

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

Bulletin — Boletín

Vol. 18, No. 4

**CATCH RATES AS INDICES OF ABUNDANCE
OF YELLOWFIN TUNA, *THUNNUS ALBACARES*,
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

**PROPORCIONES DE CAPTURA COMO INDICES DE ABUNDANCIA
DEL ATUN ALETA AMARILLA, *THUNNUS ALBACARES*,
EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by / por

Robin Allen and / y Richard Punsly

La Jolla, California

1984

CONTENTS — INDICE
ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT	303
INTRODUCTION.....	303
METHODS	305
Catch rates as estimates of abundance	305
Standardization.....	308
Logbook data.....	310
Standardizing model	312
RESULTS.....	314
Estimation of parameters	314
Abundance estimates	319
DISCUSSION	320
<hr/>	
FIGURES — FIGURAS	323
<hr/>	
TABLES — TABLAS.....	340

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO.....	353
INTRODUCCION	353
METODOS.....	355
Los índices de captura como estimaciones de la abundancia.....	355
Estandarización.....	358
Datos de bitácora.....	361
Modelo de estandarización	363
RESULTADOS.....	365
Estimación de los parámetros.....	365
Estimaciones de la abundancia	371
DISCUSION	372
<hr/>	
LITERATURE — BIBLIOGRAFIA CITADA	376

**CATCH RATES AS INDICES OF ABUNDANCE
OF YELLOWFIN TUNA, *THUNNUS ALBACARES*
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

by

Robin Allen and Richard Punsly

ABSTRACT

Catch and effort data from logbooks of tuna seiners were used to make estimates of catch per hour of searching for 1970-1980. The estimates were standardized using a regression model to make annual estimates of abundance adjusted for fishing mode, speed, capacity, use of aerial assistance, net dimensions, and sea-surface temperature. Inside the CYRA the standardized estimates for tuna schools associated with dolphins and those for schools not associated with dolphins showed a similar overall pattern of decline. The 1980 catch rates were about 30% of the 1970 rates, the decline being greater for the schools not associated with dolphins. Dolphin-associated schools outside the CYRA declined to about 60% of the 1970 levels.

INTRODUCTION

In the management of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fishery in the eastern Pacific, catch and effort data have been used as the major source of information on abundance of fish. The first estimates using these data were made by Shimada and Schaefer (1956). Since then there have been several publications dealing with techniques for using catch and effort data in this fishery (Schaefer, 1957; Griffiths, 1960; Calkins, 1961 and 1963; Martin, 1962; Broadhead, 1962; Pella and Psaropoulos, 1975). Coincident with the use of catch rates for estimating abundance has been the use of production models to estimate the effect of the fishery on the stock (Schaefer, 1957 and 1967; Pella and Tomlinson, 1969; Anonymous, 1982). The staff of the IATTC has relied more on these techniques than on age-structured methods of assessment and modelling (Hennemuth, 1961; Davidoff, 1963, 1965, and 1969; Francis, 1974a and 1977; Anonymous, 1982), partly because of the uncertainty in the methods that had been used to age the fish, and also because of the difficulty in applying methods such as cohort analysis in a situation with a complex and poorly understood stock structure.

Prior to 1958, when the fishery was exploited mainly by baitboats, Shimada and Schaefer (1956) found differences in efficiency of baitboats of different sizes. To compensate for these differences they devised a method designed to standardize effort in order to remove trends in catch rates which were attributable to changes in the efficiency of the fishing fleet. The data they used to describe fishing effort were days of fishing for yellowfin or skipjack (*Katsuwonus pelamis*), which have remained the basic measure of effort for the fishery. Later, when purse-seining became the more common method of fishing, it became necessary to standardize purse-seine effort to baitboat effort (Broadhead, 1962) or the reverse

(Bayliff, 1971). For recent years the series of data from years during which purse-seining was the major fishing method is sufficiently long that only purse-seine data are used for measuring catch rates.

It is widely recognized that there are many problems associated with the use of catch and effort data to estimate abundance (Paloheimo and Dickie, 1964; Ulltang, 1976). These are both of a technical nature concerning the method used to estimate catch rates, and more general problems of deciding whether in fact catch per unit of effort from a commercial fishery which attempts to maintain a high catch rate reflects stock abundance. In the case of the fishery for yellowfin these problems are compounded by the fact that the fishery is actually a multispecies one, involving one or more of yellowfin, skipjack, and dolphins (principally *Stenella attenuata*, *S. longirostris*, and *Delphinus delphis*) which are often used as indicators of the presence of yellowfin. These problems will be discussed in later sections.

The data collected from purse-seiners by IATTC staff consist of an abstract of the fishing logbook. These include the times of beginning and finishing sets, estimates of the weight of each species taken in the set, and details of times during which the boat is actually searching for fish. However in the past, with the exception of the work by Pella and Psaropulous (1975), analyses of catch and effort data have simply used days fishing as the unit of effort. Although more detailed data have always been available manually, it has been only recently that all of the logbook information back to 1959 has been accessible by computer. In this study hours spent searching has been used in an attempt to measure effort more accurately, and to remove the effects of gear saturation or handling time (Rothschild, 1967; Gulland, 1968; Pella, 1969) and of the multispecies aspects of the fishery.

Fishermen detect tuna schools in several ways. The most important methods are seeing surface disturbances caused by tuna or their prey, finding birds which are sharing prey with tuna, finding pieces of floating debris (commonly called logs) which may have tuna associated with them (Greenblatt, 1979), or finding schools of dolphins which may have tuna associated with them (Allen, 1981). The searching and fishing methods used are different for each mode of fishing. For example, fishermen looking for "school fish" (tuna schools not associated with dolphins or logs) tend to concentrate their searching efforts relatively close to the seiner, while searching for dolphin schools is directed near the horizon (Hammond, 1981). There are also differences among fishing modes in size composition of yellowfin and in fishing areas; school and log fishing tends to occur close to the coast and to offshore islands, and on the average produces smaller yellowfin than does fishing in association with dolphins (Allen, 1981). Because of these and other differences noted below, the purse-seine fishery is treated in this paper as being made up of two fishing modes, fishing of tuna associated with dolphins, and school and log fishing combined. Data from other types of sets, for example sets made at night, are not used.

METHODS

Catch rates as estimates of abundance

Catch rates are natural intuitive estimates of abundance and have probably been used as such ever since man began fishing. The earliest analytical justification for the use of catch rates in this manner was for the situation where fish were assumed to be spread over the bottom of a region of the sea, and caught in a net which was towed randomly with respect to the fish. This leads to simple arguments relating catch to fishing effort and the density of fish (Baranov, 1918; Russell, 1931). However, even the most simple representation of purse-seining for yellowfin and skipjack is considerably more complex than this, so it is necessary to take some care in defining a suitable measure of catch rate for estimating abundance.

Purse-seine fishing for yellowfin and skipjack in the eastern Pacific Ocean has been described by McNeely (1961) and Green *et al.* (1972), and the following is a simplified quantitative representation of the features which are important in defining catch rates. Consider a time-area stratum containing N schools of yellowfin and skipjack, some schools being a mixture of the two species and others composed of just one species. Let C_{i1} and C_{i2} be the weights of yellowfin and skipjack respectively in the i th school. Suppose a seiner searches with probability P of finding any school in a unit of time. In the ideal situation, where schools are discovered independently and P is small, the distribution of waiting times before encountering a school is a negative exponential with parameter $\lambda = PN$. The value of P will depend on the characteristics of the boat, behavior of the fish, and environmental and other conditions in the stratum. The purpose of standardization is to compensate for these variations. Let p_{jk} be the probability that a school in the stratum contains j tons of yellowfin and k tons of skipjack. The weight of yellowfin present in the stratum is then

$$Y = N \sum_{jk} j p_{jk}$$

Assuming that the schools captured are a random sample of the schools present, and that the searching times are independent of the size of the schools subsequently captured, the likelihood of observing a group of catches $(C_{11}, C_{12}), (C_{21}, C_{22}), \dots, (C_{n1}, C_{n2})$ and searching times T_1, T_2, \dots, T_n is

$$L = \prod_i \lambda \exp(-\lambda T_i) n! \prod_{jk} (p_{jk}^{x_{jk}} / x_{jk}!).$$

Where x_{jk} is the number of schools containing j tons of yellowfin and k tons of skipjack. The maximum likelihood estimators of λ and p_{jk} are

$$\hat{\lambda} = n / \sum T_i$$

$$\hat{p}_{jk} = x_{jk} / n$$

Although it is not possible to estimate Y directly, we have

$$\begin{aligned} PY &= PN \sum_j p_{jk} \\ &= \lambda \sum_j p_{jk} \end{aligned}$$

and thus PY can be estimated by

$$\begin{aligned} P\hat{Y} &= (n / \sum T_i) \sum (x_{jk} / n) \\ &= \sum C_{i1} / \sum T_i \end{aligned} \quad (1)$$

This analysis works for skipjack as well as for yellowfin; however in this paper standardization will be carried out only for yellowfin.

In fact, the distributions of searching times within a stratum frequently show deviations from a negative exponential. Typically the cause of poor fitting is overdispersion, that is too many intervals that are either too short or too long, suggesting that vessels to some extent concentrated on areas within the strata in which sets could be made more frequently. We assume that this searching efficiency does not change with time and thus does not affect catch rates expressed as indices.

The correlation coefficients between searching times and the weights of each species in schools are given in Table 1. Most of the correlation coefficients for dolphin sets are negative, indicating a slight tendency for smaller sets to follow longer searching periods. However, the standard deviations of these numbers are of the order of 0.02 and thus it seems reasonable to accept the hypothesis that searching time and weight of each species per school are independent.

We have implicitly assumed that when a school is successfully set upon, the entire school is taken, or, as the estimates are to be used as indices, it is sufficient that the proportion of individual schools taken does not change over time. The assumption that schools taken are a random sample of those present will not be met if there are schools in a stratum which are too small to be worth setting on. Fishermen are reluctant to set upon schools containing less than some minimum amount of fish because each set involves a cost in both time and wear and tear on gear. The value of this minimum will vary depending on circumstances such as previous fishing success, time of day, and size of the boat, but it is in the vicinity of two to three tons for most seiners. For this work sets are defined to be successful if they take at least 3 tons of yellowfin plus skipjack. Thus, catch rates will not provide information on that part of the population which occurs in smaller schools. At times small seiners will set on schools of fish which are smaller than 3 tons. When this happens the catch per hour estimate defined above will be biased upward.

Using equation (1) to define catch rates avoids the difficulty of saturation described by Paloheimo and Dickie (1964), Gulland (1968), and Pella (1969). They

noted that catch rates were biased estimates of abundance when total fishing time, that is searching time plus handling time, was used as a measure of effort. Also the method provides direct estimates of catch rates of both yellowfin and skipjack without having to use either a rule to allocate effort between the species (Kitchen, 1964), or to adjust catch rates of one for the abundance of the other (Pella and Psaropulos, 1975).

Several potential problems in the use of catch and effort data were mentioned in the Introduction. The most serious of these is the question of whether the catchability is independent of population size. There are examples, particularly from clupeoid fisheries (Murphy, 1966 and 1977; Ulltang, 1976), where the catchability coefficient has increased as the stock size decreased, and as a result the fishery was able to maintain a more or less stable catch rate independent of the stock size. The most likely mechanism to cause this is a decline in the range of the stock as the stock size declines. Thus density of fish in the core area of the range is not diminished and catch rates can be maintained. In the yellowfin fishery there is no sign of such a decline in range, as is shown in Figures 1-11.

Clark and Mangel (1979) suggested another mechanism which would have the same effect as changes in the range. They postulated that a portion of the stock near the surface was available to the fishery and as it was removed it was replenished in a density-dependent fashion from an underlying inaccessible population. Thus, catch rate, a function of the numbers of fish at the surface, would not be closely related to total abundance. However, virtually all measures of the surface-fishery (i.e. purse-seiner) catch rates have shown a substantial decline in recent years, so it does not appear that the stock near the surface is being replenished. There is no evidence that the average surface abundance of yellowfin is not directly proportional to the total abundance.

Another complicating factor is that for the most part seiners do not search independently, but share information within "code groups" (Orbach, 1977). Information on fishing success is passed on to members of a group in coded messages, and thus an individual skipper is aware of conditions in a much wider area than he could search alone.

The effect of cooperative searching on encounter rates has been commented on by Rothschild (1977), but there have been no published works dealing with the analysis of data of this type. The formation of code groups should lead to higher catch rates, and probably contributes to overdispersion of the searching data. The pattern of code groups is a well established one. In this paper we assume that its effect is constant over the time period studied and thus will have no effect on indices of relative abundance.

Catch per unit of effort is a relatively easily obtained and inexpensive index of abundance compared to other methods such as echo surveys or egg and larval surveys. No other method of estimation has yet shown much potential for the tuna fisheries in the eastern Pacific, primarily because of the large area exploited by the fishery. In the absence of evidence showing catchability being inversely related

to population size, or changes in fleet efficiency which cannot be associated with a known parameter such as speed or size, catch rates will continue to be used as a major method of indexing abundance.

Standardization

Standardizing catch rates is a technique designed to remove differences in catch rates among boats and circumstances that are the result of factors other than chance or differences in the abundance of fish. For example, large boats tend to have higher catch rates than small ones, and in the yellowfin fishery the catch rate for fish associated with dolphins is normally higher than the catch rate for school fish. Comparisons of catch rates which are intended to provide information on abundance should eliminate these differences. Traditionally the major aim of standardization has been to eliminate trends in catch rate that may be caused by the evolution of a fishing fleet toward more effective boats, equipment, and methods. In addition to removing trends of this type, it can be used to account for variability that is associated with differences among boats, equipment, or fishing techniques, and thus improve the precision of estimates of abundance.

The need for standardization of catch rates has been recognized for many years. For example Gulland (1955), Shimada and Schaefer (1956), and Beverton and Holt (1957) discuss reasons for, and techniques of standardization. Following these works two major approaches to the problem have been developed.

One approach follows the *ad hoc* method of Shimada and Schaefer (1956) and Beverton and Holt (1957) in which standardizing factors were calculated by comparing average catch rates of a particular class of vessels with those for a standard class. Variations of this procedure appear in Joseph and Calkins (1969), Campos Rosado (1971), Uchida (1976), Houghton (1977), and many other papers. This technique is limited in that it is not clear how to deal with complicated situations where, for example, there is more than one way of classifying the fishing fleet, or of cases with missing data.

The other major approach is the use of linear models with least squares or maximum likelihood estimates of parameters. This was first used by Gulland (1956), and later by Robson (1966), Joseph and Calkins (1969), and Stern and Hennemuth (1975). Closely related to this is the use of linear regression to estimate changes in fishing power that are related to a continuous variable such as vessel length or power of the engine, several examples of which are given by Pope (1975). The first applications of linear models were used to estimate "power factors" or relative efficiencies of different classes of boats, and these factors were subsequently used to estimate standardized fishing effort. Francis (1974b) recognized that when the intention was to compare relative abundance among time periods, effects due to differences among years could be estimated directly.

A somewhat different approach was devised by Pella (1969) and Pella and Psaropoulos (1975), who developed a model of purse-seining for yellowfin and skipjack that was designed both to (1) standardize for the effects of vessel speed, capaci-

ty and fishing modes and (2) to sort out the problems of separating searching and handling time in a two-species fishery. The major part of that contribution was the use of a renewal model to represent the searching and handling process, from which estimates of the number of schools could be derived.

Related techniques of standardization are also used in comparing death rates in human populations (Bunker *et al.*, 1969; Bishop *et al.*, 1975). Two techniques are used, a direct adjustment in which actual death rates are combined with a "standard population" to yield a standardized death rate for different populations, and an indirect adjustment in which a standardized death rate is used with individual populations to produce an expected number of deaths which is compared with the actual number of deaths from that population.

