CPUE_{w3'} para la prueba con IVCM porque se prefirió el primero para las pruebas con las otras cuatro variables. La regresión escalonada mostró que año era la única variable significativa; al excluir año y probar de nuevo, IMVD fue la única variable significativa. Se repitió la prueba, usando logCPUE_{w6'}: año fue la variable significativa principal, IMVD la secundaria, y R^2 aumentó en un 0.067. Al excluir año y probar de nuevo, IMVD fue la variable significativa principal, IVCM la secundaria, y R^2 aumentó en un 0.090. En la Figura 12 se presentan gráficos de CPUE_{w3'} cerquero contra IMVD.

La tasa de captura de peces de edad 1+, en cantidad por día de pesca, es una mejor estimación de la abundancia aparente de una cohorte que CPUE_{w3'} o CPUE_{w6'} de todas las edades. En la Tabla 14 se presentan las tasas de captura cerquera del barrilete específicas para cada edad (TC₃) en 8 intervalos trimestrales (IT), basados en una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año. Surgió la cuestión de que si se debiera incluir la captura y esfuerzo de todos los 8 IT en una estimación de la fuerza inicial de una cohorte, representando la abundancia de la población a una edad temprana (es decir, huevos, larvas, y juveniles), o si se debiera excluir los datos provenientes de los TI anteriores o posteriores. Si el porcentaje de la población total de barriletes que migra a, o emigra de, las zonas de pesca del OPO es relativamente constante para todas las cohortes, y si la mortalidad y capturabilidad específicas para cada edad lo son también (Sección 3.1), entonces sería apropiado el uso de los datos de todos los 8 IT. Sin embargo, un examen de la Tabla 14 sugiere que una o más de estas características no es constante, especialmente en IT1 e IT8, para los cuales el coeficiente de variación de TC es más elevado que para los IT 2-7.

La Tabla 14 demuestra que los valores medios de TC_3 para las cohortes de 1962–1983 alcanzaron su nivel más elevado durante los IT 3–6, con máximos que ocurrieron 3, 14, 3, y 2 veces en los TI 3, 4, 5, y 6, respectivamente, lo cual sugiere que ocurrió una onda principal de reclutas que fluctuó alrededor de IT4. (Se excluyeron las cohortes de 1961 y 1984 por falta de datos en algunos IT.)

Se comprobó $\log TC_3$ de cada IT en la Tabla 14 para correlación con $\log TC_3$ de todos los demás IT para determinar el grado de cohesión dentro de las cohortes para el período 1962–1983. Se excluyó la cohorte de 1961 debido a falta de datos en IT3, y la de 1984 porque no se consideran confiables las estimaciones de abundancia para 1985, en las cuales se basa las TC en IT7 e IT8 (Sección 4.1). En la Tabla 21 se presentan los coeficientes de correlación. Para IT adyacentes los coeficientes de correlación positivos fueron generalmente más elevados entre IT3 e IT7. Para IT separados por un IT los coeficientes positivos fueron significativos generalmente entre IT3 e IT7. Con una excepción, los coeficientes positivos no fueron significativos para IT separados por dos IT o más. Estos resultados sugieren que el grado de cohesión dentro de cohortes es pobre. Surgió la cuestión de cuáles IT usar para obtener la mejor estimación de la abundancia aparente de las cohortes. Una posibilidad sería el IT con la tasa de captura media máxima y los dos IT adyacentes, en este caso IT 3–5. Otra posibilidad incluiría también IT6, ya que en éste la tasa de captura media es parecida a aquella de IT3 y la tasa máxima ocurre dos veces. Una tercera posibilidad sería el IT con la tasa de captura máxima para cada cohorte y los dos IT adyacentes. Se obtuvieron las estimaciones de la abundancia aparente de las cohortes promediando los valores de TC_3 en cada IT utilizado. Los logaritmos de los valores medios de TC_3 de los tres métodos estaban tan altamente correlacionados ($r = 0.986$) que es probable que importe poco cuál método se usa. Se seleccionaron IT 3–6 para obtener las estimaciones de la abundancia de las cohortes porque contienen los valores medios de TC_3 más elevados, y también todos los valores máximos de TC_3 de cohortes individuales. Se usó el promedio de los valores de TC_3 para los IT 3–6 como estimación ponderada de la abundancia aparente; se abrevia como TC_31+ , ya que incluye todos los peces de edad 1+. Se presentan los valores en la Tabla 9 (para comparar con $CPUE_{w3}'$) y se grafican en la Figura 1, Recuadro C. En la Tabla 10 se presentan los valores de TC_31+ y $CPUE_{w6}'$. TC_31+ y $CPUE_{w3}'$ están altamente correlacionados, con $r_s = 0.879$ y $r = 0.969$; asimismo TC_31+ y $CPUE_{w6}'$, con $r_s = 0.902$ y $r = 0.975$. Esto indica que se puede usar la CPUE como estimación tosca de la abundancia aparente de cohortes de barrilete en el OPO cuando no se dispone de nada mejor, tal como se supuso en el caso de los datos de barcos de carnada en la Sección 4.323.

En la Tabla 22 se presenta la proporción de las capturas totales registradas que consiste de barriletes de edad 1+ capturados en los IT 3–6 para cada cohorte. Dicha proporción oscila entre 0.490 para la cohorte de 1972 y 0.929 para la de 1967, con un promedio de 0.794 para las 23 cohortes.

Se calcularon coeficientes de correlación para $\log TC_3$ para los ocho IT de las cohortes de 1962–1983 contra TSMD y IMVD para determinar cuáles IT poseían los coeficientes más elevados (Tabla 23). Para TSMD y IMVD se encontraron los valores absolutos más elevados en IT 3–5. Los coeficientes más bajos de IT1 e IT2 podrían ser debidos a variaciones en la inmigración, mientras los de IT 6–8 podrían resultar de variaciones en la emigración (Sección 3.1). Para $\log TC_3$ contra TSMD, r_s no fue significativo en ningún IT, pero r sí lo fue en IT 3–5. Para $\log TC_3$ contra IMVD ambos coeficientes fueron significativos en IT 3–6.

Se comprobó $\log TC_31+$ de las cohortes de 1961–1984 (Grupo I) para correlación con TSMD, IMVD, TSMP, y año; TC_31+ se comprobó con los tres IVC y PIVC, y $f3'''$. Ya que la asignación de las edades era dudosa para las cohortes de 1971 y 1973 (Sección 4.2), se omitieron éstas y se comprobaron de nuevo los datos (Grupo II). En la Tabla 24 se presentan los coeficientes de correlación. En ambos grupos $\log TC_31+$ estaba correlacionado de forma significativa con TSMD, IMVD, y año; TC_31+ no estaba correlacionado de forma significativa con ninguno de los tres IVC, PIVC, o $f3'''$. Los coeficientes más elevados fueron aquellos de IMVD. En la regresión de $\log TC_31+$ contra IMVD la

estadística de Watson-Durbin $D = 1.82$ para el Grupo I y 1.88 para el Grupo II, lo cual no indica ninguna autocorrelación del primer orden al nivel de 5%. Al multiplicar los valores de P por cinco, los valores de r_s para TSMD se hicieron no significativos, pero todos los coeficientes para IMVD y año permanecieron significativos (Tabla 24). Se repitieron las pruebas de $\log TC_{3+}$ contra IMVD, usando TC_{3+} basado en la estimación no ponderada de la abundancia, $CPUE_{w3}'$, y los coeficientes fueron similares: en el Grupo I, $r_s = -0.811$ y $r = -0.739$; en el Grupo II, $r_s = -0.796$ y $r = -0.784$. En la Figura 13 se presentan gráficos de $\log TC_{3+}$ basado en $CPUE_{w3}'$ contra IMVD. La regresión escalonada de $\log TC_{3+}$ contra las cuatro variables ambientales y año mostró que IMVD era la única variable significativa.

Se repitieron las pruebas de correlación, usando $\log TC_{6+}$ y TC_{6+} . Los resultados fueron similares a aquellos arriba descritos y se presentan en la Tabla 24. En la Figura 13 se presentan gráficos de TC_{6+} basado en $CPUE_{w6}'$ versus IMVD. La regresión escalonada mostró que IMVD era la variable significativa principal, y año la secundaria; todas las demás variables ambientales perdieron significado.

El mejor predictor de la fuerza de las cohortes de barrilete en la pesquería del OPO parece ser IMVD, pero ésto no significa que TSMD no ejerce ninguna influencia. Ya que TSMD e IMVD estaban altamente correlacionados ($r = -0.663$), se incluyó en IMVD mucha de la influencia de TSMD sobre la fuerza de las cohortes, y la influencia restante de TSMD no fue suficiente como para mejorar de forma significativa las correlaciones en las regresiones escalonadas. La fuerza de las cohortes hubiera estado significativamente correlacionada con TSMD si hubiera sido la única variable ambiental disponible. Esto ocurrió en el caso de los datos de barcos de carnada, cuando sólo se disponía de ATSM en la zona de desove (Sección 4.323).