Standardization over time depends on the assumption that the effects of parameters which are being standardized for do not change over time, or at least that any changes are small relative to the differences being standardized. If there are significant departures from this assumption, catch rate sequences will vary among the classes being standardized over, and thus will not be good estimates of abundance. In many applications of standardization the importance of this has apparently been overlooked. The method used by Shimada and Schaefer (1956) and followed by others (Joseph and Calkins, 1969; Kurita *et al.*, 1973; Uchida, 1976) was to calculate standardizing factors for a classification of the fleet for each year. When this is done different standardizing factors are calculated for each year, and as noted by Gulland (1974), this involves circular reasoning. In its simplest form this results in the "standardized" annual estimate simply being the annual catch rate for the standard class, while in more complicated examples the standardized catch rate will be close to the rate for the standard class. For example, Shimada and Schaefer (1956) used a ratio of geometric means to estimate standardizing factors, and their standardized rate can be written as:

$$U = \tilde{U}_s \cdot \frac{C_k}{\tilde{U}_k X_k}$$

where U is the standardized catch rate, \tilde{U}_k is the geometric mean of within-strata catch rates, C_k is the total catch and X_k the total effort, all for size class k ; and size class s is the standard size class. This expression is independent of the ratio between C_k and X_k . That is, U is independent of the catch rates for all but the standard size class. In the examples above in which standardizing factors were recalculated each year the "standardized" catch rate depended on the class chosen as the standard.

A similar problem can occur when linear models are used and either separate models are fitted for each year or other time period (Joseph and Calkins, 1969; Stern and Hennemuth, 1975; Rothschild, 1977), or else interactions between year effects and a standardizing classification are included in the model. In either case the model would give different sequences of relative catch rates if different classes of vessels were chosen as the standard. Rothschild (1977) noted that there was

an interaction between years and gear type and hence that the estimates of relative population size would be different for different types of gear. In this situation it is clear that such estimates are unsatisfactory unless the differences are small; or equivalently the interaction effect should be small compared to differences between gear effects.

In all the literature on standardizing catch rates it is, in fact, unusual to find examples in which standardizing over years has been done in such a way as to obtain standardized rates which are independent of the choice of the standard class. Two examples are Campos Rosado (1971) in which standardizing factors were calculated from data which were pooled over the time period studied; and Francis (1974b) in which the interactions between years and standardizing classification were examined and found to be small.

In this paper least-squares estimates of the parameters of a linear model are used to standardize catch rates. The method provides a standard method of computation for a multiway classification with covariates. It also provides estimates of the variability of estimated parameters and the effectiveness of the standardizing variables. These advantages make the use of linear models preferable to the "standardizing factor" methods referred to above.

Logbook data

The logbook data used in this study comprise detailed records of the activities of seiners during their fishing trips. For each purse-seine set, the date and times of starting and finishing the set, the estimated amount of fish captured by species, the type of school or sighting cue by which the school was located, and the position are recorded. Between sets significant changes in the seiner's activities such as running to port or stopping searching because of bad weather or a breakdown are also given. Thus it is possible to extract from the data the amount of time spent searching prior to each set. Unfortunately, times of first sighting schools are not available from the system, so the searching time includes some time between the sighting of a school and the beginning of the set.

For this study, data from vessels which were subject to regulation on the amount of yellowfin that could be taken (Cole, 1980) were not used. There are no regulations governing the catch of skipjack in the eastern Pacific.

Not all logbooks are filled in completely and accurately, so it was necessary to reject some logbook abstracts or parts of logbooks abstracts because some data were missing or inconsistent with other information. If the total estimated catch for a trip varied by more than 25% from the weight unloaded the data for that trip were rejected. In addition some circumstances, such as bad weather, cause a loss of data as described below. After all the screening processes, the remaining data accounted for a little less than half of the total catch of yellowfin and skipjack, as shown in Table 2.

The calculation of searching times preceding sets required that several rules be set up specifying how the data were to be used. Not all attempted sets are

successful, and in the unsuccessful cases there is no estimate of the size of the school involved. Following an unsuccessful set the same school may or may not be relocated and set upon again immediately. If the school is set on a second time it would be proper to use the searching time preceding the unsuccessful set as the searching time to locate the school, whereas if the next set is on another school the second searching time is of course appropriate. The logbook system does not specify whether a set following an unsuccessful set is on the same school or not; however, from evidence such as the average time elapsed after an unsuccessful set before the next it seems likely that the second situation is more common. Anonymous (1971) noted that in past years the ratio of successful sets to all sets was increasing with time as a result of improvements in efficiency. To compensate for this, catch per standard days fishing was adjusted by dividing it by the successful set ratio. This adjustment is appropriate in the second situation. In this work it was assumed that the second situation prevails, so only successful sets and searching time which preceded successful sets were used. The definition of searching time is the elapsed time during which the seiner could have been searching between the end of one set and the beginning of another. Because the fishing takes place close to the equator searching time is assumed to be restricted between the hours 6 a.m. to 6 p.m. (the logbook data system does not give the times when searching starts in the morning or finishes at night). If, for example, one set ended at 3 p.m. on a Monday and the next set began at 9 a.m. on Wednesday the calculated searching time would be 18 hours. If a searching interval is interrupted by a breakdown or bad weather the data for the next set are not used, and a new searching interval is started following the end of the set.

For each seiner the yellowfin catch rate within a 5-degree area-month stratum is calculated as the sum of its catch of yellowfin taken in that stratum divided by the corresponding searching times (Equation 1). In order to use these data it is necessary that all the required standardizing variables are available. For the boat these are capacity, age, speed, and net dimensions, and for the 5-degree area-month stratum they are average sea-surface temperature and wind speed. Aerial assistance was assumed to be available to a seiner if it was used on at least one set in the stratum. Because of the way aerial assistance is recorded (absence of any information is taken to be no aerial assistance) it is possible that its use is underestimated. The requirement for the environmental variables is minimal: that is for a stratum there must be at least one set in which the sea-surface temperature and wind speed were measured. This was done because of the large number of cases in which sea-surface temperature and windspeed were not recorded in logbooks. Normally there were many such observations and the averages were used to characterize the stratum. A bivariate analysis of variance to check that average sea-surface temperature and windspeeds can be used to represent differences in environmental conditions among strata is shown in Table 3. This shows that the variation among strata is greater than the variation within strata, and thus average values can be usefully used to represent different conditions among strata. Sharp (1978) discusses the effects of other environmental variables on the vulnerability of yellowfin to purse seiners, and shows that in the fishery off Cen-

tral America in the early months of 1973, there was a marked association between the catch rate of yellowfin and depths of the 15°C and 23°C isotherms. Unfortunately data giving thermal profiles for the entire area of the fishery are not readily available, so these variables were not used here. However, preliminary analysis using data from strata in which expendable bathythermograph data had been collected during 1972-1976 showed that average sea-surface temperature and average depth of the two isotherms were highly correlated and that they all had much the same effects on catch rate.

Standardizing model

The standardizing model used is of the form

$$\text{Catch rate} = M + A_i + B_j + \dots + F_k$$

where M is the mean and A_i, B_j, \dots, F_k are factors which influence the catch rate. For example, A_i could be the effect of the i th year, B_j the effect of the j th capacity and so on. The effect of abundance of yellowfin in year 2 relative to year 1 is A_2 / A_1 , or the effectiveness of vessels of capacity 2 relative to those of capacity 1 is B_2 / B_1 . The factors actually used fall into three groups, vessel characteristics, fishing mode, and environmental variables. The variables used to describe the vessel and its operation were capacity (less than 500 short tons, 500-999 tons, and 1000 tons and over), vessel speed, vessel age, net length, net depth, and whether or not aerial assistance was available during a set. The fishing mode is a classification of the 5-degree area-month strata as being those for which more than two-thirds of the catch of yellowfin and skipjack was taken from dolphin-associated schools ("dolphin strata"), those in which two-thirds or more was taken from log-associated fish or school fish ("school and log strata"), or those in which neither type predominated. This classification was further divided by whether the fishing took place inside or outside of the Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA) (Cole, 1980). Because some of the categories created by the classification contained only a few observations only the following three were used in the analysis: dolphin strata inside the CYRA, dolphin strata outside the CYRA, and school and log strata inside the CYRA. Figure 12 shows the distribution of stratum types for the first four months of 1975. The environmental variables used were wind speed and sea-surface temperature. Preliminary work showed wind speed had no effect for moderate winds (up to 15 knots), and there were few data for greater wind speeds. Consequently this variable was not used in subsequent analyses. The model was classified by years and quarters; the estimated year effects provide the annual indices of abundance, and quarters are used to remove the effects of seasonal changes in catch rates. In order to eliminate problems of ill conditioning of the design matrix associated with scaling, or lack of centering, of the independent variables the covariates were transformed to have a mean of zero and standard deviation of one.

The observed catch rate for a vessel and stratum was defined earlier as being the total amount of yellowfin taken in successful sets in that stratum divided by the sum of the searching times immediately preceding those sets (that is the searching time from the end of the last set regardless of whether it was successful or not). These data are strongly skewed to the right, and in addition the variance tends to increase with the mean. To improve the statistical properties of the analysis a transformation was sought for which would remove the skewness and eliminate the dependence of the variance on the mean. For this purpose the data were classified by year, stratum type, capacity, and age, and transformations of the form $\log(U+c)$ were tried. $\log(U+0.125)$ was chosen as the best transformation of those examined on the basis of giving a skewness and kurtosis close to 0 and 3 respectively for most cells of the classification. Figures 13-21 show the distributions of transformed data for each standardizing variable, and Figure 22 shows the within-cell standard errors plotted against the means for cells which contain 20 or more observations. Figures 13-21 show relatively symmetrical observed distributions and in Figure 22 there is no obvious dependence of the standard error on the mean. The histograms in Figures 13 and 15 show a consistent bimodality in the data for small seiners and for stratum type 1. This bimodality consists of a large number of observations with a transformed catch rate of less than -2 which corresponds to a catch rate of less than 0.01 ton per hour. Most or all of these observations came from sets in which skipjack, but no yellowfin, was recorded as being taken. In Figure 13, 1971 stands out as an aberrant year, with 25% of all the data coming from sets in which no yellowfin was taken.

Without the constant (0.125) the logarithmic transformation changes the multiplicative model into a linear additive model whose parameters can be estimated using the analysis of variance. However, the linear model using the transformed data was used as the basic standardizing model. The reverse transformation then yielded a model somewhat different from the original multiplicative one as discussed in the results section below.

The standardizing variables are summarized in Table 4, which shows whether the variables were treated as covariates or categorizing variables, and their associated degrees of freedom. Sea-surface temperature measures the effect of the environment on catch rates and was expected to have an effect different than those of the other covariates which are essentially related to efficiency. It seemed likely that within the range of sea-surface temperature examined there would be an optimum, and to allow for this the effects of sea-surface temperature squared and cubed were examined.

Although the model is being used primarily for parameter estimation, for which normality is not required, we assume that the transformed catch rate is approximately normally distributed so that standard methods can be used to construct confidence intervals for the parameter estimates.

RESULTS

Estimation of parameters

The model, including all main effects, first-order interactions, and covariates, has more than 100 degrees of freedom, and it is likely that some of these independent variables are redundant or unnecessary. Fitting an overdetermined model such as this by least squares leads to problems because of correlations among the variables, and it is desirable to fit a model with fewer variables using a variable selection procedure (Hocking, 1976). The model selection process could either be repeated each time new data were added, or alternatively one model could be chosen and this used to estimate only new parameters each time a new year's data were added. Preliminary investigations showed that the most important results (standardized annual catch rates, residual mean square, and estimates of parameters with the largest effects) were relatively insensitive to changes such as selecting models using a subset of the data for all years, or whether or not the two or three least significant variables were included in the model. With this in mind the choice of model was made using a modified forward and backward variable selection procedure with data for 1970 to 1980.

Variable selection methods are normally used in regression situations where each variable has a single degree of freedom and can be judged independently of the others. In a situation involving covariates, classification variables, and interactions some modification of the usual procedure is necessary. The selection method used here included variables in the order shown in Table 5. Because the purpose of the study is to estimate standardized catch rates by fishing mode, the model selection started with a model including the effects of year, stratum type, and their interaction.

Construction of the model was then continued by adding main effects or covariates until no significant improvement was obtained. At each step the variable added was the one which had the largest nominal probability associated with its F -to-enter statistic. With the large number of observations in the data set the F tests were very sensitive to small effects and consequently a relatively strict criterion of entering only variables whose F statistic was associated with a probability less than 0.001 was used. At each step the variables in the model were examined with the intention of eliminating any which had F values associated with probabilities of less than 0.01. No variables were deleted using this rule. This stage in the selection procedure ended at step 8 in Table 5, and produced a model including all main effects and covariates except capacity and age.

The next stage was to examine first-order interactions. The variable most likely to have important interactions with the others is stratum type, and only its interactions were examined in detail. These interactions are potentially important for several reasons. Fishing for tuna associated with dolphins tends to involve longer searching intervals preceding sets than school fishing, suggesting that larger and faster seiners and those with aerial assistance available may be relatively more successful at fishing for tuna associated with dolphins than for schoolfish.

The proportion of all sets which are successful is higher for sets on dolphins than schoolfish because of the behavior of either the fish or the fish and dolphins together. This suggests that the interactions between stratum type and variables that may be related to success of a set, such as sea-surface temperature and net dimensions, may be important. On the other hand, there is no reason for expecting that interactions between other variables, such as capacity and aerial assistance, might be important.

Interactions of two variables were included in the model only when both main effects were present. When interactions with capacity and age, which were not included in the first stage, were considered, the main effect and its interaction with stratum type were tested jointly. The interactions of stratum type with covariates were obtained by fitting the covariates separately within each stratum type, and thus the display for interaction in Table 5 corresponds to the normal test for common slopes in the analysis of covariance. The terms added during this stage were capacity, capacity-stratum type interaction and quarter-stratum type interaction. During this stage it was noted that when the net depth was fitted within stratum type there was essentially no effect in the two dolphin-associated stratum types, and a relatively large effect in school and log strata. Following this the effect of net depth was fitted only in school and log strata, and this was found to be an improvement over fitting it for all stratum types.

The final stage in the model selection was to examine the effect of interactions between years and the other variables to ensure that standardized annual catch rates are unique. The F statistics and degrees of freedom are shown for these interactions in Table 6. The effect of interactions between years and quarters was not tested because addition of this term to the model would merely mean that abundance estimates would be made for each 3-month period rather than each year, a refinement not required in this study.

Three of the six interactions with years (sea-surface temperature, aerial assistance, and capacity) shown in Table 6 have F values that are associated with a probability less than 0.001, and thus would be included in the model under the selection rules used above. However, in each case the F values are much smaller than those associated with the main effects, or in the case of capacity, with the combined effect of capacity and the capacity-stratum type interaction. Table 7 shows the estimated parameters for each of the significant interactions with year. This shows that for the two variables with the largest F ratios the major anomalies of the effects within year occurs in 1971 and 1972. Interpretation of the capacity-year interaction is complicated by the capacity-stratum type and stratum type-year interactions. With these points in mind the year interactions were thought generally not to be important enough to invalidate the standardizing procedure. However, the estimates for standardized catch rates for 1971 and 1972 should be treated with caution.

Figure 23 shows the distribution of the residuals plotted against the predicted values for the model. The medians in most cases are close to but on average greater than zero, indicating that some skewness is left in the data. The variance as shown

by the interquartile ranges is fairly stable. The positions of the second and third boxes suggest that the model does not fit well at low predicted values; however, there are few data in that region.

The effects of the terms selected by this procedure are shown in the analysis of variance given in Table 8. The estimates of the parameters and their standard errors are given in Table 9. For the classification factors, estimates can be made only to within an arbitrary constraint. The constraint used here is that the sum of the effects for each factor be zero, and thus estimates are not given for the highest level of each factor which is minus the sum of the rest. Effects due to factors which are involved in interactions cannot be estimated uniquely. For example, there is no unique effect due to capacity as the relative effect of any capacity is different for different school types.

The effects of each parameter on the untransformed data are obtained by using the reverse of the transformation used to remove the skewness in the data. The fitted catch rate can be written as

$$Y_{ijklmabcd} = M + A_i + B_j + D_k + E_l + F_m + (AB)_{ij} + (DB)_{kj} + (EB)_{lj} \\ + Va + W_1b + W_2b^2 + W_3b^3 + Xc + Zd$$

where $Y = \log(U + 0.125)$

$U = C/T$ for the each seiner within a time-area stratum,

M is the overall mean of the transformed catch rate,

A_i is the effect of the i th year,

B_j is the effect of the j th stratum type,

D_k is the effect of the k th capacity group,

E_l is the effect of the l th quarter of the year,

F_m is the effect of whether or not aerial assistance is available,

V is the regression coefficient for speed a ,

W_i are the regression coefficients for sea-surface temperature b , raised to the i th power,

X is the regression coefficient for net length c , and

Z is the regression coefficient for the variable d , which is the net depth in stratum 1 and zero otherwise.

The effect of one variable when all others are held constant is obtained by subtraction. In doing this it is convenient to redefine the constraint such that the first level of each factor is zero. For example, the effect of aerial assistance is given by

$$Y_{ijkl2abcd} - Y_{ijkl1abcd} = F_2 - F_1 = F_2, \text{ since } F_1 \text{ is now by definition zero;}$$

$$\text{that is, } \frac{U_{ijkl2abcd} + 0.125}{U_{ijkl1abcd} + 0.125} = \exp F_2, \text{ or}$$

$$\frac{U_{ijkl2abcd}}{U_{ijkl1abcd}} = \exp F_2 + \frac{0.125 (\exp F_2 - 1)}{U_{ijkl1abcd}} . \quad (2)$$

The magnitude of F_2 and other estimated parameters is of the order of 0.1, while the mean catch rate is about 1 ton per hour.

Thus the term $\frac{0.125 (\exp F_2 - 1)}{U_{ijkl1abcd}}$ is small in comparison to $\exp F_2$

and was computed by replacing $U_{ijkl1abcd}$ by

$$\exp \left(\sum_{ijkl} \frac{Y_{ijkl1abcd}}{N \dots 1} \right) - 0.125$$

where the notation ... implies summation over the corresponding indices.

A similar transformation is used for the effect of years, capacity, and quarter, all within a particular stratum type. In the case of years

$$Y_{ijklmabcd} - Y_{1ijklmabcd} = A_i - A_1 + (AB)_{ij} - (AB)_{1j} = A_i + (AB)_{ij} .$$

The effects of the covariates which appear as linear terms, for example net depth, are given by $Y_{ijklmabcd} - Y_{ijklmabcd'} = Z(d - d') .$

A convenient reference point for these covariates is the mean, which is 0 in the scaled units. The effect is then

$$\frac{U_{ijklmabc1}}{U_{ijklmabc0}} = \exp Z(d) + \frac{0.125 [\exp Z(d) - 1]}{U_{ijklmabc0}}$$

where $U_{ijklmabc0}$ in the second term is replaced by $\exp \tilde{Y} - 0.125$, and \tilde{Y} is geometric mean catch rate.

To calculate the effects of sea-surface temperature it is necessary to allow for the effects of scaling and centering each term. This gives the cubic relationship

$$g(b) = 0.0005957b^3 - 0.13488b^2 + 10.109b - 250.57$$

This function has a maximum of 0.49 at 69°F and is relatively flat between 78° and 84°F. This reflects the pattern shown in Figure 19 and is in agreement with the observation that fishing is often very successful at ocean fronts. The effect

of sea surface temperatures on catch rates are obtained similarly to those for the other covariates with the exponential terms replaced by

$\exp [g(b) - g(\bar{b})]$, where \bar{b} is the average sea-surface temperature.

It should be noted that the use of comparative estimates removes the bias which is associated with making estimates with transformed data (Laurent, 1963).

The effects on the catch rate of each variable are given in Table 10. The effects of variables which are involved in interactions with stratum type are shown within each stratum type. The table is not constructed to make comparisons among stratum types for these variables. Thus in stratum type 1 (school and log strata inside CYRA) fishing is most successful in the third quarter of the year and least successful in the first quarter. In stratum type 2 (dolphin strata inside CYRA) fishing is most successful in the fourth and first quarters, while in stratum type 3 (dolphin strata outside CYRA) fishing is least successful in the fourth quarter. Small seiners are more successful than large seiners in stratum type 1, but less successful than large seiners in stratum type 2. This probably reflects specialization of small seiners on school and log fish.

The effect of aerial assistance is relatively large, catch rates being 28% higher when it is used than when it is not. It was noted above that the use of aerial assistance may not always be recorded, and thus caution should be used in attributing this effect to aerial assistance in a causal manner. The effect of speed is to increase catch rates by approximately 9% for an increase of speed of 1 kt. As the average speed was just above 13 kts, the relative increase in catch rate corresponds closely to the relative increase in speed, and thus catch rate is approximately proportional to searching rate. Because the effects of sea-surface temperatures are not monotonic they are displayed in a table which shows that higher catch rates were obtained in water temperatures of 68-72°F, than in water temperatures of 78-84°F where most of the fishing actually took place. As with all the estimated effects this should not be interpreted to mean that high catch rates will generally be obtained in cooler waters because it is likely that in the areas fished the cooler temperatures were associated with other features, for example oceanic fronts, which were the primary cause of the higher catch rates.

The effect of net length is about a 5% increase in catch rate for an increase in net length of 100 fathoms or 16% of the average net length. Thus changes in net length have a smaller relative effect than changes in speed. The negative effect of increasing net depth on catch rate for school fishing is difficult to explain. The effect of net depth in models in which it is the only variable positively correlated with seiner size is associated with increasing catch rates. However after the first step of the selection procedure in which speed was added, net depth had a consistently negative effect on catch rates. After net length was included in

the model the negative effect of net depth became stronger. This suggests that the effect is not simply explained by a relation between a general increase in size of seiners and their fishing gear, during a period of declining catch rates. If there was such a relation that was not fully explained by year effects it should have also been detected by other size-related variables such as net length or capacity. This implies that deep nets are relatively more effective in sets on dolphins than on school fish. This might be explained by assuming that the depths to which dolphins dive to escape capture are in the range of the fishing depths of nets, so deepening a net may be effective in capturing dolphins and associated tuna, but that tuna not associated with dolphins either will dive to depths greater than the fishing depth of all nets, or less than the fishing depths of all nets. Such an explanation does not, however, explain the negative effect of increasing net depth on school fish.

Abundance estimates

Figure 24 shows the abundance estimates from the linear model for the three stratum types, together with the corresponding catch per days fishing (CPDF) for seiners with capacities greater than 400 tons. In each panel the two series are plotted so that their means coincide. The abundance estimates from the linear model generally show a pattern of declining catch rates since 1970. This decline is greater for stratum types within the CYRA, where the 1980 indices are one quarter to one third of those for 1970, while the decline outside the CYRA has been to about three quarters of the rates in 1970. The confidence intervals are large, considering the sample sizes involved, and reflect the fact that differences in catch rates caused by changes in abundance are small compared to random fluctuations. The large drop in the index for school and log strata in 1971 and subsequent recovery in 1972 is too large a change to be due to changes in abundance only. It is also much larger than the effect of the interaction between years and sea-surface temperature, and between years and aerial assistance which was noted earlier. 1971 was an extraordinary year for skipjack within the CYRA, catches being more than double those of the preceding and subsequent years. It is likely that in this year fishing effort was attracted away from yellowfin, or that yellowfin had moved from the usual fishing areas, which would have had the effect of lowering the catch rate on yellowfin. Catch per day fishing (CPDF) is calculated without distinguishing between fishing modes, and thus there is only one series of CPDF for inside the CYRA and one for outside the CYRA. Most of the fishing outside the CYRA has been on yellowfin associated with dolphin and so for this area the CPDF should be comparable to the linear model estimate for stratum type 3. However, within the CYRA the CPDF is a mix of both fishing modes and should be expected to be between linear model estimates from stratum types 1 and 2. Thus in 1971 the CPDF is greater than the linear model index for stratum type 1 but less than the index for stratum type 2. The low catch rate for school fishing affected the CPDF, but not the estimate based on fishing on dolphins.

DISCUSSION

During the period for which detailed statistics of catch and effort have been kept for the eastern Pacific fishery for yellowfin and skipjack there have been major changes in the fishing gear and techniques used. Catch rates have been used as estimates of abundance of the stock, and to make these comparable over time various techniques to standardize either fishing effort or catch rate have been developed. The principal method used now is a modification of that of Shimada and Schaefer (1956).

This technique is designed for a one-way classification of the fishing fleet in terms of the effectiveness of different vessels, and in essence involves calculating relative catch rates for boats in different cells of the classification. The method has not been well developed statistically; for example, it does not provide estimates of precision such as confidence intervals, and it is not clear how it would be extended to multiway classifications nor how to deal with missing observations. Because of these deficiencies the method used in this paper to standardize catch rates was based on the least-squares analysis of linear models.

A major problem with the use of catch rates as abundance estimates comes from any relation there may be between the distribution of effort relative to the density of fish. To obtain unbiased results in a simple unstratified survey it is necessary that the distribution of effort be independent of the density of fish. When the data used are from a commercial fishery this condition is unlikely to be met, as fishermen try to distribute their effort to maximize their profit, which implies a dependence of effort on density. An alternative procedure is to stratify the range of the fishery and add together the within-stratum estimates of abundance. If abundance is estimated using the method of calculation appropriate for one of the methods above when the data are not collected properly the results are likely to be biased. The problem is seen most simply by considering areas in which there is no effort. In a situation where boats concentrate on areas of high density and avoid areas of low density, using the first method of estimating abundance will lead to upward biases. On the other hand if effort is independent of density it is possible that areas with significant densities could have no effort and in these cases using the second method would lead to underestimates of abundance. The method used in this study falls somewhat between the two. The range of the fishery is stratified, and for each seiner the average within-strata catch rate is calculated. However each vessel is treated separately, and there tend to be more observations from strata with high density than from those with low density. Also, the estimates are made essentially as averages, and thus areas with no effort (which are likely to have low densities) do not contribute to the standardized catch rate.

For this work it has been assumed that yellowfin and skipjack are encountered independently, and that the only effect of skipjack on yellowfin catch rates has been an effect of gear saturation. That is, in terms of a measure such as CPDF the catch rate of yellowfin would be higher if seiners did not set on schools which contained predominantly skipjack. The method of defining catch rates used here

Reply

avoids the problem of saturation. However, it is apparent from the results for 1971 that another effect can be serious; in times when skipjack are abundant fishing effort can be diverted from yellowfin. This is a situation in which an index based on the total of within-stratum average catch rates would be better than an aggregate index. This raises the question of whether the low catch rate for yellowfin in school and log strata in 1971 was a unique event or whether the decline of the index over the decade could be to some extent attributed to an increase in skipjack catches. A partial answer to the question can be obtained by looking at the catch rates in dolphin strata within the CYRA, which are generally outside the main areas of skipjack fishing. The 1971 estimate did not show the large drop which in the school strata was attributed to the effect of the availability of skipjack. However, over the entire period studied the index declined in dolphin strata in roughly the same way as did the index in school strata, suggesting in both cases that the yellowfin stock had in fact declined.

One of the reasons for classifying the strata by fishing mode was that there were differences in catch rates for yellowfin caught in association with dolphins and those which were not associated with dolphins. Thus if fishing mode is not accounted for, catch rates will depend on the relative frequency of the modes. Having made the separation, there is the problem of how to use the estimates of abundance from two or more components of the population. The single CPDF index is easily used in a production model, but it is not clear how to proceed when there are two indices. Yellowfin not associated with dolphins tend to be smaller and more uniform in size than dolphin-associated yellowfin. Thus, although there is some overlap, the two fishing modes could be looked on as exploitation of different age groups of one population. With this model the two indices could be combined as a weighted total and used in a production model, or they could be used as data for a model with two age groups.

Over the decade the decline in catch rates has been somewhat less for dolphin-associated yellowfin than for the school- and log-associated yellowfin. As the dolphin associated yellowfin are larger than the others this is contrary to what would be expected if the fishing modes do in fact represent different age groups of the same population.

The standardizing techniques used previously were concerned mostly with the effects of carrying capacity as a measure of vessel efficiency, whereas in this study 11 variables (excluding interactions) were considered. This naturally raises the question of how much more effective the additional variables are in standardization. One answer to this is given by comparing the amount of the variation in catch rates which is explained by a model which uses only capacity as the standardizing variable and the model selected here. When only years and capacity were fitted 7.5% of the variation in catch rate was explained by the model whereas in the selected model 12.7% was explained. Thus by this measure fitting all the parameters is about twice as effective as fitting capacity as the only standardizing variable. In the final analysis of variance table capacity has a rather small

effect, and it was the second-to-last variable selected. This low importance is not consistent with the observation that capacity by itself can explain half of the total variability explained by the model. The reason for this is that there are several highly correlated variables which measure something related to vessel size. When capacity is the only one of these in the model it becomes associated with effects which are related to some aspects of vessel size but which are more closely related to vessel speed and net dimensions than to capacity.

Effects of environmental variables have not previously been incorporated in studies of overall catch rates for yellowfin. To use variables such as sea-surface temperature as standardizing variables it is necessary to assume that changes in sea-surface temperature are associated with changes in catchability of fish which are present regardless of the temperature. This, of course, can be true only within certain limits because there is a limited range of sea-surface temperatures within which yellowfin are captured. Alternative situations in which there may be an association of catch rate and sea-surface temperature which should not be standardized for are situations in which the population size itself is related to sea-surface temperature by means of growth or immigration from an area outside that being studied. Because of the short time scale within which changes in temperatures take place these alternatives are unlikely, and standardization for sea-surface temperature seems appropriate. Sea-surface temperature is not necessarily the most important of the factors which influence the behavior of tuna, but it is closely correlated with others such as the thermal profile of the ocean, and as such serves as a variable correlated with fishing success.

The relatively large contribution of the error and corresponding small contribution from the model to the total sum of squares in this analysis is noteworthy. In an experiment which is designed to be analyzed using the analysis of variance an experimenter would normally expect that a large part of the total sum of squares would be explained by the model. If only 10% of the variation was explained the experiment would not have been directed toward the most important sources of variability, and model effects of this size would hardly be regarded as providing significant evidence for anything of interest. However, data collected from commercial fishing boats are the antithesis of data collected in a designed experiment. In a study of catch rates there is no choice but to look for small effects which are all but hidden among a background of high variability.

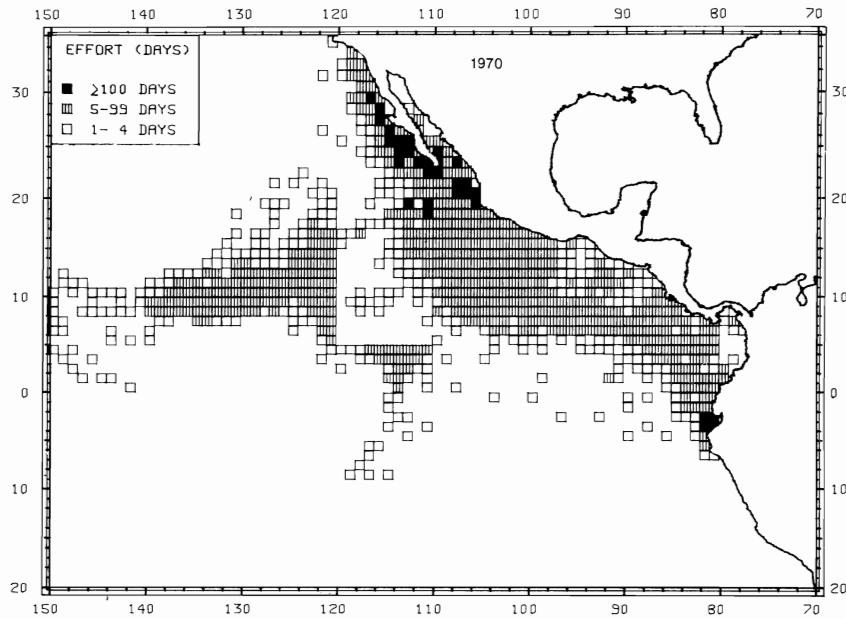


FIGURE 1. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1970 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 1. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1970, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

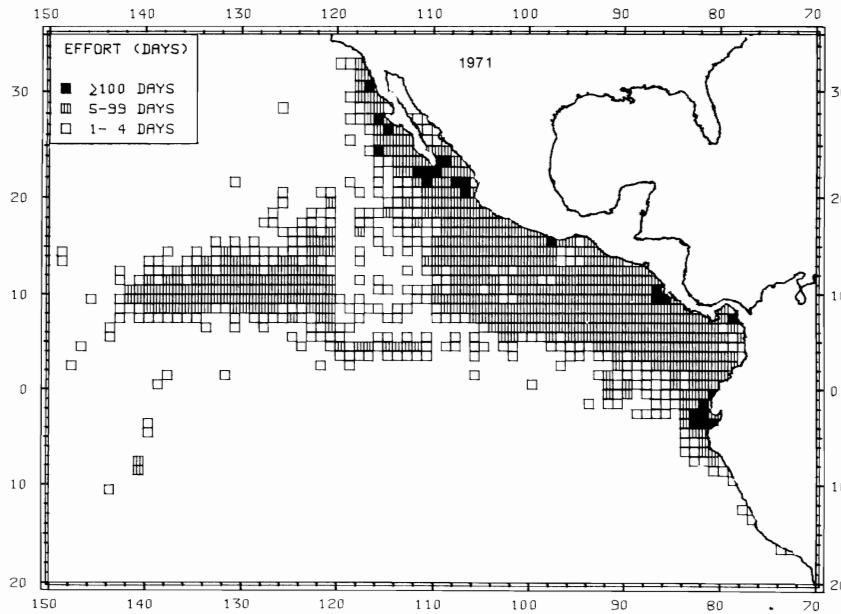


FIGURE 2. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1971 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 2. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1971, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