Barkley, Neil, y Gooding (1978) sugirieron que los barriletes se hacen más intolerantes de agua cálida a medida que crecen. Se promediaron las tasas de captura en IT7 e IT8 (barriletes de edad 2+ en los primeros dos trimestres) con base en datos estandarizados a barcos de la clase 3, a fin de obtener una estimación de la abundancia aparente para los peces de edad 2+ (TC_{3+}). Se excluyó 1961 por falta de esfuerzo utilizable en Tr1, y se comprobó $\log TC_{3+}$ del período 1962-1984 para correlación con TSMP': ninguno de los coeficientes fue significativo ($r_s = -0.393$ y $r = -0.328$; excluyendo 1971 y 1973, $r_s = -0.363$ y $r = -0.303$). No hay indicación de que la abundancia de los barriletes de mayor tamaño sea afectada por la temperatura del mar en el OPO.

En la Sección 4.1 se tratan los problemas de estimar el esfuerzo pesquero durante el período 1961-1984 a partir de los datos en su forma actual. Si se llega a disponer de estimaciones del esfuerzo mejores, se calcularán de nuevo los índices de abundancia y se comprobarán contra las variables ambientales. Es posible que el significado estadístico de algunas de estas nuevas correlaciones sea diferente a las que se obtuvieron en esta sección.

4.325 La pesca cerquera en la zona del Golfo de Guayaquil

Se han logrado capturas grandes de barrilete en la zona de 5° que comprende el Golfo de Guayaquil (S-05-080; véase la Tabla 7 para detalles de los códigos). Entre 1961 y 1971 la captura anual registrada por barcos de carnada y cerqueros en esta zona osciló entre el 15 y el 72% de las capturas totales registradas en el OPO, con una mediana del 42%. Por lo tanto se investigó la variación en la abundancia aparente del barrilete capturado por barcos cerqueros en relación al esfuerzo pesquero en la zona, capturas de barrilete en las zonas adyacentes, variables ambientales, y año.

No fue posible obtener TC_{3+} ni TC_{6+} para la zona S-05-080 porque no se compilaron las mediciones de frecuencia de longitud de aletas amarillas y barriletes por zona de 5° individual, sino que se agruparon en zonas estadísticas que incluyen cantidades variables de zonas de 5° y partes de éstas. En su lugar se usaron la $CPUE_3'$ trimestral y la $CPUE_{w3}'$ anual como estimaciones de la

fuerza aparente de las cohortes. En la Tabla 12 se ve que la mayoría del barrilete capturado por barcos cerqueros en el OPO entero es de edad 1+.

Se presentan los valores trimestrales de CPUE_{3'} para barriletes en la zona S-05-080 en la Tabla 25, y los valores anuales se presentan en la Tabla 25 y se muestran en la Figura 14A. Se obtuvieron los valores anuales de CPUE_{w3'} promediando los valores de CPUE_{3'} trimestrales obtenidos de trimestres con datos utilizables. En los últimos años muchos trimestres carecían de datos suficientes para permitir el cálculo de CPUE_{3'}. En la Tabla 26 se presentan valores medios de CPUE_{w3'} para barrilete y aleta amarilla en tres períodos entre 1961 y 1984. La CPUE_{3'} media del barrilete para cada trimestre disminuyó de forma marcada. En el Tr1 la disminución en la CPUE_{3'} media del aleta amarilla es similar a aquella del barrilete, pero para los Tr 2 a 4 ocurre poco cambio en la CPUE_{3'} media, y la CPUE_w' anual del aleta amarilla también muestra poco cambio. La CPUE_{w3'} anual del barrilete no estaba correlacionada con la f_3' en la zona ($r = -0.143$).

Una razón posible por la disminución en la CPUE_{w3'} del barrilete en la zona S-05-080 sería que la expansión hacia alta mar del esfuerzo pesquero que comenzó en 1969 (Figura 2), en parte como reacción a la reglamentación de la captura del aleta amarilla en el ARCAA iniciada en 1966, haya resultado en la captura de grandes cantidades de barrilete fuera de la zona S-05-080 que sino hubiera migrado a dicha zona. El f_3 en las seis zonas de 5° entre 5°N y 10°S que rodean S-05-080 aumentó de un promedio de 602 días de la clase 3 en el período de 1961-1971 a un promedio de 4,624 días de la clase 3 en el período de 1972-1984. Se comprobó la CPUE_{w3'} anual de S-05-080 para correlación con la captura cerquera de barrilete en estas seis zonas, y los coeficientes de correlación no fueron significativos (Tabla 27). La CPUE_{w3'} de las seis zonas disminuyó a partir de 1968 (Figura 14B) de forma similar a aquella de la zona S-05-080, y los dos índices estaban correlacionados significativamente y positivamente ($r_s = 0.635$ y $r = 0.805$; $P < 0.01$ en ambos casos). No existe por lo tanto ninguna indicación de que la disminución en la CPUE_{w3'} en la zona S-05-080 haya sido causada por una intensificación de la pesca en las zonas adyacentes, y parece que fue parte de una reducción general al sur de 5°N.

La mayoría del barrilete capturado en la zona S-05-080 fue tomado al este de 83°W entre la línea ecuatorial y 5°S. Esta zona se encuentra en el frente térmico ecuatorial entre las aguas frías de la Corriente del Perú y su extensión y las aguas cálidas al norte de la línea ecuatorial. Las TSM en la zona del frente cambian rápidamente con la latitud, y la intensidad y la posición del frente varían con temporada y año. Un frente fuerte resulta de un afloramiento fuerte en la Corriente del Perú. Variaciones en el afloramiento podrían eventualmente afectar la concentración del alimento de los barriletes en la zona pesquera.

Se comprobó la logCPUE_{3'} del barrilete para cada trimestre con datos utilizables (≥ 100 días de la clase 3 y ≥ 200 toneladas de barrilete capturadas) para correlación con promedios de TSM y declinaciones en los trimestres correspondientes; se presentan los resultados en la Tabla 28. Los grados de libertad son 21, 17, 15, y 20 para los Tr 1, 2, 3, y 4, respectivamente. Para logCPUE_{3'} contra TSM media los coeficientes de correlación no fueron significativos en ningún trimestre; para logCPUE_{3'} contra el gradiente de TSM, tanto r_s como r fueron significativos en Tr1, r_s en Tr4, y ninguno de los coeficientes en Tr2 y Tr3.

Para el logCPUE_{3'} trimestral del aleta amarilla contra el gradiente de las TSM las coeficientes fueron significativas en Tr1 pero no en Tr 2-4; para el logCPUE_{w3'} anual del aleta amarilla contra el gradiente de la TSM media los coeficientes no fueron significativos. Para el logCPUE_{3'} trimestral y el logCPUE_{w3'} anual del aleta amarilla contra las TSM medias ninguno de los coeficientes fue significativo.

Para los cerqueros de la clase 6 en la zona S-05-080 se fijó el esfuerzo utilizable en ≥ 25 días pesqueros y la captura utilizable de barrilete en ≥ 100 toneladas. Habían bastantes más trimestres con datos insuficientes que cuando se utilizaron los datos estandarizados. Por consiguiente no se

comprobó $\log\text{CPUE}_6'$ trimestral para correlación con TSM trimestral y gradiente de TSM trimestral.

La TSM anual media y el nivel del mar en el norte del Perú fueron bajas durante el período de 1960–1971, señalando un afloramiento más fuerte, y altas durante el período de 1972–1983, indicando un afloramiento más débil (Forrest R. Miller, CIAT, c.p.). Es posible que la disminución de la CPUE_{w3}' anual del barrilete en la zona S-05-080 a partir de 1969 fue causada por una o más variables relacionadas a estas tendencias en las condiciones oceánicas. Sin embargo, estas tendencias no parecen haber afectado en absoluto la CPUE_{w3}' anual del aleta amarilla en la misma zona.

El $\log\text{CPUE}_{w3}'$ anual del barrilete de la zona S-05-080 estaba correlacionado de forma significativa con IMVD, el gradiente de TSM en la zona pesquera, y año, pero no con la TSMD y la TSM media en la zona pesquera; la CPUE_{w3}' no estaba significativamente correlacionada con los tres IVC de 18, 12, y 6 meses antes, ni tampoco con PIVC (Tabla 27). Si se trata año como si representara alguna variable ambiental desconocida, entonces se probaron aquí seis variables ambientales; al multiplicar los valores de P por seis solamente el gradiente de TSM y año permanecieron significativos. En la regresión de $\log\text{CPUE}_{w3}'$ anual contra el gradiente de TSM D cayó por debajo del valor crítico mínimo, lo cual indica una autocorrelación del primer orden significativa al nivel de 1%; es posible que ésto resulte de una variable ambiental desconocida no incluida en la regresión. Para $\log\text{CPUE}_{w3}'$ anual contra año, $D = 1.70$, lo cual indica ninguna correlación al nivel de 5%.