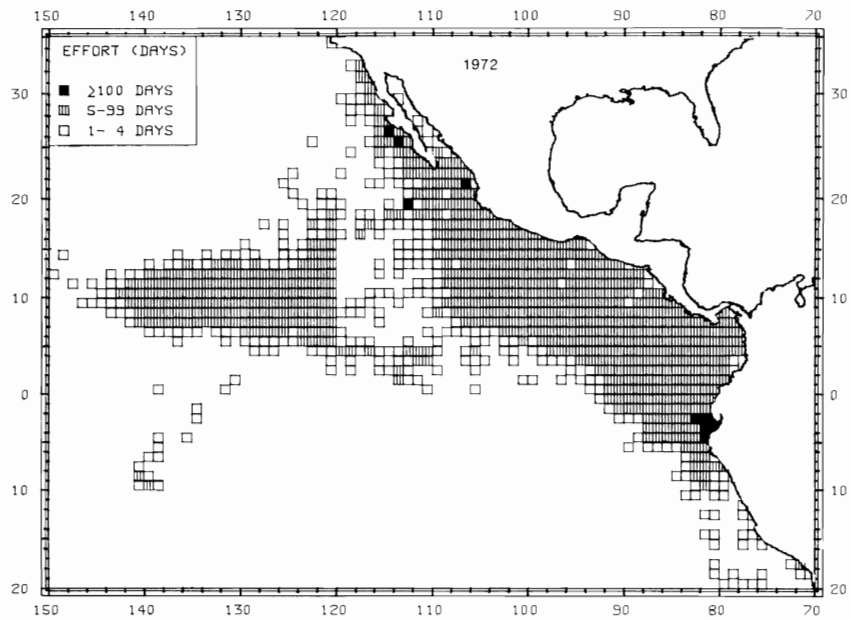


FIGURE 3. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1972 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 3. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1972, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

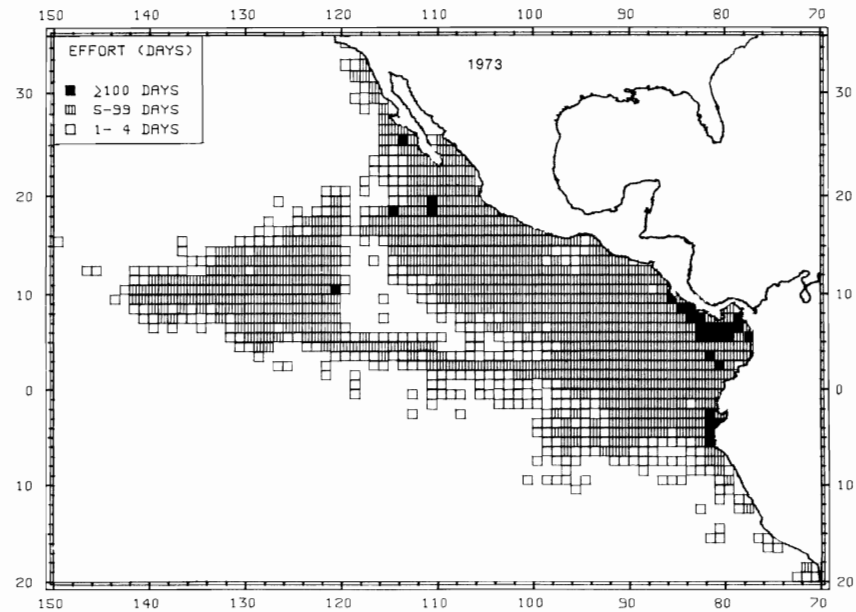


FIGURE 4. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1973 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 4. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1973, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

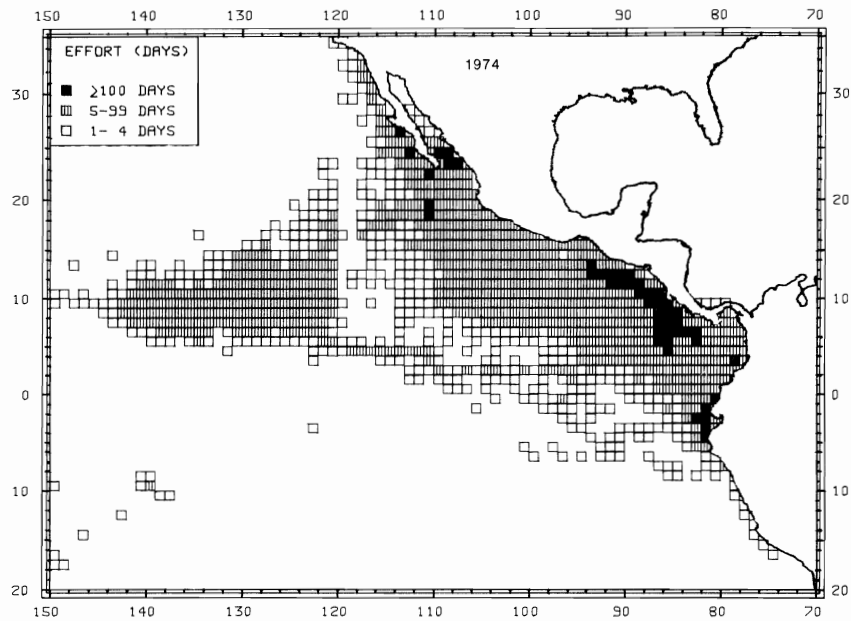


FIGURE 5. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1974 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 5. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1974, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

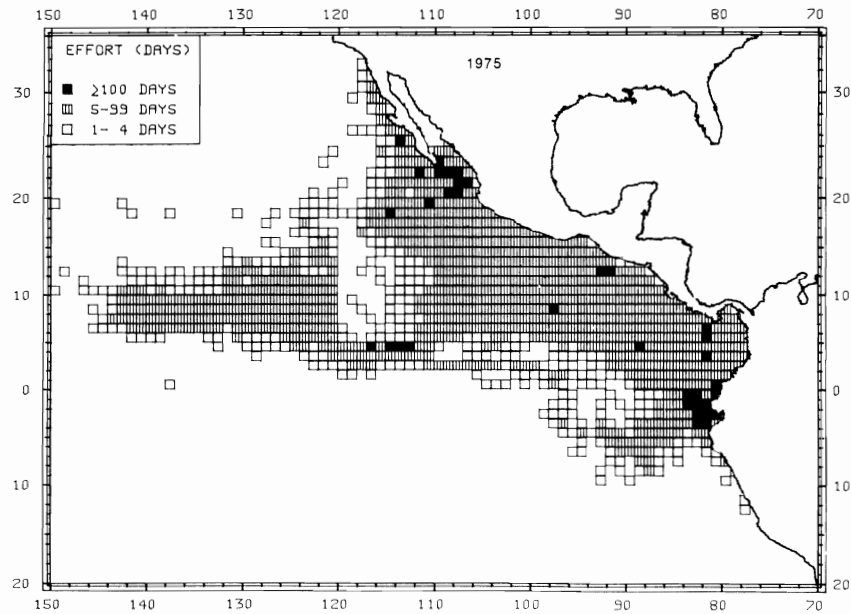


FIGURE 6. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1975 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 6. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1975, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

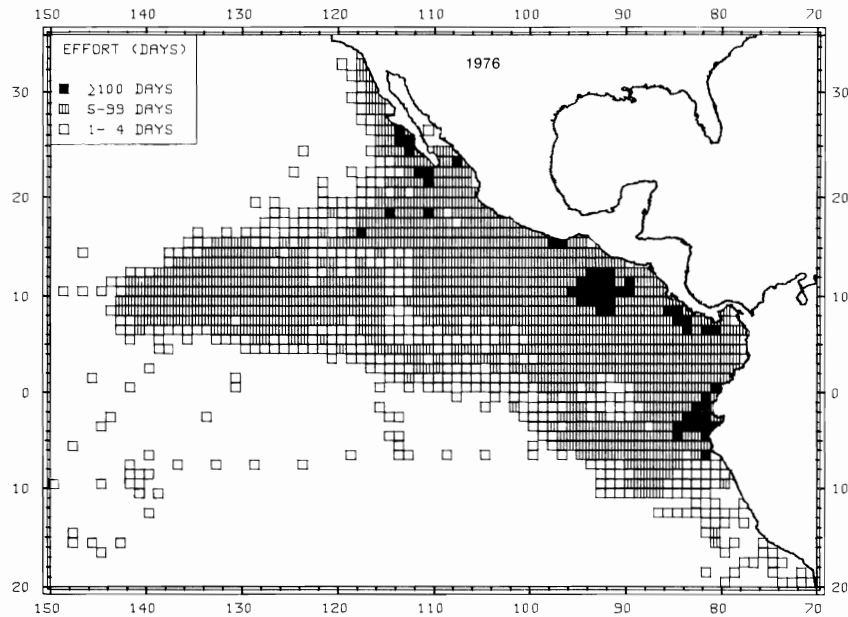


FIGURE 7. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1976 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 7. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1976, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

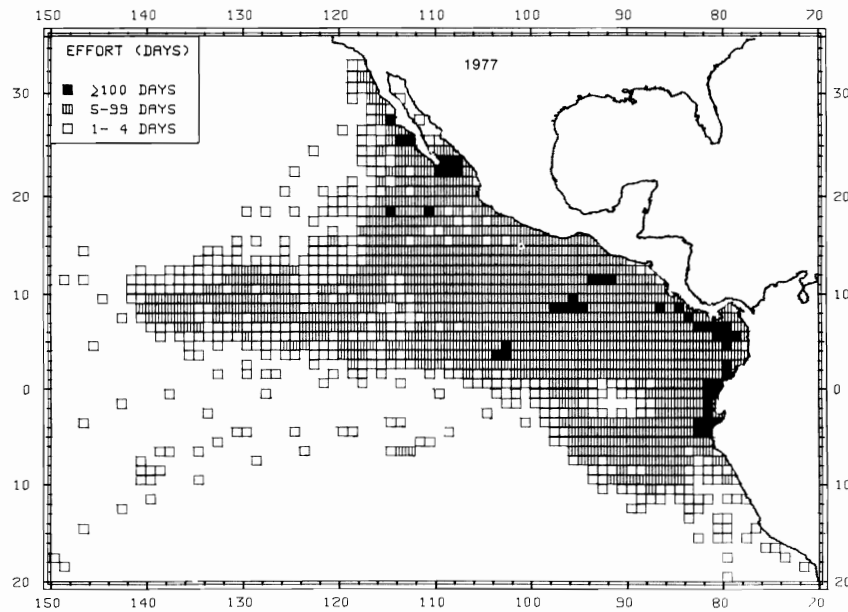


FIGURE 8. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1977 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 8. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1977, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

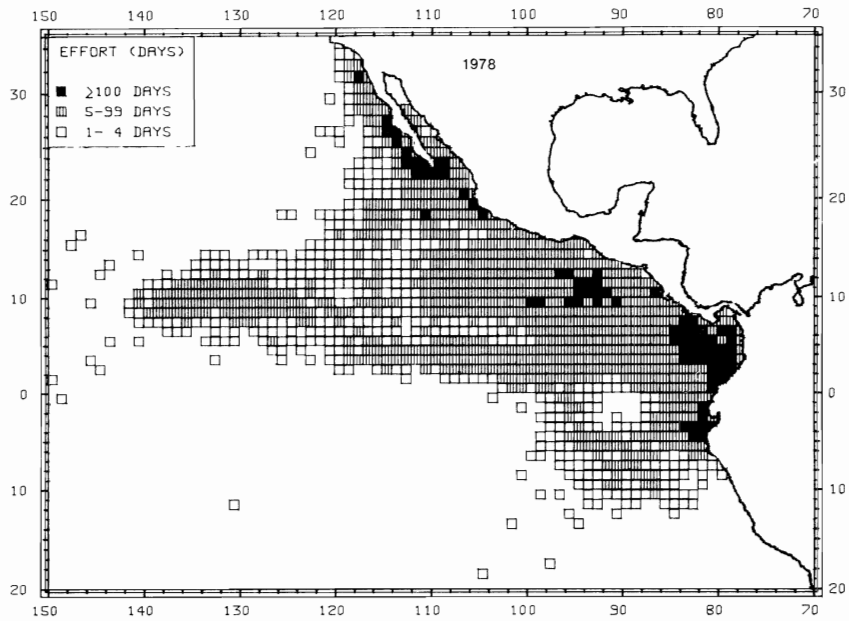


FIGURE 9. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1978 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 9. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1978, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

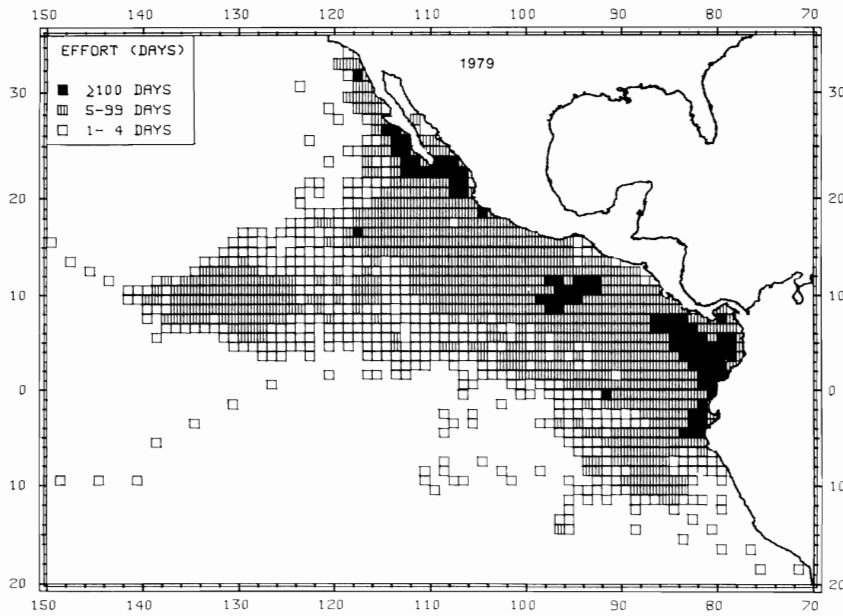


FIGURE 10. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1979 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 10. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1979, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

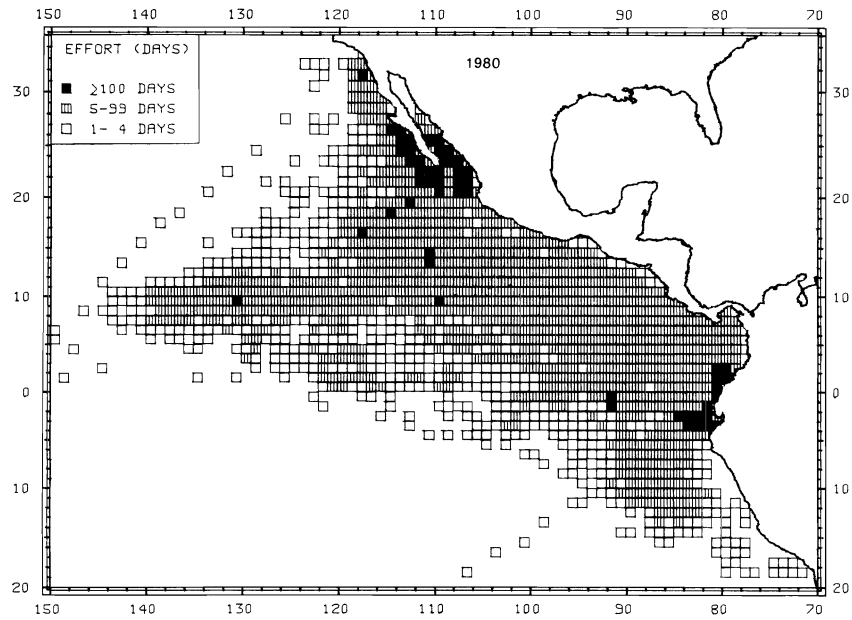


FIGURE 11. Distribution of fishing effort by seiners in the eastern Pacific Ocean in 1980 for all trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 11. Distribución del esfuerzo de pesca por cerqueros en el Océano Pacífico oriental en 1980, de todos los viajes en los que se obtuvieron datos utilizables.