Una regresión escalonada de $\log\text{CPUE}_{w3}'$ contra las cinco variables ambientales y año mostró que tras excluir el efecto de año se eliminaron tanto IMVD como el gradiente de TSM. Al excluir año y comprobar de nuevo se descubrió que tras descartar el efecto del gradiente de TSM se eliminó IMVD.

Se considera la CPUE_{w6}' anual menos confiable que la CPUE_{w3}' como estimación de la abundancia aparente de la zona S-05-080 porque habían más trimestres con datos insuficientes. Las pruebas de correlación para $\log\text{CPUE}_{w6}'$ contra variables ambientales dió resultados similares a aquellos de $\log\text{CPUE}_{w3}'$ excepto que r para TSMD perdió su significado (Tabla 27). Una regresión escalonada mostró que año era la única variable significativa. Tras excluir año y comprobar de nuevo el gradiente de TSM fue la única variable significativa. $D = 1.80$ para año y 1.66 para el gradiente de TSM; ambos valores indican una falta de autocorrelación significativa al nivel de 5%.

En conclusión, parece que la disminución en la abundancia aparente del barrilete en la zona S-05-080 a partir de 1971 pudo haber estado vinculada a cambios en las condiciones oceánicas en la zona pesquera y/o en las zonas adyacentes, y a aumentos en el IMVD de 18 meses antes, pero no a aumentos en el esfuerzo pesquero en las zonas adyacentes.

La hipótesis que la abundancia aparente del barrilete frente al Ecuador es afectada por eventos de El Niño no se ve apoyada por los resultados de las pruebas de correlación de $\log\text{CPUE}_3'$ trimestral, $\log\text{CPUE}_{w3}'$ anual, y $\log\text{CPUE}_{w6}'$ en la zona S-05-080 contra TSM en la zona pesquera.

El barrilete ha aparecido de vez en cuando en grandes cantidades cerca del banco de pesca llamado 14-fathom Bank cerca de 9°S-80°W. Los archivos de la CIAT contienen datos sobre las capturas a partir de 1951. Con la excepción de 1953, las capturas de barrilete en la zona de 5° que abarca el banco (S-10-075) fueron escasas o nulas entre 1951 y 1956. En 1957, 1958, y 1959 se capturó en esta zona de 5°, principalmente cerca del banco, el 12, 34, y 30%, respectivamente, de la captura total de barrilete registrada en el OPO; desde 1960 hasta 1964 se capturó allí poco o ningún barrilete. Schaefer (1958, 1959, y 1960) atribuyó las grandes capturas de barrilete logradas frente al Perú en 1957–1959 a las aguas cálidas causadas por El Niño fuerte de 1957–1958 (Quinn *et al.*, 1978), que permitieron a los barriletes ir más al sur que de costumbre. Durante los eventos moderados de El Niño de 1953 y 1965 (Quinn *et al.*, 1978) el 5 y 6%, respectivamente, de la captura total registrada en el OPO fue logrado en esta zona, lo cual apoya la conclusión de Schaefer. Sin embargo, las capturas de barrilete fueron escasas o nulas en esta zona en los años después de 1965, incluidos aquellos en los

cuales ocurrieron eventos de El Niño. Es posible que este cambio aparente en la disponibilidad del barrilete en años de un Niño esté vinculado a la disminución de la CPUE_{w'} en las otras zonas de 5° entre 10°S y 5°N a partir de 1968 (Figura 14B).

4.326 La pesca de carnada local del Ecuador

La pesca del barrilete y el aleta amarilla por pequeños barcos de carnada ecuatorianos comenzó en los años 50. Se establecieron las primeras plantas enlatadoras en Manta en 1957, y desde el año siguiente empleados de la CIAT han registrado los descargues de atunes en dicho puerto. En los primeros años de la pesquería la flota de Manta consistía principalmente de pequeños barcos de carnada (Clase 1, capacidad ≤50 toneladas) sin refrigeración, que pescaban a 100 km o menos de la costa, y regresaban el mismo día para descargar el pescado. Habían unas cuantas bolicheras, cerqueros pequeños (Clase 1, capacidad ≤50 toneladas) sin refrigeración, que pescaban en la misma zona y también regresaban cada día. Hasta hace pocos años habían pocas bolicheras (1-8); pescan principalmente machuelos, *Opisthonema spp.*, y estorninos, *Scomber japonicus*. La captura lograda por estos barcos fue siempre pequeña, y no se toma en cuenta en el presente análisis. El número de barcos de carnada pequeños aumentó de 17 en 1957 a un máximo de 60 en 1968, disminuyendo posteriormente a 9 en 1984. La reducción en el número de estos barcos coincidió con el aumento en el número de cerqueros ecuatorianos: 1 en 1968, y 41 en 1979 y 1980.

Para muchos años se ignora cuál tipo de arte se utilizó en la pesquería ecuatoriana para capturar gran parte del aleta amarilla y barrilete, pero se cree que la mayoría es capturada por barcos de carnada, y el resto por bolicheras y cerqueros. Se estimaron las capturas anuales de barrilete lograda por los barcos de carnada combinando las capturas que se sabía fueron logradas con carnada con aquellas de arte desconocido (Tabla 29). El promedio de las capturas anuales estimadas de barrilete fue 11,576 toneladas entre 1959 y 1971, y 2,628 entre 1972 y 1984. En 1985 la pesquería con carnada había desaparecido casi totalmente, con una captura de unas 88 toneladas escasas de barrilete.

Los registros del esfuerzo de pesca con carnada son incompletos: en algunos años se registró solamente una pequeña parte del mismo, y ninguna en 1970. Se consideraron tanto el número de barcos como la capacidad de la flota como índices de esfuerzo, pero se rechazaron porque demasiados barcos permanecieron en puerto cuando la pesca era mala, provocando que estos índices sobreestimaran el esfuerzo real durante períodos de baja producción. Por lo tanto, se calculó una estimación de abundancia aparente a partir de los datos, conocidos pero incompletos, del esfuerzo y la captura de los barcos de carnada. No se compilaron los datos por mes o trimestre, así que no se pudo obtener una estimación anual ponderada en el tiempo disponible. La estimación utilizada es la captura anual conocida lograda por los barcos de carnada dividida por el esfuerzo conocido, CPUE_u (Tabla 29).

El CPUE_u de los barcos de carnada puede compararse con la CPUE_{w3'} de la flota internacional de barcos cerqueros en las tres zonas de 5° que comprenden y rodean la zona donde pescan los barcos de carnada. Los datos para las zonas 00-075 y 00-080 (véase la explicación de los códigos en la Tabla 7) en muchos años son insuficientes para obtener valores confiables de CPUE_{w'}. Sin embargo, la zona de 5° que incluye el Golfo de Guayaquil (S-05-080) ha sido una de las zonas mayormente explotadas por la flota cerquera internacional, y se consideran confiables los valores de CPUE_{w3'} porque el esfuerzo anual utilizable en esta zona (Sección 4.1) durante el período 1961-1984 ha excedido siempre 1,000 días de clase 3. En la Figura 14 se muestra la CPUE_u de los barcos de carnada ecuatorianos y la CPUE_{w3'} de los barcos cerqueros en la zona S-05-080: la CPUE_{w3'} de los barcos cerqueros muestra un declive a partir de 1968, a excepción de 1975; el declive en la CPUE_u de los barcos de carnada fue menor, y ocurrió después de 1969, excepto en 1975 y 1982-1984. Se esperaba que las CPUE de las dos artes coincidieran, ya que en algunas zonas se usan ambas. La CPUE_u de los

barcos de carnada *versus* la CPUE_{w3}, $r_s = 0.464$ y $r = 0.481$ ($P < 0.05$ para ambos) para el período de 1961 a 1984, excluyendo 1970; 1982, 1983, y 1984 muestran valores extremos en los gráficos. Es probable que la CPUE_u de los barcos de carnada sea inconfiable debido al bajo esfuerzo conocido (52–174 días). Se examinaron de nuevo los datos excluyendo estos años, y los coeficientes de correlación aumentaron considerablemente, con $r_s = 0.764$ y $r = 0.793$ ($P < 0.01$ para ambos). Las CPUE_u de los barcos de carnada de 1982–1984 fueron consideradas por lo tanto inconfiables, y fueron excluidas de los análisis posteriores.

Se ignora el esfuerzo mínimo necesario para obtener CPUE_u confiables de barcos de carnada. Con un mínimo de 250 días, se dispone del período 1961–1981 para el análisis; si el mínimo es de 500 días, el período 1961–1977 está disponible; un mínimo de 1,000 días deja sólo 12 años disponibles (Tabla 29).

Se ha sugerido que el declive en los últimos años en la abundancia aparente del barrilete en la costa de Ecuador, señalado por la pesquería de carnada, pudo resultado de una baja en la población causada por la flota cerquera internacional antes de que el barrilete entrara en el área donde pescan los barcos de carnada. El porcentaje promedio mensual de capturas anuales de barrilete logradas por los barcos de carnada alcanzó un máximo en junio, con un 49% de éstas ocurriendo en mayo, junio, y julio. Las CPUE_u de los barcos de carnada para los años cuando el esfuerzo era adecuado según las tres mínimas fueron comprobados para correlaciones con las capturas cerqueras de barrilete en las zonas 00-075, 00-080, y S-05-080 durante el primer trimestre y los primeros dos trimestres. Ninguno de los coeficientes de correlación fue significativo; aquellos para los primeros dos trimestres se muestran en la Tabla 30. Estos resultados no señalan que el declive en la CPUE_u de barrilete de los barcos de carnada después de 1969 haya sido provocado por los barcos cerqueros.

Los datos de frecuencia de longitud del barrilete de la pesquería ecuatoriana de carnada son insuficientes para dividir los peces en grupos de edad. Los datos de frecuencia de longitud del barrilete capturado por la flota internacional de barcos de carnada observada durante 1955–1961 en el área de muestreo estadístico que incluye la pesquería ecuatoriana de carnada indican que la mayoría de los peces son de edad 1+. Por lo tanto, se supuso que las estimaciones de abundancia aparente basadas en las capturas de barrilete de todas edades reflejaban una variación en el reclutamiento (como en las Secciones 4.323 y 4.324).

No se dispone de registros mensuales de TSM en la zona de pesca para el período entero de 1961–1984, y en su lugar se calcularon valores anuales medios de las TSM para las dos zonas de 5° frente a Ecuador (5°N–5°S, 80°W–85°W).

Se comprobó el logCPUE_u de los barcos de carnada ecuatorianos para el período 1961–1981, durante el cual el esfuerzo anual fue ≥ 250 días, para correlación con la TSMD y IMVD de 18 meses antes, TSM frente a Ecuador, y año. Se comprobó CPUE_u para correlación con los IVC de 18, 12, y 6 meses antes, y con PIVC. Los coeficientes de correlación no fueron significativos para TSMD, IMVD, TSM, los IVC, y PIVC. Los coeficientes de correlación para año fueron altamente significativos (Tabla 30). Ya que se probaron cinco variables, se multiplicaron por cinco los valores de P ; permanecieron significativas al nivel de 5%. Se ignora cual variable pudiera estar asociada con año. Si los mejores pescadores abandonaron sus barcos de carnada para trabajar en barcos cerqueros y los propietarios dejaron deteriorar sus barcos, es posible que la eficiencia de los barcos de carnada haya disminuido con el tiempo. No hay datos adecuados disponibles, sin embargo, para un análisis de posibles cambios en la eficacia; la correlación con año sigue sin aclararse.

LogCPUE_u para el período 1961–1977, cuando el esfuerzo anual ≥ 500 días, se comprobó para correlación con las cuatro variables ambientales y año; se presentan los resultados en la Tabla 30. Sólo para IMVD fueron significativos tanto r_s como r al nivel de 5%. Cuando los valores P se multiplicaron por cinco, ninguno permaneció significativo. Se repitió la prueba para los 12 años en

los cuales el esfuerzo anual $\geq 1,000$ días, y para ninguna de las cinco variables fueron significativos ambos coeficientes.

Se efectuó una regresión escalonada con $\log\text{CPUE}_u$ versus las cuatro variables ambientales y año para los tres conjuntos de datos definidos por valores mínimos de esfuerzo. La regresión mostró que año era la única variable significativa. Excluyendo año y reexaminando los datos con esfuerzo anual ≥ 500 días mostró que IMVD era la única variable significativa.

Los resultados de las pruebas de correlación de $\log\text{CPUE}_u$ de los barcos de carnada locales versus TSM en la zona de pesca no apoyan la hipótesis de que los eventos de El Niño afectan la abundancia aparente de barrilete frente a la costa de Ecuador. La inconsistencia de los coeficientes de correlación de $\log\text{CPUE}_u$ versus IMVD indican que no se pueden formar conclusiones sobre una posible relación.

4.33 Discusión

Bakun (1985) clasificó las principales influencias hipotéticas sobre la edad temprana de los peces como hambre, predación, tensión fisiológica, enfermedad, y advección (alejándose de un ambiente favorable). La advección no es una influencia directa, pero pudiera ejercer una influencia indirecta a través de su efecto sobre las otras cuatro, y pudiera también afectar la reproducción. Los efectos combinados de estas influencias pueden observarse en el reclutamiento y las estimaciones de abundancia aparente de la pesquería. Rothschild y Rooth (1982) consideraron que el hambre y la predación eran los factores principales que afectan el reclutamiento. Hunter (1982) concluyó "...que predación es probablemente la mayor causa de mortalidad de huevos y larvas y pudiera ser suficientemente variable para explicar las variaciones observadas en el reclutamiento."

Hunter (1983) resumió la evidencia para la mortalidad de larvas de peces por hambre como sigue: 1) en el laboratorio las larvas de peces marinos en la etapa de primera alimentación son muy susceptibles a la inanición; 2) la cantidad de organismos alimenticios en el mar abierto son insuficientes para la supervivencia, a menos de que estén concentrados; y 3) el 8% de las larvas de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) de entre 4 y 10 mm en áreas cerca de la costa padecían hambre (O'Connell, 1980), y en altamar el 70% de las larvas del jurel del Pacífico (*Trachurus symmetricus*) de <3.5 mm en la etapa de primera alimentación se morían de hambre diariamente, pero solamente el 17% de larvas de $3.5-4.0$ mm y el 3% de larvas de $4.0-4.5$ mm padecían hambre (Theilacker, 1986). Hunter resumió la evidencia principal para la mortalidad por predación de huevos y larvas como sigue: 1) ocurre mayor mortalidad en las etapas de huevo y saco de vitelo, cuando el hambre no es un factor; 2) se sabe que muchos predadores comen huevos y larvas; y 3) experimentos muestran que las larvas del bacalao (*Gadus morhua*) sobreviven bien en recintos de los cuales se excluyen predadores y donde las condiciones alimenticias son similares a las del mar (Ellertson *et al.*, 1981).

El reclutamiento y los índices de abundancia de muchas especies de peces y algunos invertebrados han sido correlacionados con variables ambientales. A continuación se resumen algunos de los resultados.

Para el estornino (*Scomber japonicus*) en la Corriente de California, Parrish y MacCall (1978: 58) estimaron la relación de reclutas por reproductor (R/P) y TSM al momento del desove ser: $\ln(R/P) = -13.527 + 0.78815 \text{ TSM}$, con $r^2 = 0.2611$ y $F = 12.72$ ($P < 0.01$ con 36 g.l.). Esto representa un incremento por un factor de 2.20 ($e^{0.78815}$) por cada grado que aumenta la TSM, cercano a los valores aquí estimados para las larvas de barrilete y aleta amarilla (Sección 4.1). Lasker (1981) mostró que vientos débiles, afloramiento débil, y grandes concentraciones de alimento adecuado durante las etapas larvales resultaron en generaciones anuales fuertes de la anchoveta norteña en la Corriente de California, y que las condiciones contrarias resultaron en generaciones anuales débiles, apoyando la hipótesis de estabilidad de Lasker (1975).

Simpson y Dickey (1981) estimaron que ocurre una mezcla turbulenta frente al sur de California cuando la velocidad del viento supera los 10 m/segundo. Peterman y Bradford (1987) han indicado que se requieren aproximadamente cuatro días consecutivos con vientos de velocidad <10m/segundo para que se desarrollen concentraciones adecuadas de alimento para larvas de anchoveta norteña en la etapa de primera alimentación en la Corriente de California. Calcularon para cada año un índice anual de velocidad del viento a partir del número de tales períodos de cuatro días por mes, ponderado por la proporción de desove en cada mes calculado a partir de estudios de abundancia de huevos. Para los 13 años para los cuales se disponía de datos adecuados sobre la abundancia de huevos, la tasa de mortalidad de las larvas mostró una correlación inversa con el índice de velocidad del viento, con $r^2 = 0.65$, apoyando la hipótesis de estabilidad de Lasker (1975).

Parrish *et al.* (1983) observaron que muchas de las especies dominantes de peces en cuatro corrientes principales de límites orientales (Corrientes de California, Perú, Canarias, y Benguela) generalmente desovan en donde la estabilidad de la columna del agua es mayor, lo cual sigue apoyando la hipótesis de Lasker (1975).