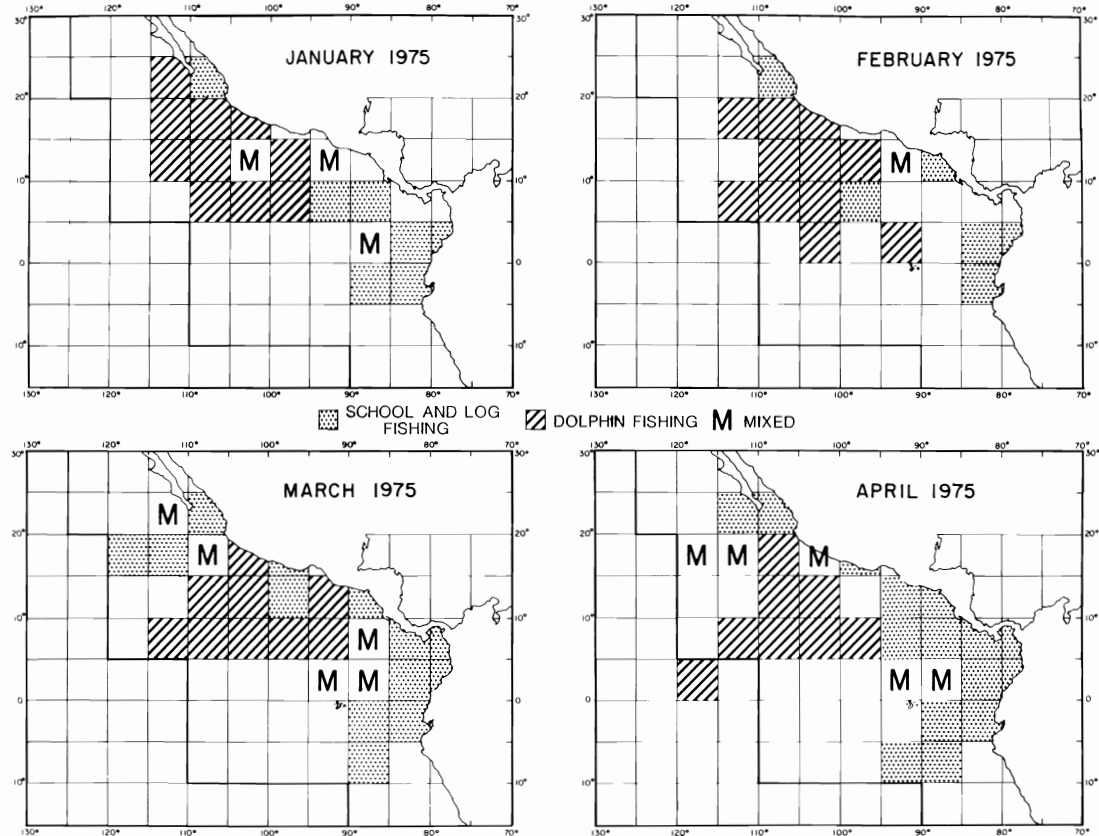


FIGURE 12. The distribution of stratum types for the first four months of 1975. The heavy lines mark the boundary of the CYRA. Strata where school and log fishing predominate inside the CYRA are classified as stratum type 1, those where dolphin-fishing predominates are classified as stratum type 2 inside the CYRA and stratum type 3 outside the CYRA. Mixed strata are not used in the study.

FIGURA 12. La distribución de los tipos de estrato de los cuatro primeros meses de 1975. Las líneas gruesas marcan los límites del ARCAA. Los estratos en el ARCAA en los que predominaron cardúmenes de peces no asociados con delfines y cardúmenes asociados con objetos flotantes se han clasificado como tipo 1 de estrato, aquellos en los que predominó la pesca con delfines en el ARCAA, se han clasificado como tipo 2 de estrato y aquellos en los que predominó la pesca con delfines fuera del ARCAA se han clasificado como tipo 3 de estratos. No se usan en este estudio los estratos mixtos.

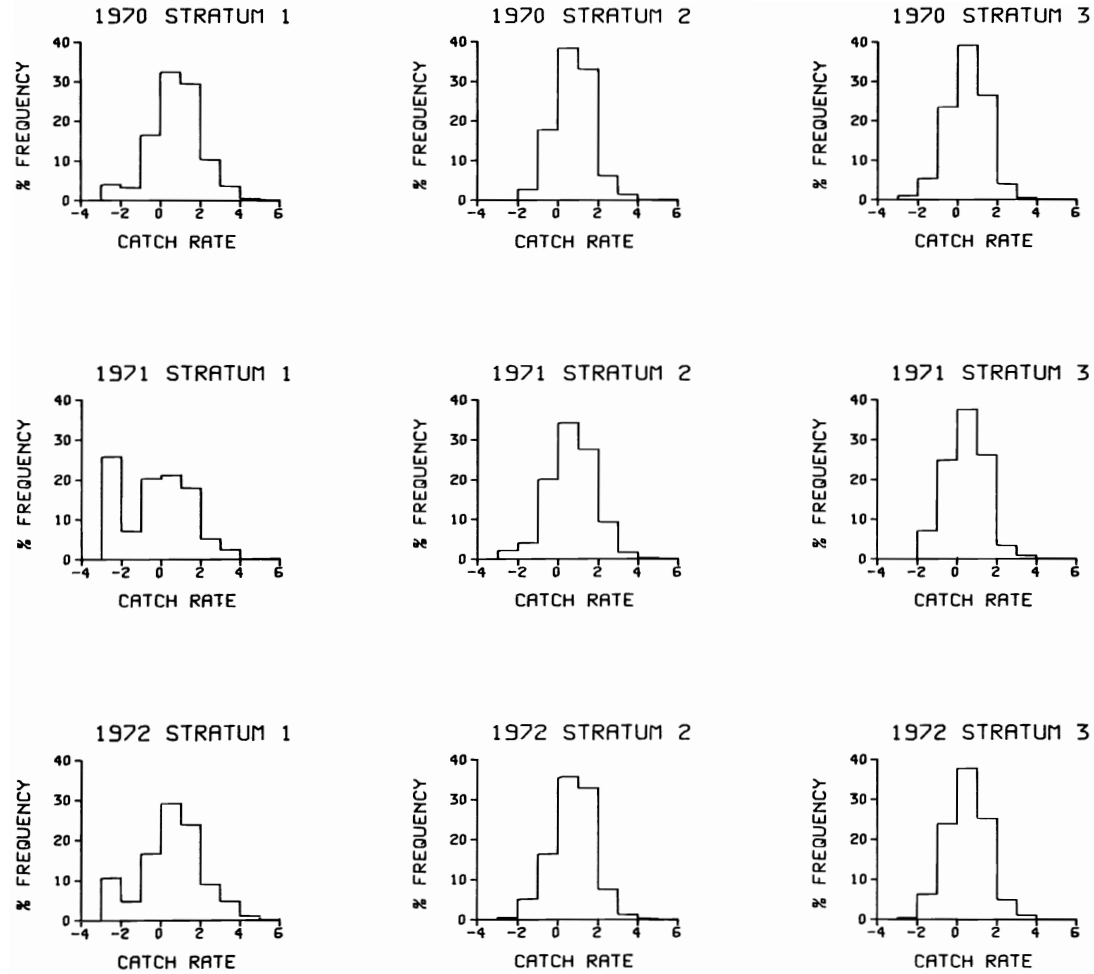


FIGURE 13a. Distribution of transformed $[\log(U+0.125)]$ catch rate by year and stratum type.

FIGURA 13a. Distribución del índice transformado $[\log(U+0.125)]$ de captura por año y tipo de estrato.

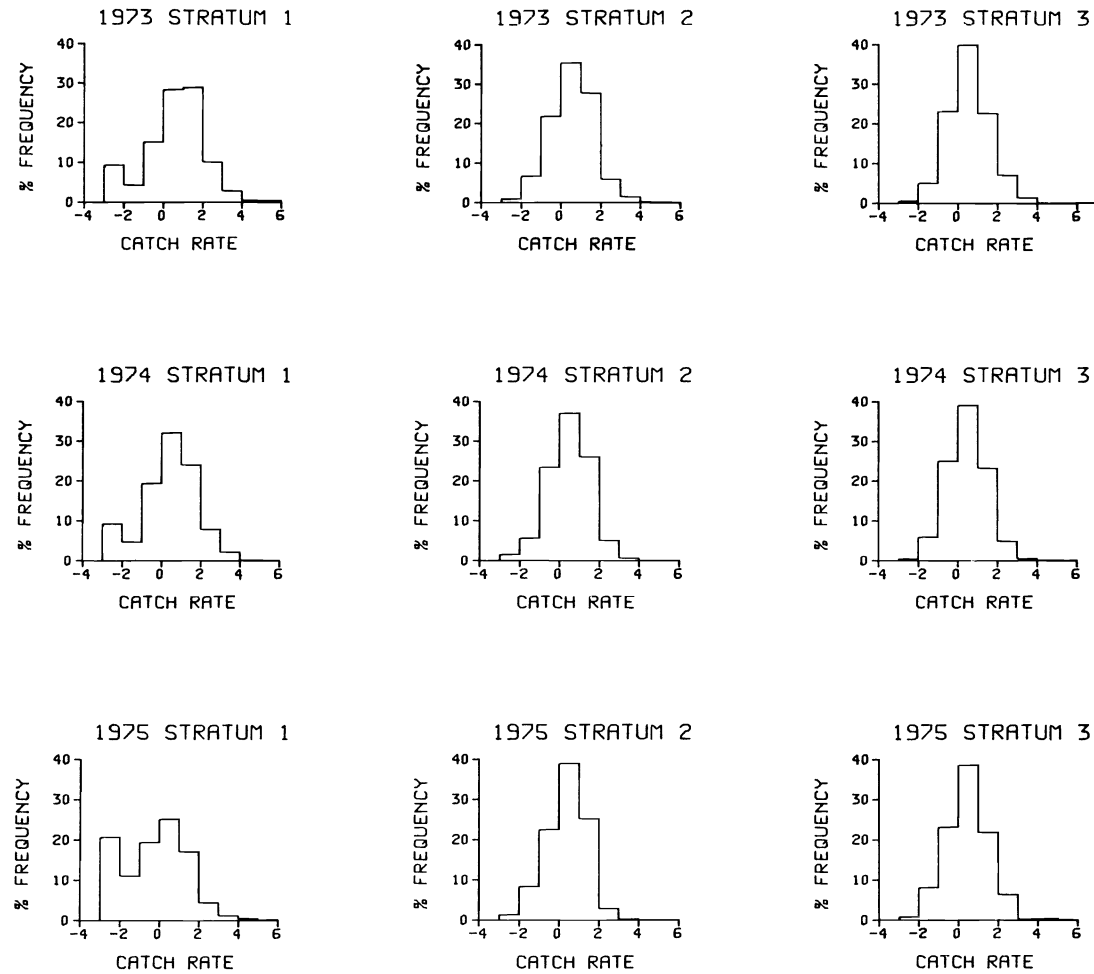


FIGURE 13b. Distribution of transformed $[\log(U+0.125)]$ catch rate by year and stratum type.

FIGURA 13b. Distribución del índice transformado $[\log(U+0.125)]$ de captura por año y tipo de estrato.

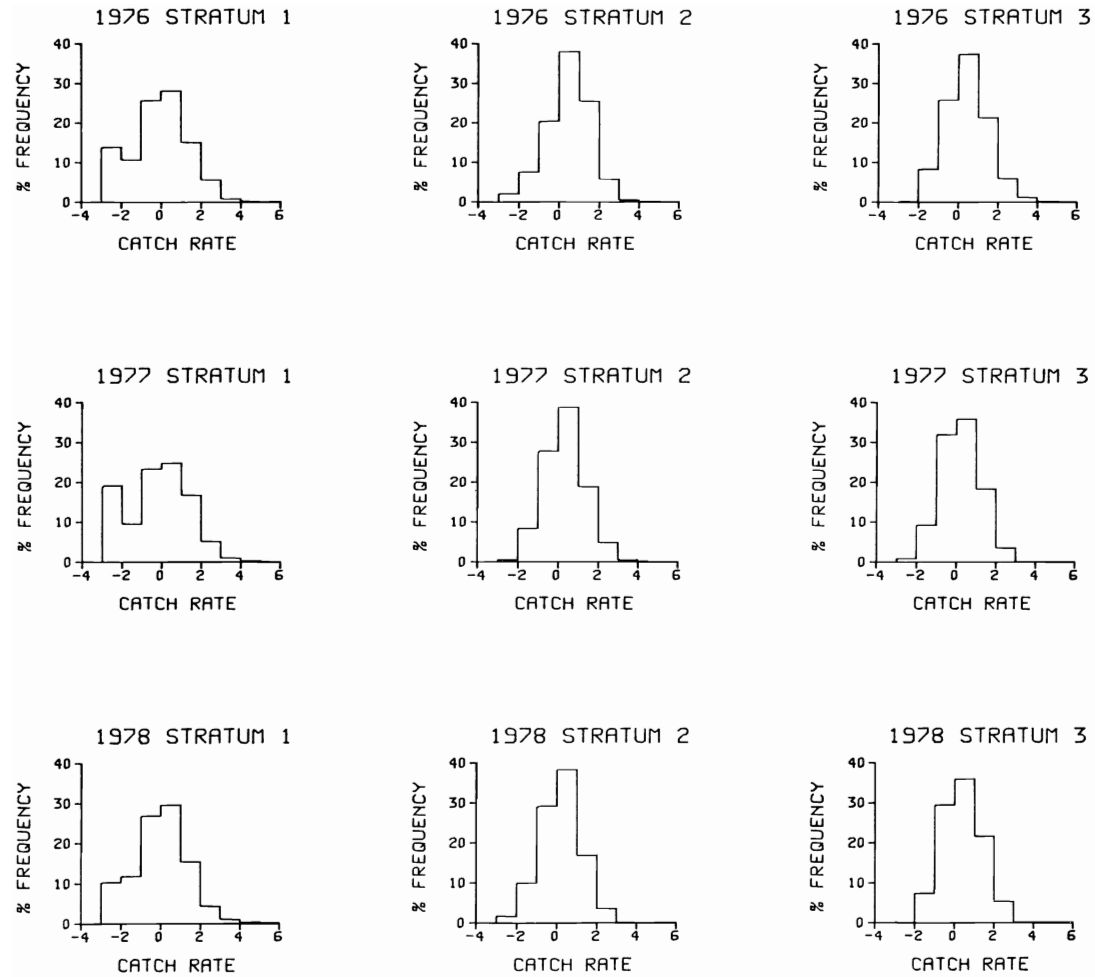


FIGURE 13c. Distribution of transformed $[\log(U+0.125)]$ catch rate by year and stratum type.

FIGURA 13c. Distribución del índice transformado $[\log(U+0.125)]$ de captura por año y tipo de estrato.

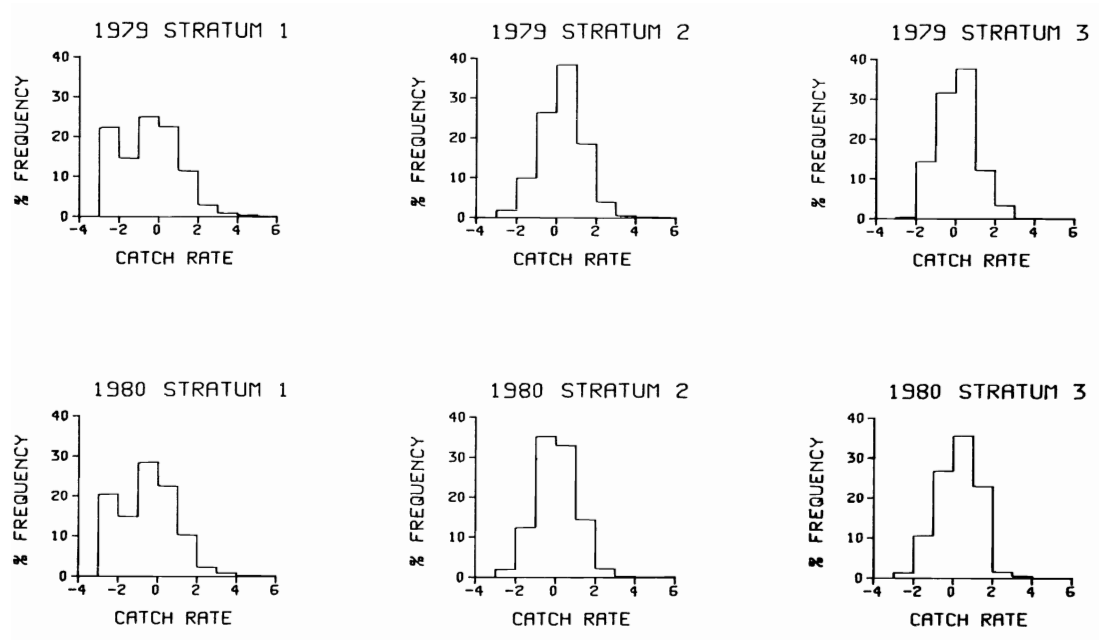


FIGURE 13d. Distribution of transformed $[\log(U+0.125)]$ catch rate by year and stratum type.
FIGURA 13d. Distribución del índice transformado $[\log(U+0.125)]$ de captura por año y tipo de estrato.