Se ha descubierto que la fuerza de las generaciones anuales de varias especies de peces e invertebrados está correlacionada con la temperatura durante el período de incubación y desarrollo temprano (Cushing y Dickson, 1976). Sutcliffe, Drinkwater, y Muir (1977), utilizando datos de captura que generalmente incluían 40 años o más, descubrieron que 10 de 17 especies capturadas en el Golfo de Maine estaban significativamente correlacionadas ($P < 0.05$) con las TSM de 2 a 8 años anteriores. Ajustando los valores por cambios en el esfuerzo de pesca mejoró las correlaciones. Variaciones ambientales fueron responsables de por lo menos el 50% (r^2) de las variaciones en la captura de la mayoría de estas especies. Dow (1977) descubrió correlaciones significativas ($P < 0.01$) con TSM en las capturas de 24 especies de peces e invertebrados capturados cerca del litoral de Maine. Once especies estaban correlacionadas con las TSM de 2 a 8 años anteriores, reflejando condiciones al momento de incubación y desarrollo temprano. Los valores de r^2 oscilaron entre 0.32 y 0.83, con un promedio de 0.51. Las 13 especies restantes estaban correlacionadas con TSM durante el mismo año, reflejando cambios en capturabilidad. Grainger (1978), usando datos de 80 años, descubrió que las fluctuaciones de corto plazo en las capturas de arenque (*Clupea harengus*) frente a la costa occidental de Irlanda estaban correlacionadas con las TSM y salinidad de 3 a 4 años anteriores. Sugirió que entre octubre y marzo, cuando las larvas van a la deriva con las corrientes, son afectadas por la temperatura y condiciones oceánicas asociadas. Destacó que el efecto del ambiente sobre el arenque debe ser grande si después puede ser observado en un índice de abundancia tan rudimentario como es la captura anual. Bakun y Parrish (sin fecha) han resumido las correlaciones reportadas entre la fuerza de la generación anual de ocho especies de peces y el cangrejo de Dungeness en la región de la Corriente de California y las variables ambientales durante las temporadas de desove respectivas. La variable correlacionada con mayor frecuencia fue el índice de afloramiento. En Wooster (1983) se presentan reseñas de investigaciones de correlaciones de variables ambientales y peces y crustáceos del Golfo de Alaska y el Mar de Bering. Entre éstos, Pearcy (1983) sugirió una correlación entre las generaciones anuales fuertes del arenque (*Clupea harengus pallasi*) y los eventos de El Niño.

Shepherd, Pope, y Cousens (1984) señalaron muchas investigaciones de posibles factores ambientales en el reclutamiento, tales como temperatura, salinidad, viento, gradientes de presión, afloramiento, descargas de ríos, estabilidad en la columna del agua, etc. Su Tabla 5 presenta ejemplos de r^2 de 14 investigaciones (sólo se indica el valor más alto de cada uno cuando se ha establecido más de una correlación). Los valores de r^2 varían desde 0.073 hasta 0.860, con un promedio de 0.500, en correlaciones con de 8 a 19 años de datos. De sus propios análisis de la temperatura del mar y el reclutamiento de cardúmenes de peces en el Mar del Norte, concluyeron que existía una fuerte evidencia de una relación entre reclutamiento y clima.

Es posible que la correlación de las tasas de captura de reclutas de barrilete con IMVD no se base en la dispersión de organismos alimenticios por la mezcla por el viento, según la hipótesis de estabilidad de Lasker (1975) para las larvas de la anchoveta norteña, sino que en la relación de IMVD con algún otro proceso desconocido o alguna condición que influya sobre la supervivencia. Si aumenta la predación de huevos y larvas de barrilete en años con vientos fuertes, ésto podría explicar la correlación inversa de la abundancia de cohortes de barrilete y IMVD igual de bien que la hipótesis de Lasker (1975). En general, los vientos más fuertes causan mayor mezcla y afloramiento de nutrientes, resultando en una producción primaria mayor que soporta una cantidad mayor de herbívoros, llevando a un aumento en el número de zooplancton carnívoro y predadores superiores. Murphy (1961) sugirió que, para la sardina del Pacífico (*Sardinops caerulea*) en la región de la Corriente de California, la tasa de mortalidad instantánea de larvas causada por la predación pudiera variar por un factor de hasta 20, a juzgar por la variación en la abundancia de zooplancton. Posiblemente, tanto la dispersión del alimento como la predación (al grado de que estén controlados por IMVD) podría explicar el efecto aparente de IMVD sobre las cohortes de barriletes en el OPO (Sección 4.324).

La correlación establecida entre las capturas o las CPUE de muchas otras especies y variables ambientales durante el período de incubación y desarrollo temprano apoya la hipótesis de que IMVD, a través de variables oceánicas asociadas, puede afectar la supervivencia del barrilete en sus etapas tempranas en el Pacífico central. Esta influencia debe ser grande si es detectable en la tasa de captura de reclutas a la pesquería del OPO, a pesar de la variación en una o más de las cinco características de barrilete que se requiere muestren variabilidad baja (Sección 3.1).

La hipótesis de que la supervivencia de larvas de barrilete y la estabilidad de la columna del agua estén relacionadas se ve apoyada por la alta correlación entre la tasa de captura de reclutas e IMVD. Sin embargo, la hipótesis no se ve confirmada, porque se ignora el proceso que causa la correlación. Se requieren estudios experimentales sobre la supervivencia de larvas de barrilete en el mar, la dispersión de alimento, la predación, y el traslado de larvas fuera de sus áreas de alimentación óptima. Según Shepherd, Pope, y Cousens (1984): "La prueba final deberá ser siempre de la habilidad de predecir datos que no están disponible al hacer el análisis." Se deberán comprobar unos 15 a 25 años adicionales de datos antes de concluir que la tasa de captura de reclutas de barrilete y IMVD están relacionadas. El hecho de que no exista ninguna correlación inversa entre los reclutas de aleta amarilla e IMV en parte de la zona de desove del aleta amarilla (Anónimo, 1988) debilita la hipótesis del barrilete, ya que sería de esperar que las larvas de varias especies de atunes respondan a las variaciones ambientales de forma más o menos similar. Las larvas de barrilete y aleta amarilla se encuentran generalmente encima de la termoclina (Klawe, 1963; Matsumoto y Skillman, 1984), así que ocuparían probablemente el mismo nicho ecológico en las áreas donde ambos ocurren juntos (al oeste de 130°W).

5. RESUMEN

La captura por unidad de esfuerzo es un índice de la abundancia aparente de barrilete. Sin embargo, es difícil estimar el esfuerzo debido a cambios en la eficacia de la flota, en los tipos de cardúmenes capturados, y en la capturabilidad. Se ajustó el esfuerzo cerquero sobre el barrilete para cambios en el CLP, el cual se estimó haber incrementado en un 39% entre 1961 y 1984. Sin embargo, no se ajustó el esfuerzo para los efectos del incremento en el uso de helicópteros, cambios de tipos de cardúmenes, y variaciones en la capturabilidad por zona o temporada. Mucho del esfuerzo registrado dirigido principalmente al aleta amarilla fue sistemáticamente eliminado por un método que retuvo la mayor parte de la captura de barrilete registrada.

Ya que no se ha desarrollado ningún método para determinar la edad de barriletes capturados, se intentó separar los grupos de edad por trimestre, con base en la longitud y tasa de crecimiento de los peces. Se utilizó una tasa de crecimiento lineal de 24 cm/año. La curva de crecimiento de von Bertalanffy con $L_{\infty} = 86.0$ cm y $K = 0.79$ también se utilizó, y la longitud de separación dentro del rango de longitudes de la mayoría de los peces capturados fue similar a aquella de la tasa de crecimiento lineal. La longitud de separación de la tasa de crecimiento lineal y de la curva de vB encajan satisfactoriamente con los datos de frecuencia de longitud durante los primeros tres trimestres de la mayoría de los años, pero el ajuste es normalmente pobre en el último trimestre. En 1971 y 1973 el ajuste es muy pobre en los tres primeros trimestres, y es muy dudoso el asignar edades para estos años.

La abundancia de larvas de barrilete en el Pacífico casi se duplicó por cada 1°C que aumenta la TSM entre 23°C y un máximo de unos 29°C, y luego disminuyó con aumentos adicionales en la TSM. No se sabe si esta relación aparente se debe a efectos directos o indirectos sobre los reproductores, las larvas, o ambos.

La logCPUE_u anual de barrilete de la pesquería internacional de barcos de carnada para el periodo de 1934 a 1960 estaba correlacionada positivamente con ATSM en la zona de desove 18 meses antes y correlacionada positivamente con año. La correlación con año pudiera representar una variable ambiental desconocida correlacionada con año o un incremento a la eficacia de la búsqueda y captura del barrilete. Una regresión escalonada mostró que año tuvo el mayor efecto y que ATSM mejoró significativamente la correlación. No se dispuso de datos sobre IMVD correspondientes a este periodo adecuados para comprobar con logCPUE_u.

Se comprobó la logTC₃₁₊ anual de barrilete de los cerqueros en el OPO para el periodo de 1961 a 1984 para correlación con TSMD, IMVD, TSMP, y año. Se comprobó el TC₃₁₊ anual con los IVC y PIVC. Las correlaciones significativas fueron positiva para TSMD, inversa para IMVD, e inversa para año. Tras multiplicar P por cinco, IMVD y año permanecieron significativos. Una regresión escalonada mostró IMVD ser la única variable ambiental significativa. Los resultados fueron similares para logTC₆₁₊, a excepción de que la regresión escalonada indicó que IMVD era la variable significativa principal y año la secundaria.

Se comprobó la logCPUE_{w3}' anual de barrilete de los cerqueros en la zona de 5° frente al Golfo de Guayaquil para el periodo de 1961 a 1984 para correlación con TSMD y IMVD, TSM media y el gradiente de TSM en la zona de pesca, y año. Se comprobó el CPUE_{w3}' anual los IVC y PIVC. Las correlaciones significativas fueron inversas para IMVD, para el gradiente de TSM, y para año. Tras multiplicar P por seis sólo el gradiente de TSM y año permanecieron significativos. Una regresión escalonada mostró año ser la única variable significativa; excluyendo año y comprobando de nuevo indicó que el gradiente de TSM era la única variable significativa. La CPUE_{w3}' en esta zona no estaba significativamente correlacionada con las capturas de barrilete en las zonas adyacentes, lo cual no indica que el aumento en el esfuerzo de pesca en estas zonas haya causado la disminución en CPUE_{w3}' en el área del Golfo de Guayaquil después de los años 60.

Se comprobó la logCPUE_u anual de barrilete de la pesquería local ecuatoriana de barcos de carnada para correlación con TSMD y IMVD en la zona de desove 18 meses antes, con TSM en la zona de pesca, y con año. Se comprobó la CPUE_u con las IVC y PIVC. Para el periodo de 1957 a 1977, cuando el esfuerzo anual mínimo era 500 días, logCPUE_u estaba correlacionada de forma significativa e inversa con IMVD; tras multiplicar P por cinco para compensar por las cuatro variables ambientales y año, las correlaciones se volvieron insignificativas. Para los años cuando el esfuerzo mínimo era de 250 y 1000 días las correlaciones entre logCPUE_u e IMVD no fueron significativas.

La hipótesis de que los eventos de El Niño afecten la abundancia aparente de barrilete en algunas zonas del OPO no se ve apoyada por los resultados de estos análisis.

RECONOCIMIENTOS

El informe completo fue revisado por Norman W. Bartoo, William H. Bayliff, Christofer H. Boggs, Patrice Cayré, Robert E. Kearney, y Robert W. Owen. Secciones del informe fueron revisadas por David W. K. Au, John R. Calaprice, John R. Hunter, Pierre M. Kleiber, Yasunobu Matsuura, Patrick K. Tomlinson, y Paul E. Smith. Datos fueron proporcionados por William H. Bayliff, Michael G. Hinton, Forrest R. Miller, Craig J. Orange, Richard G. Punsly, Gayle ver Steeg, Brian C. Weare, y Klaus Wyrtki. El autor está muy agradecido a todos éstos por su ayuda, y especialmente a William H. Bayliff y Patrick K. Tomlinson por sus sugerencias y comentarios.

SIMBOLOS Y ABREVIACIONES

*	significado estadístico a $0.01 < P < 0.05$
**	significado estadístico a $P < 0.01$
AHS	arrastres horizontales subsuperficiales de redes larvales
ARCAA	Area Reglamentaria de la Comisión para el Aleta Amarilla
ATSM	anomalía de la TSM en el área 10°N-10°S, 180°-80°W
C	coeficiente de variación
c.p.	comunicación personal
CCEN	Contracorriente Ecuatorial del Norte
CCES	Contracorriente Ecuatorial del Sur
CEN	Corriente Ecuatorial del Norte
CES	Corriente Ecuatorial del Sur
CIAT	Comisión Interamericana del Atún Tropical
CLP	cociente de lances positivos
CLP ₆	CLP de barcos de la clase 6
CPDP	captura por día de pesca
CPLP	captura por lance positivo
CPUE	captura por unidad de esfuerzo
CPUE _u	captura por unidad de esfuerzo, sin ponderar, de la pesquería de carnada local ecuatoriana
CPUE ₃ '	captura trimestral por unidad de esfuerzo cerquero en el área S-05-080 con esfuerzo estandarizado a días de la clase 3 y ajustado por cambios en el cociente de lances positivos
CPUE ₆ '	captura trimestral por unidad de esfuerzo cerquero de la clase 6 en el área S-05-080 y ajustado por cambios en el cociente de lances positivos
CPUE _{u3} '	captura por unidad de esfuerzo cerquero y de carnada, sin ponderar, con esfuerzo estandarizado a días de la clase 3
CPUE _{u3} '	captura por unidad de esfuerzo cerquero, sin ponderar, con esfuerzo estandarizado a días de la clase 3 y ajustada por cambios en el cociente de lances positivos
CPUE _{u6} '	captura por unidad de esfuerzo, sin ponderar, de cerqueros de la clase 6

$CPUE_{w6}'$	captura por unidad de esfuerzo, sin ponderar, de cerqueros de la clase 6, ajustada por cambios en el cociente de lances positivos
$CPUE_{w3}$	captura ponderada por unidad de esfuerzo con esfuerzo estandarizado a días de la clase 3
$CPUE_{w3}'$	captura ponderada por unidad de esfuerzo, con esfuerzo estandarizado a días de la clase 3 y ajustado por cambios en el cociente de lances positivos
$CPUE_{w6}$	captura ponderada por unidad de esfuerzo de cerqueros de la clase 6
$CPUE_{w6}'$	captura ponderada por unidad de esfuerzo de cerqueros de la clase 6 y ajustada por cambios en el cociente de lances positivos
CT	captura total
d	día
D	estadística de Durbin-Watson para probar por autocorrelación
edad 0+	edad estimada <12 meses
edad 1+	edad estimada de 12 a 24 meses
edad 2+	edad estimada >24 meses
f_3	esfuerzo pesquero cerquero estandarizado a días de la clase 3
f_3'	esfuerzo pesquero cerquero estandarizado a días de la clase 3 y ajustado por cambios en el cociente de lances positivos
f_3''	esfuerzo pesquero cerquero estandarizado a días de la clase 3 utilizado para estimar la tasa de captura específica para cada edad
f_3'''	esfuerzo de pesca total estimado, en días de cerqueros de la clase 3
f_6	esfuerzo de pesca de los cerqueros de la clase 6
f_6'	esfuerzo de pesca de los cerqueros de la clase 6, ajustado por el cociente de lances positivos
f_6''	esfuerzo de pesca de los cerqueros de la clase 6, utilizado para estimar la tasa de captura específica para cada edad
f_6'''	esfuerzo de pesca total estimado, en días de cerqueros de la clase 6
FA_3	factor de ajuste para el esfuerzo de pesca estandarizado a días de la clase 3, basado en el cociente de lances positivos de todas clases de cerqueros
FA_6	factor de ajuste para el esfuerzo de pesca, basado en el cociente de lances positivos de los cerqueros de la clase 6
g.l.	grados de libertad
IC_3	índice de concentración basado en esfuerzo estandarizado a días de la clase 3
IC_6	índice de concentración para los cerqueros de la clase 6
IMV	índice de mezcla por el viento
IMVD	índice de mezcla por el viento en la zona de desove donde las TSM >28°C
IT	intervalo trimestral
IVC	índice de la velocidad de la corriente para la Contracorriente Ecuatorial del Norte
K	coeficiente de crecimiento en la función de crecimiento de von Bertalanffy
L_∞	longitud asintótica en la función de crecimiento de von Bertalanffy

<i>N</i>	número total estimado en un grupo de edad de barrilete en un trimestre
nd	nudo—millas náuticas por hora
NMFS	National Marine Fisheries Service
\bar{n}_m	número medio de larvas capturadas por arrastre, ajustado por los efectos metabólicos de temperatura sobre el crecimiento
n.s.	no significativo estadísticamente ($P>0.05$)
n/tow	número de larvas de barrilete por arrastre de red (de plancton o larval)
n/10m ²	número de larvas de barrilete por 10 m ² de superficie oceánica
n/10 ³ m ³	número de larvas de barrilete por 1000 m ³ de agua filtrada
OPO	Océano Pacífico oriental
<i>P</i>	la probabilidad de cometer un error tipo 1
<i>p</i>	la proporción de arrastres positivos (con captura de una o más larvas)
PIVC	promedio de los índices de la velocidad para la corriente de la Contracorriente Ecuatorial del Norte
<i>q</i>	coeficiente de capturabilidad
<i>Q</i> ₁₀	el factor por el cual aumenta la tasa metabólica por cada 10°C que aumente la temperatura
<i>R</i>	coeficiente de correlación múltiple
<i>R</i> ²	coeficiente de determinación para correlación múltiple
R/P	reclutas por reproductor
<i>r</i>	coeficiente de correlación producto-momento
<i>r</i> ²	coeficiente de determinación
<i>r</i> _s	coeficiente de correlación de rangos de Spearman
<i>r</i> _s ²	coeficiente de determinación de rangos
<i>s</i>	desviación estándar
SCE	Subcorriente Ecuatoriana, también conocida como la Corriente de Cromwell
SPC	Comisión del Pacífico Sur
<i>t</i>	toneladas cortas
TC ₃	tasa de captura cerquera específica para cada edad basada en esfuerzo estandarizado a días de la clase 3 y ajustado por cambios en la tasa de lances positivos
TC ₃ 1+	tasa media de captura cerquera de peces de edad 1+ basada en esfuerzo estandarizado a días de la clase 3 y ajustado por cambios en la tasa de lances positivos
TC ₆ 1+	tasa media de captura cerquera de peces de edad 1+ basada en esfuerzo de la clase 6 y ajustado por cambios en la tasa de lances positivos
Tr	trimestre del año
TSM	temperatura de la superficie del mar
TSMD	temperatura de la superficie del mar en el área de desove donde las TSM >28°C
TSMP	temperatura de la superficie del mar en las 22 áreas de 5° de pesca de barrilete durante todo el año