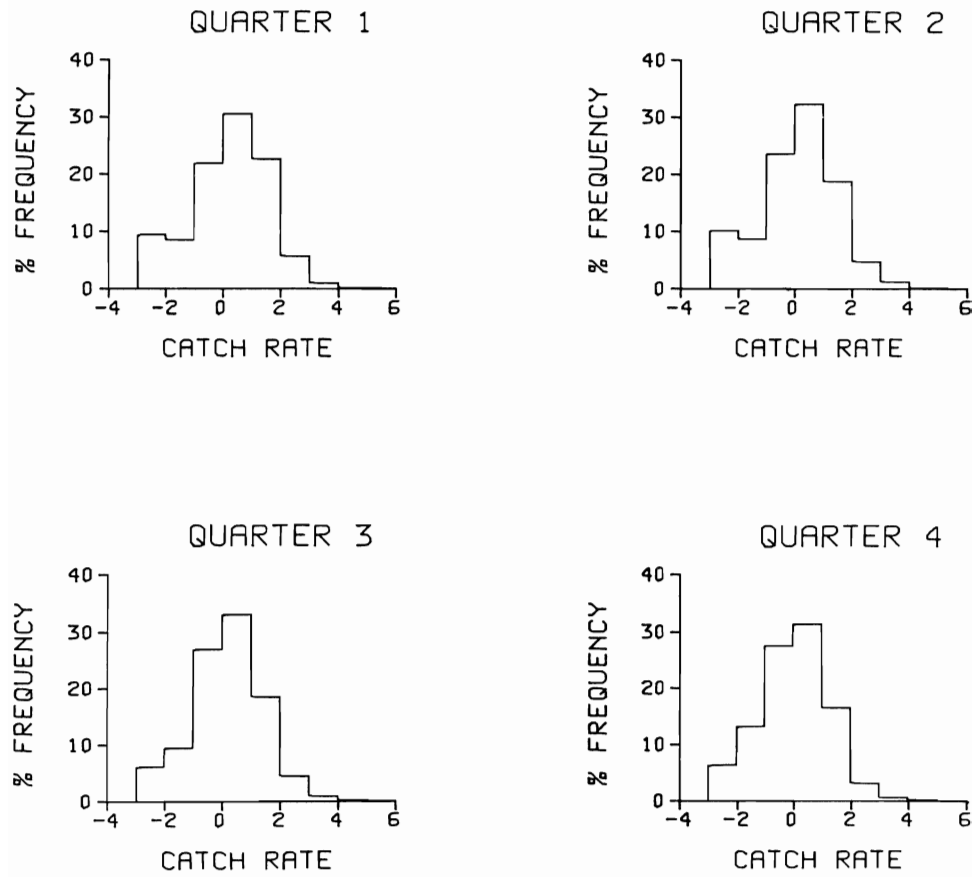


FIGURE 14. Distribution of transformed catch rate by quarter of the year.

FIGURA 14. Distribución del índice transformado de captura por trimestre del año.

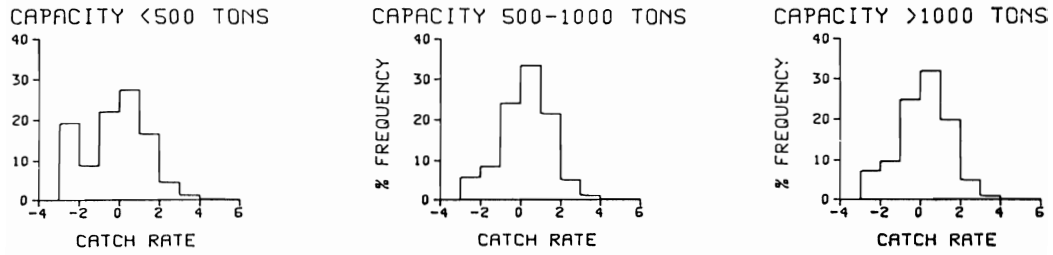


FIGURE 15. Distribution of transformed catch rate by seiner carrying capacity.

FIGURA 15. Distribución del índice transformado de captura por la capacidad de acarreo de los cerqueros.

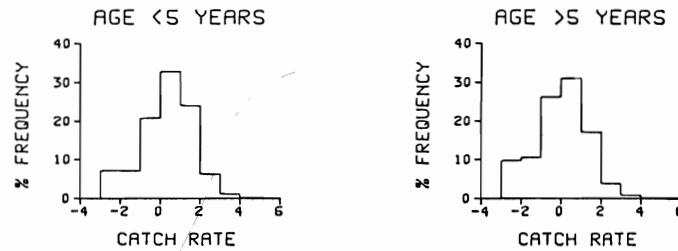


FIGURE 16. Distribution of transformed catch rate by seiner age.

FIGURA 16. Distribución del índice transformado de captura por la antigüedad de las embarcaciones cerqueras.

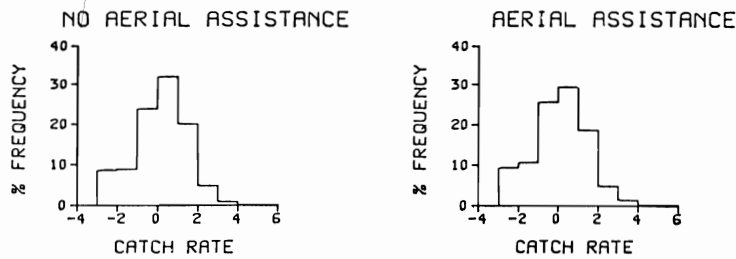


FIGURE 17. Distribution of transformed catch rate by whether or not aerial assistance was available in the stratum.

FIGURA 17. Distribución del índice transformado de captura por si se pudo o no disponer de ayuda aérea en el estrato.

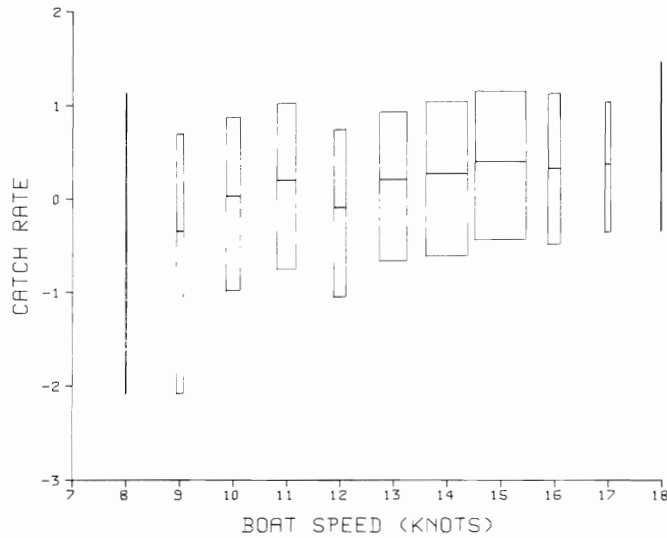


FIGURE 18. Relation between transformed catch rate and seiner speed. The boxes show the median and the upper and lower quartiles for each value of speed and their widths are proportional to the numbers of observations. Boxes representing less than 40 observations are not plotted.

FIGURA 18. Relación entre el índice transformado de captura y la velocidad de la embarcación cerquera. Las casillas presentan la mediana y las cuartiles superiores e inferiores de cada valor de la velocidad y su amplitud es proporcional al número de observaciones. No se grafican las casillas que representan menos de 40 observaciones.

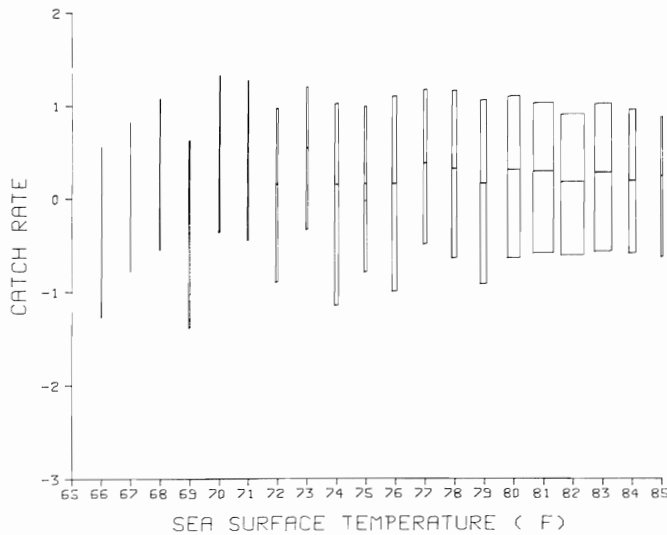


FIGURE 19. Relation between transformed catch rate and sea-surface temperature. The boxes show the median and the upper and lower quartiles for each value of temperature and their widths are proportional to the numbers of observations. Boxes representing less than 40 observations are not plotted.

FIGURA 19. Relación entre el índice transformado de captura y la temperatura de la superficie del mar. Las casillas presentan la mediana y las cuartiles superiores e inferiores de cada valor de temperatura y su amplitud es proporcional al número de observaciones. No se grafican las casillas que representan menos de 40 observaciones.

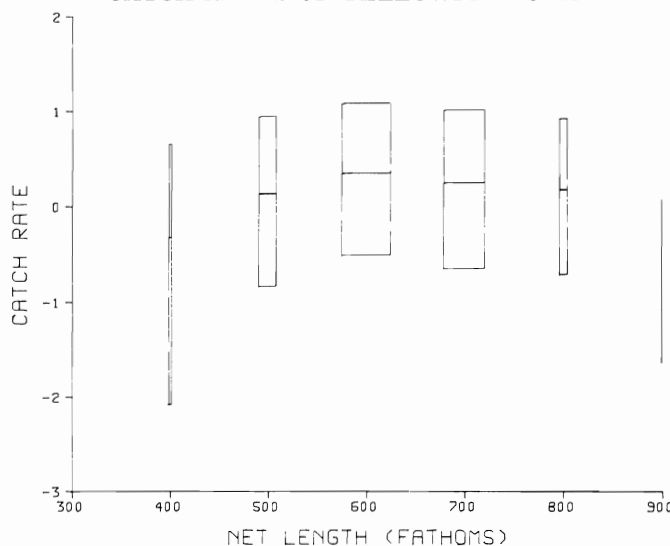


FIGURE 20. Relation between transformed catch rate and net length. The boxes show the median and the upper and lower quartiles for each value of net length and their widths are proportional to the numbers of observations. Boxes representing less than 40 observations are not plotted.

FIGURA 20. Relación entre el índice transformado de captura y la longitud de la red. Las casillas presentan la mediana y las cuartiles superiores e inferiores de cada valor de la longitud de la red y su amplitud es proporcional al número de observaciones. No se grafican las casillas que representan menos de 40 observaciones.

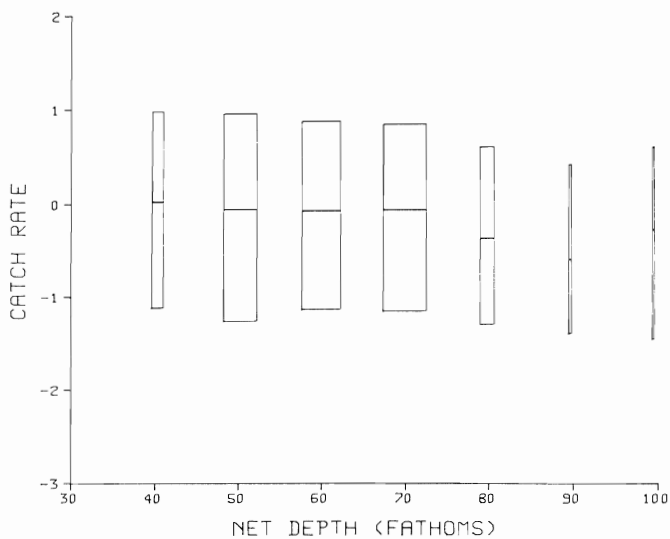


FIGURE 21. Relation between transformed catch rate and net depth for stratum type 1. The boxes show the median and the upper and lower quartiles for each value of net depth and their widths are proportional to the numbers of observations. Boxes representing less than 40 observations are not plotted.

FIGURA 21. Relación entre el índice transformado de captura y la altura de la red en el tipo de estrato 1. Las casillas presentan la mediana y las cuartiles superiores e inferiores de cada valor de la altura de la red y su amplitud es proporcional al número de observaciones. No se grafican las casillas que representan menos de 40 observaciones.

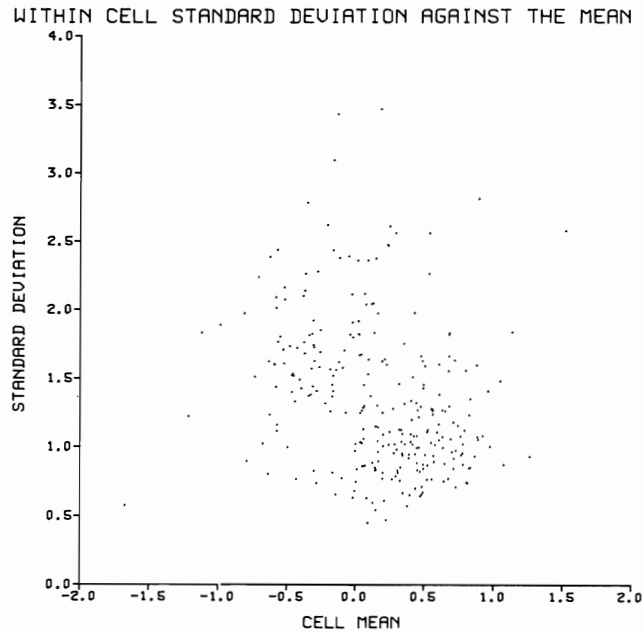


FIGURE 22. Relation between within-cell standard deviation and cell mean for cells with 20 or more observations.

FIGURA 22. Relación entre las desviaciones estándar en los elementos y la media de los elementos con 20 o más observaciones.

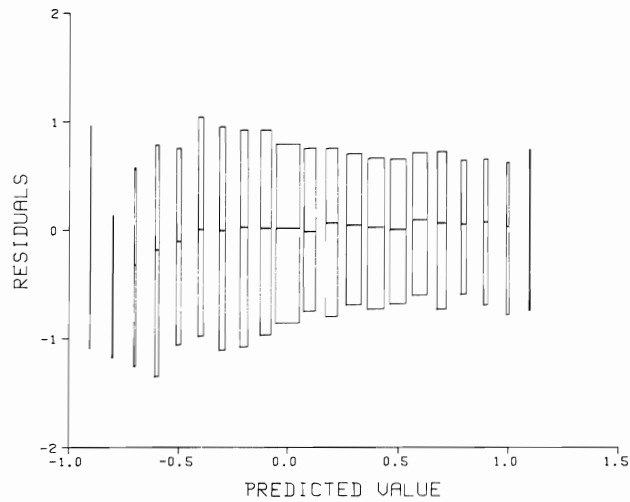


FIGURE 23. Distribution of the residuals from the linear model. The boxes show the median and the upper and lower quartiles for residuals corresponding to predicted values in a range of 0.1. Widths are proportional to the numbers of observations. Boxes representing less than 40 observations are not shown.

FIGURA 23. Distribución de los residuales según el modelo lineal. Las casillas presentan la mediana y las cuartiles superiores e inferiores de los residuales correspondientes a los valores pronosticados en un radio de 0.1. La amplitud es proporcional al número de observaciones. No se presentan casillas que tengan menos de 40 observaciones.

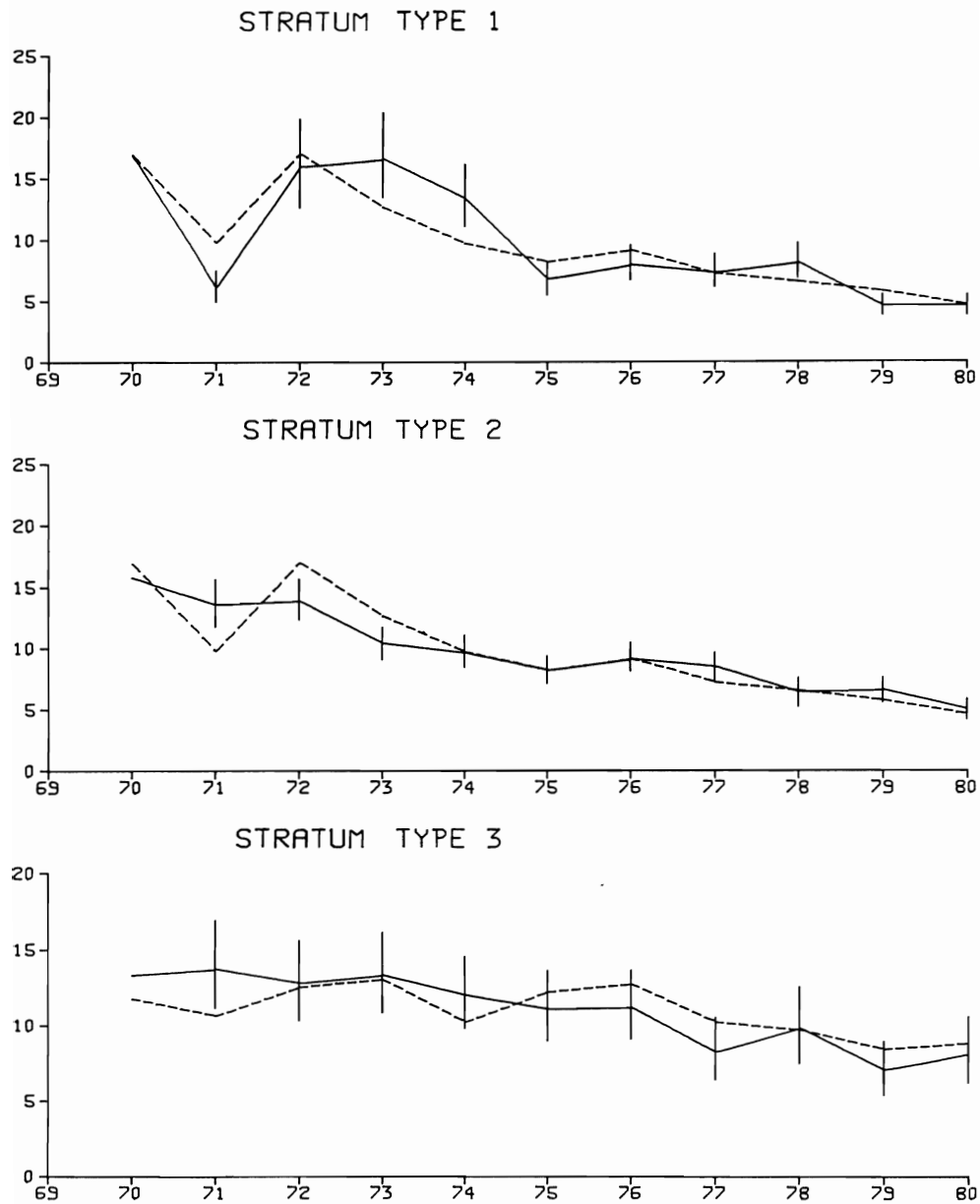


FIGURE 24. Abundance estimate within the three stratum types from the linear model (solid line) and CPDF (dashed line). Vertical bars are approximate 95% confidence intervals for linear model estimates.

FIGURA 24. Estimación de la abundancia en los tres tipos de estratos según el modelo lineal (línea sólida) y la CPDF (línea a trazos). Las barras verticales son los intervalos de confianza que se aproximan al 95% en las estimaciones del modelo lineal.

TABLE 1. Correlation coefficients between searching times preceding a set and the weight of yellowfin and skipjack taken in it.

TABLA 1. Coeficientes de correlación entre los tiempos de búsqueda anteriores a un lance y el peso capturado de aleta amarilla y barrilete.

Year	School fish sets		Dolphin sets	
	Yellowfin	Skipjack	Yellowfin	Skipjack
Año	Lances sobre cardúmenes de peces no asociados con delfines		Lances sobre delfines asociados con aleta amarilla	
	Aleta amarilla	Barrilete	Aleta amarilla	Barrilete
1970	0.05	0.09	-0.04	-0.04
1971	-0.02	0.04	-0.02	-0.01
1972	-0.04	0.01	-0.02	-0.01
1973	0.00	0.08	-0.01	-0.03
1974	0.03	0.01	-0.02	-0.02
1975	0.02	0.03	-0.04	-0.02
1976	0.04	0.03	0.01	-0.05
1977	0.03	0.03	-0.01	-0.02
1978	-0.01	-0.00	-0.04	-0.02
1979	-0.02	0.07	-0.05	0.00
1980	-0.00	-0.00	-0.02	-0.01

TABLE 2. Catch of yellowfin and skipjack in the eastern Pacific from records that could be used to estimate catch rates, and total catch (thousands of short tons).

TABLA 2. Captura de aleta amarilla y barrilete en el Pacífico oriental según los registros que se pueden usar para estimar los índices de captura y la captura total (millares de toneladas americanas).

Year	Catch from records used to estimate catch rate			Total catch	
	Yellowfin	Skipjack	Mixed	Yellowfin	Skipjack
Año	Captura según los registros usados para estimar el índice de captura			Captura total	
	Aleta amarilla	Barrilete	Mixto	Aleta amarilla	Barrilete
1970	80	11	1	173	62
1971	62	39	2	137	115
1972	108	7	1	197	37
1973	112	11	1	227	48
1974	117	34	2	233	87
1975	110	40	2	224	138
1976	141	49	2	261	141
1977	111	36	3	221	96
1978	85	66	3	198	188
1979	111	70	2	210	146
1980	101	71	2	176	144

TABLE 3. Bivariate analysis of variance of sea-surface temperature ($^{\circ}\text{F}$) and windspeed (knots) among the 5-degree area-month strata. U is Wilk's likelihood ratio test statistic, and indicates significant differences at the 5% level among strata when U is smaller than U_c .

TABLA 3. Análisis de dos variables de la varianza de la temperatura de la superficie del mar ($^{\circ}\text{F}$) y de la velocidad del viento (nudos) entre los estratos de mes y zona de 5 grados. U es la estadística basada en la prueba "Wilk" de la razón de las probabilidades e indica las diferencias significativas al nivel del 5% entre los estratos cuando U es más pequeña que U_c .

Year	<i>df</i>	Mean square			U	U_c	
		Temperature	Windspeed	Crossproduct			
Año	<i>gl</i>	Cuadrado Medio			U	U_c	
		Temperatura	Velocidad del viento	Producto múltiple			
1971	Among strata*	12	8	47	9	0.00	0.07
	Within strata**	10	1	0	0		
1972	Among strata*	192	107	68	-15	0.21	0.86
	Within strata**	2831	3	18	-1		
1973	Among strata*	247	122	94	-3	0.26	0.88
	Within strata**	4299	3	22	0		
1974	Among strata*	235	126	62	-21	0.22	0.88
	Within strata**	4072	3	19	-0		
1975	Among strata*	278	188	115	-47	0.14	0.86
	Within strata**	3886	3	22	-1		
1976	Among strata*	332	153	91	-6	0.16	0.84
	Within strata**	4084	4	19	0		
1977	Among strata*	348	276	120	-7	0.12	0.86
	Within strata**	5014	4	20	0		
1978	Among strata*	288	374	101	-32	0.13	0.90
	Within strata**	6077	4	18	-0		
1979	Among strata*	384	596	108	-11	0.10	0.90
	Within strata**	7492	4	22	-1		
1980	Among strata*	442	488	120	3	0.10	0.89
	Within strata**	7920	4	23	0		

*Entre los estratos

**Dentro de los estratos

TABLE 4. Variables used in the full model

TABLA 4. Variables usadas en el modelo completo

Variable	Type	Description	Degrees of freedom
Variable	Tipo	Descripción	Grados de libertad
Years Años	Classification	1970-1980	10
Quarter of year Trimestre	Classification	1 - 4	3
Stratum type Tipo de estrato	Classification	school inside CYRA ¹ dolphin inside CYRA ² dolphin outside CYRA ³	2
Seiner capacity Capacidad cerquera	Classification	less than 500, 500-999, 1000 tons and over ⁴	2
Seiner age Antigüedad de los cerqueros	Classification	less than 5, more than 5 years ⁵	1
Seiner speed Velocidad de los cerqueros	Covariate Covariable		1
Net length Longitud de la red	Covariate Covariable		1
Net depth Altura de la red	Covariate Covariable		1
Aerial assistance Ayuda aérea	Classification	used in stratum, ⁶ not used in stratum ⁷	1
Sea-surface temperature Temperatura de la superficie del mar	Covariate Covariable		1
Sea-surface temperature squared Temperatura al cuadrado de la superficie del mar	Covariate Covariable		1
Sea-surface temperature cubed Temperatura al cubo de la superficie del mar	Covariate Covariable		1
Wind speed Velocidad del viento	Covariate Covariable	used only in preliminary analysis ⁸	

¹Cardumen en el ARCAA - ²delfines en el ARCAA - ³delfines fuera del ARCAA - ⁴menos de 500, 500-999, 1000 o más toneladas - ⁵menos de 5 años, más de 5 años - ⁶usada en el estrato - ⁷no usada en el estrato - ⁸se empleó solamente en el análisis preliminar.

TABLE 5. *F* values at each step in the selection of the model used for standardizing catch rates. The *F* values above the heavy line are for the terms included in the model at each step in the selection procedure. The *F* values below the line are the *F*-to-enter for terms not included in the model composed of the terms above the line.

TABLA 5. Los valores de *F* en cada etapa en la selección del modelo usado para estandarizar los índices de captura. Los valores de *F* anteriores a la línea gruesa son para los términos incluidos en el modelo en cada etapa del proceso de selección. Los valores de *F* debajo de la línea son los términos de entrada de *F* no incluidos en el modelo compuesto de los términos colocados sobre la línea.

Source - origen	<i>df</i> - <i>gl</i>	STEP - ETAPA										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Year - año	10	60	63	67	63	52	53	55	54	51	52	57
Stratum type - tipo de estrato	2	69	123	130	140	137	137	143	143	77	42	44
Year/stratum type - año/tipo de estrato	20	11	13	13	12	12	13	12	12	12	12	12
Speed - velocidad	1	243	345	298	306	291	286	298	198	178	131	134
Sea-surface temperature - temperatura de la superficie del mar	1	147	276	257	269	256	70	92	95	94	80	76
Aerial assistance - ayuda aérea	1	149	67	48	49	51	52	48	44	47	51	50
Quarter - trimestre	3	7	7	11	11	10	10	10	10	8	7	8
Net depth - altura de la red	1	17	25	13	16	15	15	13	20	19	14	-
Sea-surface temperature squared - temperatura al cuadrado de la superficie del mar	1	158	213	13	13	11	10	46	47	62	57	57
Sea-surface temperature cubed - temperatura al cubo de la superficie del mar	1	119	158	0	0	0	0	36	37	51	45	45
Net length - largo de la red	1	99	0	3	1	1	7	7	8	12	10	7
Stratum type/quarter - tipo de estrato/trimestre	6	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	8
Capacity and capacity/stratum type - capacidad and capacidad/tipo de estrato	6	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	4
Net depth in stratum type 1 - altura de la red en el estrato tipo 1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
Age - antigüedad	1	85	3	1	1	1	3	4	3	-	-	-
Age and age/stratum type - antigüedad y antigüedad/tipo de estrato	3	-	-	-	-	-	-	-	-	8	7	2
Capacity - capacidad	2	46	6	2	4	4	3	2	3	-	-	-

TABLE 5. (Continued)
TABLA 5. (Continuación)

Stratum type/aerial assistance - tipo de estrato/ayuda aérea	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3
Stratum type/speed - tipo de estrato/velocidad	2	-	-	-	-	-	-	-	-	9	7	2
Stratum type/net length - tipo de estrato/largo de la red	2	-	-	-	-	-	-	-	-	10	7	0
Stratum type/net depth - tipo de estrato/altura de la red	2	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	-
Stratum type/sea surface temperature - tipo de estrato/temperatura de la superficie del mar	2	-	-	-	-	-	-	-	1	3	3	-

TABLE 6. *F* statistics for testing whether addition of interactions with years improves the linear model.

TABLA 6. Las estadísticas de *F* para probar si la adición de las interacciones con los años mejora el modelo lineal.

Year interaction with Interacción anual con	<i>df</i> <i>gl</i>	SS SC	MS MC	<i>F</i> <i>F</i>
Sea-surface temperature Temperatura superficial del mar	10	238.8	23.9	17.8
Aerial assistance Ayuda aérea	10	72.4	7.2	5.4
Capacity Capacidad	20	57.0	2.9	2.1
Speed Velocidad	10	23.7	2.4	1.8
Net length Largo de la red	10	19.5	2.0	1.4
Net depth in stratum type 1 Altura de la red en el strato de tipo 1	10	23.9	2.4	1.8

TABLE 7. Estimated parameters for interactions with years for sea-surface temperature, aerial assistance, and capacity.**TABLA 7.** Parámetros estimados de las interacciones en los años, de la temperatura superficial del mar, ayuda aérea y capacidad.

Interactions of year with: - Interacciones en los años con la:						
Year	Sea-surface temperature	Aerial assistance		0-499	Capacity	
		Not used	Used		500-999	1000 +
Año	Temp. superficial del mar	Ayuda aérea		0-499	Capacidad	
		No usada	Usada		500-999	1000 +
1970	0.00	0.00	0.00	0.05	0.17	-0.22
1971	0.26	0.34	-0.34	0.00	-0.04	0.04
1972	0.16	0.69	-0.69	-0.04	0.05	-0.01
1973	-0.06	-0.12	0.12	-0.08	0.03	0.05
1974	-0.19	-0.53	0.53	0.07	-0.09	0.02
1975	-0.25	-0.06	0.06	0.19	-0.08	-0.11
1976	-0.20	-0.09	0.09	0.13	-0.10	-0.03
1977	-0.07	-0.04	0.04	-0.05	0.00	0.05
1978	-0.14	-0.17	0.17	-0.02	-0.02	0.04
1979	-0.22	-0.05	0.05	-0.16	0.10	0.06

TABLE 8. Analysis of variance for the standardizing model with data for 1970-1980.**TABLA 8.** Análisis de la varianza para el modelo de estandarización con datos de 1970-1980.

Source Origen	<i>df</i> <i>gl</i>	Sum of squares Suma de cuadrados	Mean square Media cuadrada	<i>F</i> <i>F</i>
Year - año	10	774.8	77.5	57.4
Stratum type - tipo de estrato	2	118.5	59.2	43.9
Year-stratum type Tipo de estrato anual	20	320.3	16.0	11.9
Speed - velocidad	1	180.6	180.6	133.7
Sea-surface temperature Temp. superficie del mar	1	103.2	103.2	76.4
Sea-surface temperature squared Temp. al cuadrado de la sup. del mar	1	77.6	77.6	57.5
Sea-surface temperature cubed Temp. al cubo de la sup. del mar	1	61.1	61.1	45.2
Aerial assistance - Ayuda aérea	1	66.9	66.9	49.5
Quarter - trimestre	3	31.0	10.3	7.7
Net length - largo de la red	1	10.0	10.0	7.4
Net depth in stratum type 1 Altura de la red en el estrato de tipo 1	1	28.3	28.3	21.0
Capacity - capacidad	2	9.5	4.8	3.5
Capacity-stratum type Capacidad - tipo de estrato	4	21.6	5.4	4.0
Quarter-stratum type Trimestre - tipo de estrato	6	63.7	10.6	7.9
Residual - residual	20252	27358	1.4	

TABLE 9. Estimated parameters and their standard errors for the additive model using the transformed data from 1970 to 1980.**TABLA 9.** Parámetros estimados y los errores estándar del modelo aditivo usando los datos transformados de 1970-1980.