TSMP'	temperatura de la superficie del mar en las 22 áreas de 5° de pesca de barrilete durante los dos primeros trimestres
vB	función de crecimiento de von Bertalanffy
W'	captura total registrada, en toneladas, de todos los estratos de arte-área-trimestre con dos o más muestras
\bar{x}	promedio aritmético
zona de 5°	5° de latitud × 5° de longitud

LITERATURE CITED—LITERATURA CITADA

- Allen, R., and R. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 18(4): 301-379.
- Allison, L.J., J. Steranka, R.J. Holub, J. Hansen, F.A. Godshall, and C. Prabhakara. 1971. Air-sea interaction in the tropical Pacific Ocean. Goddard Space Flight Center, X-651-71-191: 103 pp.
- Anonymous. 1974. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep. 1973: 150 pp.
- Anonymous. 1976. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep. 1975: 176 pp.
- Anonymous. 1980. Review of preliminary results from genetic analysis of skipjack blood samples collected by the Skipjack Survey and Assessment Programme. South Pac. Comm., Skipjack Survey and Assessment Programme, Tech. Rep., 1: 22 pp.
- Anonymous. 1981. Report of the second Skipjack Survey and Assessment Programme workshop to review results from genetic analysis of skipjack blood samples. South Pac. Comm., Skipjack Survey and Assessment Programme, Tech. Rep., 6: 39 pp.
- Anonymous. 1982. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1981: 303 pp.
- Anonymous. 1983. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1982: 294 pp.
- Anonymous. 1984. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1983: 272 pp.
- Anonymous. 1985. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1984: 270 pp.
- Anonymous. 1986. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1985: 248 pp.
- Anonymous. 1987a. Food Agric. Org. United Nations, Yearbook of Fishery Statistics, 1985, Catches and Landings, 60: 461 pp.
- Anonymous. 1987b. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1986: 264 pp.
- Anonymous. 1988. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1987: 222 pp.
- Argue, A.W., and R.E. Kearney. 1983. An assessment of the skipjack and baitfish resources of New Zealand. South Pac. Comm., Skipjack Survey and Assessment Programme, Final Country Rep., 6: 68 pp.
- Austin, T.S. 1954. Mid-Pacific oceanography, Part V, Transequatorial waters May-June 1952, August 1952. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 136: 86 pp.
- Bakun, A. 1985. Comparative studies and the recruitment problem: searching for generalizations. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest., Rep., 26: 30-40.
- Bakun, A., and R. Parrish. (no date). Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary current regions. In Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes, Lima, 20 April-5 May 1980. Workshop Report No. 28, Intergovernmental Oceanogr. Comm., UNESCO: 67-104.
- Barkley, R.A., W.H. Neill, and R.M. Gooding. 1978. Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, habitat based on temperature and oxygen requirements. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 76(3): 653-662.
- Bayliff, W.H. 1971. Estimates of the rates of mortality of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean derived from tagging experiments. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 15(4): 379-436.

- Bayliff, W.H. 1977. Estimates of the rates of mortality of skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean derived from tagging experiments. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Internal Rep., 10: 59 pp.
- Bayliff, W.H. 1988. Growth of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin, *Thunnus albacares*, tunas in the eastern Pacific Ocean, as estimated from tagging data. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 19(4): 307-385.
- Blackburn, M., and D.L. Serventy. 1981. Observations on distribution and life-history of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in Australian waters. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 79(1): 85-94.
- Broadhead, G.C. 1962. Recent changes in the efficiency of vessels fishing for yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(7): 281-332.
- Brock, V.E. 1959. The tuna resource in relation to oceanographic features. U.S. Fish Wild. Serv., Circ., 65: 1-11.
- Calkins, T. 1963. An examination of fluctuations in the "concentration index" of purse seiners and baitboats in the fishery for tropical tunas in the eastern Pacific, 1951-1961. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 8(5): 255-316.
- Cromwell, T., and T.S. Austin. 1954. Mid-Pacific oceanography, Parts II and III, transequatorial waters. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 131: 13 pp + data.
- Cushing, D.H., and R.R. Dickson. 1976. The biological response in the sea to climatic changes. Adv. Mar. Biol., 14: 1-122.
- Davidoff, E.B. 1963. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1961. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 8(4): 199-251.
- Dixon, W.J. (editor). 1983. BMDP Statistical Software, Univ. Calif. Press, Berkeley: 733 pp.
- Dow, R.L. 1977. Effects of climatic cycles on the relative abundance and availability of commercial marine and estuarine species. J. Cons., Cons. Int. Explor. Mer, 37(3): 274-280.
- Durbin, J., and G.S. Watson. 1951. Testing for serial correlation in least squares regression. II. Biometrika, 38: 159-178.
- Ellertsen, B., E. Moksness, P. Solemdal, S. Tilseth, T. Westgård, and V. Øiestad. 1981. Growth and survival of cod larvae in an enclosure. Experiments and a mathematical model. Rapp. P.-V. Réun., Cons. Int. Explor. Mer, 178: 45-57.
- Elsberry R.L., and R.W. Garwood, Jr. 1978. Sea-surface temperature anomaly generation in relation to atmospheric storms. Bull. Am. Meteor. Soc., 59(7): 786-789.
- Forsbergh, E.D. 1980. Synopsis of biological data on the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), in the Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Spec. Rep., 2: 295-360.
- Forsbergh, E.D. 1987. Rates of attrition, cohort analysis, and stock production models for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Internal Rep., 20: 37 pp.
- Forsbergh, E.D. 1988. A review of the question of subpopulations of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean, and of possible migration routes. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Internal Rep., 21: 15 pp.

- Fujino, K. 1970. Immunological and biochemical genetics of tunas. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99(1): 152-178.
- Grainger, R.J.R. 1978. Herring abundance off the west of Ireland in relation to oceanographic variation. *J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer.*, 38(2): 180-188.
- Green, R.E. 1967. Relationship of the thermocline to success of purse seining for tuna. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 96(2): 126-130.
- Gulland, J.A. 1955. Estimation of growth and mortality in commercial fish populations. Ministry Agri. Fish., Fish. Invest., Series 2, 18(9): 46 pp.
- Gulland, J.A. 1974. Catch per unit of effort as a measure of abundance. *Int. Comm. Conserv. Atl. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap.*, 3: 1-5.
- Hennemuth, R.C. 1957. An analysis of methods of sampling to determine the size composition of commercial landings of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*). *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 2(5): 171-243.
- Hennemuth, R.C. 1961. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the years 1954-1958. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 5(1): 1-112.
- Hunter, J.R. 1982. Predation and recruitment. In B.J. Rothschild and C.G.H. Rooth (conveners), *Fish Ecology III, A Foundation for REX, A Recruitment Experiment*. Univ. Miami, Tech. Rep., 82008: 173-209.
- Hunter, J.R. 1983. On the determinants of stock abundance. In Wooster, W.S. (editor), *From year to year*. Washington Sea Grant Program, Univ. Wash., Seattle: 11-16.
- Hunter, J.R., B.J. Macewicz, and J.R. Sibert. 1986. The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the South Pacific. *U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull.*, 84(4): 895-903.
- Joseph, J., and T. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13(1): 1-273.
- Josse, E., J.C. Le Guen, R. Kearney, A. Lewis, A. Smith, L. Marec, and P.K. Tomlinson. 1979. Growth of skipjack. *South Pac. Comm., Occas. Pap.*, 11: 83 pp.
- Kearney, R.E. 1978. Some hypotheses on skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in the Pacific Ocean. *South Pac. Comm., Occas. Pap.*, 7: 23 pp.
- King, J.E., T.S. Austin, and M.S. Doty. 1957. Preliminary report on Expedition Eastropic. *U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish.*, 201: 155 pp.
- Klawe, W.L. 1963. Observations on the spawning of four species of tuna (*Neothunnus macropterus*, *Katsuwonus pelamis*, *Auxis thazard* and *Euthynnus lineatus*) in the eastern Pacific Ocean, based on the distribution of their larvae and juveniles. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 6(9): 447-540.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull.*, 73(3): 453-462.

- Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitment of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California Current: contrasting years 1975 through 1978. Rapp. P.-V. Réun., Cons. Int. Explor. Mer, 178: 375-388.
- Marr, J.C. 1951. On the use of the terms *abundance*, *availability* and *apparent abundance* in fishery biology. Copeia, 2: 163-169.
- Matsumoto, W.M. 1958. Description and distribution of larvae of four species of tuna in central Pacific waters. U.S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull., 58(128): 31-72.
- Matsumoto, W.M. 1966. Distribution and abundance of tuna larvae in the Pacific Ocean. In Manar, T.A. (editor), Hawaii, Proc. Governor's Conf. Cent. Pacif. Fish Resources: 131-146.
- Matsumoto, W.M. 1975. Distribution, relative abundance, and movement of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean based on Japanese tuna longline catches, 1964-67. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 695: 30 pp.
- Matsumoto, W.M., and R.A. Skillman. 1984. Synopsis of biological data on skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Circ., 451: 92 pp.
- Miyake, M. 1968. Distribution of skipjack in the Pacific Ocean, based on records of incidental catches by the Japanese longline tuna fishery. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 12(7): 509-608.
- Mori, K. 1972. Geographical distribution and relative apparent abundance of some scombrid fishes based on the occurrences in the stomachs of apex predators caught on tuna longline—I. Juvenile and young of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 6: 111-168.
- Murphy, G.I. 1961. Oceanography and variations in the Pacific sardine population. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest., Rep., 8: 55-64.
- Naganuma, A. 1979. On spawning activities of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 40: 1-13.
- Nakamura, E.L., and W.M. Matsumoto. 1966. Distribution of larval tunas in Marquesan waters. U.S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull., 66(1): 1-12.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi, and S. Kikawa. 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombrid fishes, 1956-1981. Far Seas Fish. Res. Lab., S Ser., 12: 99 pp.
- Nishikawa, Y., S. Kikawa, M. Honma, and S. Ueyenagi. 1978. Distribution atlas of larval tunas, billfishes and related species—results of larval surveys by R/V *Shunyo Maru* and *Shoyo Maru*, 1956-1975. Far Seas Fish. Res. Lab., S Ser., 9: 99 pp.
- O'Connell, C. 1980. Percentage of starving northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae in the sea as estimated by histological methods. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 78 (2): 475-489.
- Owen, R.W. 1981a. Microscale plankton patchiness in the larval anchovy environment. Rapp. P.-V. Réun., Cons. Int. Explor. Mer, 178: 364-368.
- Owen, R.W. 1981b. Microscale patchiness of small plankton on the Chimbote Shelf, Peru. Inst. Mar. Per., Bol., Vol. extr. (ICANE): 274-279.
- Owen, R.W. 1989. Microscale and finescale variations of small plankton in coastal and pelagic environments. J. Mar Res., 47(1): 197-240.

- Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby, and C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish production. FAO Fish. Rep., 291, Vol. 3: 731-777.
- Parrish, R.H., and A.D. MacCall. 1978. Climatic variation and exploitation in the Pacific mackerel fishery. Calif. Dep. Fish Game, Fish Bull., 167: 110 pp.
- Pearcy, W. 1983. Abiotic variations in regional environments. In Wooster, W.S. (editor), From year to year. Washington Sea Grant Program, Univ. Wash., Seattle: 33-34.
- Pella, J.J., and C.T. Psaropoulos. 1975. Measures of tuna abundance from purse-seine operations in the eastern Pacific Ocean, adjusted for fleet-wide evolution of fishing power, 1960-1971. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 16(4): 281-400.
- Peterman, R.M., and M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). Science, 235(4786): 354-356.
- Punsly, R. 1987. Estimation of the relative annual abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean during 1970-1985. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 19(3): 261-306.
- Quinn, W.H., D.O. Zopf, K.S. Short, and R.T.W. Kuo Yang. 1978. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 76(3): 663-678.
- Richards, W.J. 1969. Distribution and relative apparent abundance of larval tunas collected in the tropical Atlantic during Equalant surveys I and II. Proceedings of the Symposium of the Oceanography and Fisheries Resources of the Tropical Atlantic, Abidjan, 1966. UNESCO, Paris: 289-315.
- Richards, W.J., D.C. Simmons, A. Jensen, and W.C. Mann. 1969a. Tuna larvae (Pisces, Scombridae) collected in the northwestern Gulf of Guinea, *Geronimo* cruise 3, 10 February to 26 April 1964. U.S. Fish Wild. Serv., Data Rep., 36: 18 pp.
- Richards, W.J., D.C. Simmons, A. Jensen, and W.C. Mann. 1969b. Larvae of tuna and frigate mackerel (Pisces, Scombridae) collected in the northwestern Gulf of Guinea, *Geronimo* cruise 4, 5 August to 13 October 1964. U.S. Fish Wild. Serv., Data Rep., 37: 16 pp.
- Richards, W.J., D.C. Simmons, A. Jensen, and W.C. Mann. 1970. Larvae of tuna and frigate mackerel (Pisces, Scombridae) in the northwestern Gulf of Guinea and off Sierra Leone, *Geronimo* cruise 5, 10 February to 19 April 1965. U.S. Fish Wild. Serv., Data Rep., 40: 23 pp.
- Richardson, B.J. 1983. Distribution of protein variation in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the central and south-western Pacific. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 34(2): 231-251.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics for fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can., 191: 302 pp.
- Rothschild, B.J., and C.G.H. Rooth (conveners). 1982. Fish Ecology III, A Foundation for REX, A Recruitment Experiment. Univ. Miami, Tech. Rep., 82008: 389 pp.
- Schaefer, M.B. 1958. Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1957. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1957: 31-134.

- Schaefer, M.B. 1959. Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1958. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1958: 34-121.
- Schaefer, M.B. 1960. Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1959. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1959: 39-156.
- Shepherd, J.G., J.G. Pope, and R.D. Cousens. 1984. Variations in fish stocks and hypotheses concerning their links with climate. Rapp. P.-V. Réun., Cons. Int. Explor. Mer, 185: 255-267.
- Shimada, B.M., and M.B. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 1(7): 351-469.
- Shingu, C., P.K. Tomlinson, and C.L. Petersen. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 16(2): 65-230.
- Sibert, J.R., R.W. Kearney, and T.A. Lawson. 1983. Variation in growth increments of tagged skipjack (*Katsuwonus pelamis*). South Pac. Comm., Tuna and Billfish Assessment Programme, Tech. Rep., 10: 43 pp.
- Simpson, J.J., and T.D. Dickey. 1981. The relationship between downward irradiance and upper ocean structure. *J. Phys. Oceanogr.*, 11(3): 309-323.
- Strasburg, D.W. 1960. Estimates of larval tuna abundance in the central Pacific. U.S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull., 60(167): 231-255.
- Stroup, E.D. 1954. Mid-Pacific oceanography, Part IV, transequatorial waters, January-March 1952. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 135: 52 pp.
- Sutcliffe, W.H., Jr., K. Drinkwater, and B.S. Muir. 1977. Correlations of fish catch and environmental factors in the Gulf of Maine. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34(1): 19-30.
- Theilacker, G.H. 1986. Starvation-induced mortality of young sea-caught jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, determined with histological and morphometrical methods. U. S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 84(1): 1-17.
- Uchiyama, J.H., and P. Struhsaker. 1981. Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 79(1): 151-162.
- Ueyanagi, S. 1969. Observations on the distribution of tuna larvae in the Indo-Pacific Ocean with emphasis on the delineation of the spawning areas of albacore, *Thunnus alalunga*. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 2: 177-256.
- Ueyanagi, S., K. Mori, and Y. Nishikawa. 1969. Research on distribution of larvae. *Far Seas Fish. Res. Lab.*, S Series, 1: 12-17.
- Wade, C.B. 1951. Larvae of tuna and tuna-like fishes from Philippine waters. U.S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull., 51(57): 445-485.
- Wesolowski, G.O. 1976. Multiple Regression and Analysis of Variance. John Wiley and Sons, New York: 292 pp.

- Wild, A., and T.J. Foreman. 1980. The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 17(7): 507-560.
- Williams, F. 1970. Sea surface temperature and the distribution and apparent abundance of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern Pacific Ocean. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull., 15(2): 229-281.
- Williams, F. 1972. Consideration of three proposed models of the migration of young skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) into the eastern Pacific Ocean. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 70(3): 741-762.
- Wilson, R.C., E.L. Nakamura, and M.O. Yoshida. 1958. Marquesas area fishery and environmental data, October 1957-June 1958. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 283: 105 pp.
- Wilson, R.C., and M.O. Rinkel. 1957. Marquesas area oceanographic and fishery data, January-March, 1957. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 238: 135 pp.
- Wooster, W.S. (editor). 1983. From year to year. Interannual variability of the environment and fisheries of the Gulf of Alaska and the eastern Bering Sea. Washington Sea Grant Program, Univ. Wash., Seattle: 208 pp.
- Wyrtski, K. 1973. Teleconnections in the equatorial Pacific Ocean. Science, 180(4081): 66-68.
- Wyrtski, K. 1974. Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to the trade winds. J. Phys. Oceanogr., 4(3): 372-380.
- Wyrtski, K. 1979. Sea level variations: monitoring the breath of the Pacific. EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 60(3): 25-27.
- Zar, J.H. 1972. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. J. Am. Stat. Assoc., 67(339): 578-580.