	Year - Año									
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Estimate - estimado	0.43	0.08	0.36	0.29	0.17	-0.11	-0.02	-0.16	-0.16	-0.42
s.e. - e.s.	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Year-stratum type interaction - Año-interacción del tipo de estrato										
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Stratum type 1 - Tipo de estrato 1										
Estimate - estimado	0.17	-0.41	0.18	0.28	0.20	-0.14	-0.07	0.01	0.09	-0.16
s.e. - e.s.	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Stratum type 2 - Tipo de estrato 2										
Estimate - estimado	0.06	0.27	0.02	-0.19	-0.13	0.00	0.01	0.08	-0.16	0.12
s.e. - e.s.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
Stratum type - Tipo de estrato										
		1			2					
Estimate - estimado		-0.20			0.09					
s.e. - e.s.		0.03			0.03					
Capacity - Capacidad										
Estimate - estimado		-0.08			0.05					
s.e. - e.s.		0.04			0.02					
Capacity - stratum type interaction										
Capacidad - interacción del tipo de estrato										
		Stratum type 1				Stratum type 2				
Capacity		1		2		1		2		
Estimate - estimado		0.08		-0.04		-0.08		0.03		
s.e. - e.s.		0.04		0.02		0.04		0.02		
Quarter - Trimestre										
			1		2		3			
Estimate - estimado			0.08		0.04		-0.01			
s.e. - e.s.			0.06		0.03		0.03			

TABLE 9. (Continued)
TABLA 9. (Continuación)

Quarter/Trimestre	Quarter - stratum type interaction					
	Trimestre - interacción del tipo de estrato					
	Stratum type 1 - Tipo de estrato 1			Stratum type 2 - Tipo de estrato 2		
	1	2	3	1	2	3
Estimate - estimado	-0.08	0.04	0.06	0.06	-0.09	-0.08
s.e. - es.	0.06	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03

	No aerial assistance	Speed	Sea-surface temperature	Sea-surface temperature squared	Sea-surface temperature cubed	Net length	Net depth (stratum 1)
	No ayuda aérea	Velocidad	Temperatura superficie del mar	Temperatura ² superficie del mar	Temperatura ³ superficie del mar	Largo de la red	Altura de la red (estrato 1)
Estimate - estimado	-0.11	0.16	-0.13	0.23	0.20	0.04	-0.07
s.e. - es.	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02

TABLE 10. Parameter estimates for the multiplicative catch rate model. The effects of years, quarters of years, and capacity are estimated within each stratum.**TABLA 10.** Estimación de los parámetros del modelo multiplicativo de los índices de captura. Se estiman en cada estrato los resultados de los años, trimestres del año y capacidad.

	Year - Año		
	Stratum type 1	Stratum type 2	Stratum type 3
	Estrato tipo 1	Estrato tipo 2	Estrato tipo 3
1970	1.00	1.00	1.00
1971	0.36	0.86	1.03
1972	0.94	0.88	0.96
1973	0.98	0.66	1.00
1974	0.79	0.61	0.90
1975	0.40	0.52	0.83
1976	0.47	0.58	0.84
1977	0.43	0.54	0.62
1978	0.48	0.41	0.74
1979	0.27	0.42	0.53
1980	0.27	0.32	0.61

	Quarter - Trimestre		
	Stratum type 1	Stratum type 2	Stratum type 3
	Estrato tipo 1	Estrato tipo 2	Estrato tipo 3
Quarter 1 1 trimestre	1.00	1.00	1.00
Quarter 2 2 trimestre	1.13	0.85	1.04
Quarter 3 3 trimestre	1.16	0.85	1.01
Quarter 4 4 trimestre	1.06	1.06	0.89

	Capacity - Capacidad		
	Stratum type 1	Stratum type 2	Stratum type 3
	Estrato tipo 1	Estrato tipo 2	Estrato tipo 3
0-499 tons (toneladas)	1.00	1.00	1.00
500-999 tons	0.87	1.13	1.01
1000 tons and over	0.86	1.15	1.00

TABLE 10. (Continued)
TABLA 10. (Continuación)

Aerial assistance - Ayuda aérea									
Not used - No se usó					Used - Se usó				
1.00					1.28				
Sea-surface temperature °F									
Temperatura superficial del mar °F									
66	68	70	72	74	76	78	80	82	84
1.58	1.78	1.80	1.68	1.48	1.27	1.10	0.99	0.96	1.03
Speed			Net length			Net depth for stratum 1			
Velocidad			Largo de la red			Altura de la red en el estrato 1			
1.09/knot (nudo)			1.05/100 fathoms (brazas)			0.93/10 fathoms (brazas)			

**PROPORCIONES DE CAPTURA COMO INDICES DE ABUNDANCIA
DEL ATUN ALETA AMARILLA, *THUNNUS ALBACARES*,
EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

por

Robin Allen y Richard Punsly

EXTRACTO

Se emplearon los datos de la captura y el esfuerzo de los cuadernos de bitácora de las embarcaciones cerqueras para hacer las estimaciones de la captura por hora de búsqueda correspondientes a 1970-1980. Se normalizaron estas estimaciones usando un modelo de regresión con el fin de hacer las estimaciones anuales de la abundancia, ajustadas según la moda de pesca, velocidad, capacidad, uso de ayuda aérea, dimensiones de la red y temperatura de la superficie del mar. En el ARCAA las estimaciones normalizadas de los cardúmenes de atún asociados con delfines y aquellas de los cardúmenes no asociados con delfines, indicaron una pauta general similar de reducción. Las proporciones de captura de 1980, fueron cerca del 30% de las de 1970, encontrándose la mayor reducción en los cardúmenes no asociados con delfines. Los cardúmenes asociados con delfines, fuera del ARCAA, se redujeron en un 60% con respecto a los niveles de 1970.

INTRODUCCION

En la administración de la pesca del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Pacífico oriental, se han empleado los datos de la captura y el esfuerzo como fuente principal de información sobre la abundancia de los peces. Las primeras estimaciones usando estos datos fueron hechas por Shimada y Schaefer (1956). Desde entonces han habido varias publicaciones que tratan sobre los métodos para usar los datos de la captura y el esfuerzo en esta pesca (Schaefer, 1957; Griffiths, 1960; Calkins, 1961 y 1963; Martin, 1962; Broadhead, 1962; Pella y Psaropulos, 1975). Junto con el uso de las proporciones de captura para estimar la abundancia, se han usado los modelos de producción con el fin de estimar las consecuencias que tiene la pesca sobre la población (Schaefer, 1957 y 1967; Pella y Tomlinson, 1969; Anónimo, 1982). Los investigadores de la CIAT han confiado más en estos métodos que en los de la evaluación basada en la estructura de la edad y en el modelado (Hennemuth, 1961; Davidoff, 1963, 1965 y 1969; Francis, 1974a y 1977; Anónimo, 1982), en parte debido a la incertidumbre sobre los métodos usados para asignar una edad a los peces y, también, debido a la dificultad que hay de aplicar los tales métodos como aquellos de los análisis de las generaciones en una situación en que hay una estructura de población compleja y de la que se tiene poco conocimiento.

Antes de 1958, cuando la pesca era explotada principalmente por barcos de carnada, Shimada y Schaefer (1956) encontraron diferencias en la eficacia de las embarcaciones de carnada con distintas capacidades de acarreo. Para compensar estas diferencias, concibieron un método designado a estandarizar el esfuerzo con el fin de eliminar las tendencias en las proporciones de captura atribuibles

a los cambios de la eficacia de la flota pesquera. Los datos que empleaban para describir el esfuerzo de pesca eran los días de pesca de atún aleta amarilla o barrilete (*Katsuwonus pelamis*), que sigue siendo la medida básica del esfuerzo de la pesca. Más tarde, cuando el empleo de las redes de cerco, llegó a ser el método más común de pesca, fue necesario estandarizar el esfuerzo cerquero al esfuerzo de las embarcaciones de carnada (Broadhead, 1962), o al contrario (Bayliff, 1971). La serie de datos de los últimos años correspondiente a los años en los que las redes de cerco fueron el método principal de pesca, es lo suficientemente abundante, por lo que se emplean ahora solamente los datos de las embarcaciones cerqueras para medir las proporciones de captura.

Se reconoce ampliamente que existen muchos problemas asociados con el empleo de los datos de la captura y el esfuerzo para estimar la abundancia (Paloheimo y Dickie, 1964; Ulltang, 1976). Estos son tanto de naturaleza técnica, referentes al método empleado para estimar las proporciones de captura, como también problemas generales al decidir si en realidad la captura por unidad de esfuerzo de una pesca comercial que trata de mantener un índice elevado de captura, refleja la abundancia de la población. En el caso de la pesca de aleta amarilla, estos problemas se agravan por el hecho de que la pesca es actualmente una de especies múltiples, incluyendo uno o más atunes aleta amarilla, barriletes y delfines (principalmente *Stenella attenuata*, *S. longirostris* y *Delphinus delphis*) que se usan frecuentemente como indicadores de la presencia del atún aleta amarilla. Se examinarán más adelante estos problemas.

Los datos obtenidos de embarcaciones cerqueras por el personal de la CIAT, consisten en el extracto de los cuadernos de bitácora. Estos incluyen las horas en que se inician y terminan los lances, las estimaciones del peso de cada especie capturada en el lance y detalles sobre las veces en las que el barco está actualmente buscando peces. Sin embargo, en el pasado, con excepción del trabajo de Pella y Psaropulos (1975), los análisis de los datos de la captura y el esfuerzo han empleado solamente los días de pesca como unidad de esfuerzo. Aunque siempre se han podido obtener manualmente datos más detallados, solo recientemente es que se ha podido obtener mediante la computadora la información desde 1959, de los datos de bitácora. En este estudio se han empleado las horas de búsqueda para tratar de calcular el esfuerzo con más precisión y poder eliminar los efectos de la saturación de la red o del tiempo de la faena (Rothschild, 1967; Gulland, 1968; Pella, 1969) y de los aspectos de las especies múltiples en la pesca.

Los pescadores descubren los cardúmenes de atún de varias maneras. Los métodos más importantes son ver la superficie del mar agitada, causada por los atunes o su presa, encontrar aves que comparten su presa con los atunes, encontrar trozos de objetos flotantes (comúnmente llamados troncos) que pueden estar acompañados de atunes (Greenblatt, 1979) o encontrar un cardumen de delfines que puede tener también atunes (Allen, 1981). Los métodos de pesca y búsqueda empleados son diferentes en cada moda de pesca. Por ejemplo, los pescadores que buscan "cardúmenes de peces" (cardúmenes de atunes no asociados con delfines o troncos) tienden a concentrar el esfuerzo de búsqueda relativamente cerca a

la embarcación cerquera, mientras que la búsqueda de cardúmenes con delfines se orienta cerca al horizonte (Hammond, 1981). Existen también diferencias entre las modas de pesca en las zonas de pesca y en la composición de talla del aleta amarilla; la pesca sobre cardúmenes no asociados o sobre objetos flotantes, tiene lugar cerca a la costa y frente a las islas mar afuera y, en promedio, producen atún aleta amarilla más pequeño que la pesca en asociación con delfines (Allen, 1981). A causa de estas y otras diferencias anotadas más adelante, se considera la pesca cerquera en este estudio como si estuviera formada por dos modas de pesca, la pesca de atunes asociados con delfines y la pesca combinada de cardúmenes no asociados con delfines y asociados con objetos flotantes. No se emplean los datos de otros tipos de lances, por ejemplo, los lances nocturnos.

METODOS

Los índices de captura como estimaciones de la abundancia

Los índices de captura son estimaciones naturales e intuitivas de la abundancia y probablemente se han usado como tales desde que el hombre empezó a pescar. La justificación analítica más antigua del uso de los índices de captura, en esta forma fue cuando se supuso que los peces se encontraban esparcidos en el fondo de una región en el mar y eran capturados por una red que se arrastraba al azar con respecto a los peces. Esto conduce a razonamientos sencillos en los que se relaciona la captura al esfuerzo de pesca y a la densidad de los peces (Baranov, 1918; Russell, 1931). Sin embargo, aún la representación más sencilla de la pesca con cerco de atún aleta amarilla y barrilete, es considerablemente más compleja que ésto, así que es necesario tener cierta cautela al definir una medida conveniente del índice de captura para estimar la abundancia.

McNeely (1961) y Green *et al.* (1972), han descrito la pesca con cerco del aleta amarilla y del barrilete en el Océano Pacífico oriental y a continuación se expone una representación cuantitativa simplificada de las características que son importantes en definir los índices de captura. Considérese un estrato de zona-tiempo que contiene N cardúmenes de aleta amarilla y barrilete, siendo algunos cardúmenes una mezcla de las dos especies y otros compuestos solo por una especie. Dejemos que C_{i1} y C_{i2} sean respectivamente el peso del aleta amarilla y del barrilete en el i -ésimo cardumen. Supóngase que un cerquero busque con la probabilidad P de encontrar cualquier cardumen en una unidad de tiempo. En una situación ideal en la que se descubren cardúmenes independientemente y en donde la P es pequeña, la distribución de los tiempos de espera antes de encontrar un cardumen es un exponencial negativo con el parámetro $\lambda = PN$. El valor de P dependerá de las características del barco, el comportamiento de los peces, las condiciones ambientales y otros eventos en el estrato. El propósito de la estandarización es compensar estas variaciones. Dejemos que P_{jk} sea la probabilidad de que un cardumen contenga j toneladas de aleta amarilla y k toneladas de barrilete en el estrato. El peso del aleta amarilla presente en el estrato es entonces

$$Y = N \sum_{jk} j p_{jk}.$$

Suponiendo que los cardúmenes capturados son una muestra aleatoria de los cardúmenes presentes y que los tiempos de búsqueda son independientes de la magnitud de los cardúmenes subsecuentemente capturados, la probabilidad de observar un grupo de capturas $(C_{11}, C_{12}), (C_{21}, C_{22}), \dots, (C_{n1}, C_{n2})$ y los tiempos de búsqueda T_1, T_2, \dots, T_n es

$$L = \prod_i \lambda \exp(-\lambda T_i) n! \prod_{jk} \frac{x_{jk}^{p_{jk}}}{p_{jk}! x_{jk}!} .$$

En donde x_{jk} es el número de cardúmenes que contienen j toneladas de aleta amarilla y k toneladas de barrilete. Los estimadores del máximo de verosimilitud, de λ y p_{jk} son

$$\hat{\lambda} = n / \sum T_i$$

$$\hat{p}_{jk} = x_{jk} / n$$

Aunque no es posible estimar Y directamente, tenemos

$$\begin{aligned} PY &= PN \sum j p_{jk} \\ &= \lambda \sum j p_{jk} \end{aligned}$$

así que PY puede estimarse por

$$\begin{aligned} P\hat{Y} &= (n / \sum T_i) \sum (j x_{jk} / n) \\ &= \sum C_{i1} / \sum T_i \end{aligned} \quad (1)$$

Este análisis funciona tanto para el barrilete como para el aleta amarilla; sin embargo, en este estudio se hará la estandarización solo en lo referente al atún aleta amarilla.

En realidad, la distribución de los tiempos de búsqueda en un estrato, presenta frecuentemente desviaciones de un exponencial negativo. La causa típica del ajuste es la excesiva dispersión, es decir, demasiados intervalos que son ya sea demasiado cortos o demasiado largos, lo que indica que los barcos se concentran, hasta cierto punto, en zonas dentro de los estratos en los que se pueden realizar con más frecuencia lances. Es de suponer que esta eficacia en la búsqueda no cambia con el tiempo y por consiguiente, no afecta las proporciones de captura expresadas como índices.

En la Tabla 1 se presentan los coeficientes de correlación entre los tiempos de búsqueda y el peso de cada especie en los cardúmenes. La mayoría de los coeficientes de correlación en los lances de delfines son negativos, lo que indica que los lances más pequeños tienden a seguir los períodos más prolongados de búsqueda. Sin embargo, las desviaciones estándar de estas cantidades son del orden

de 0.02, así que parece razonable aceptar la hipótesis de que el tiempo de búsqueda y el peso de cada especie por cardumen son independientes.

Hemos supuesto implícitamente que cuando se realiza un lance positivo en un cardumen, se captura todo el cardumen, o, como las estimaciones se han de emplear como índices, es suficiente que no cambie la proporción capturada de los cardúmenes individuales sobre el tiempo. No se satisface la suposición de que los cardúmenes capturados son una muestra aleatoria de aquellos presentes, si se encuentran en un estrato cardúmenes que son demasiado pequeños para que valga la pena realizar un lance. Los pescadores no desean realizar lances sobre cardúmenes que tienen menos de una cantidad mínima de peces, ya que cada lance implica un gasto tanto en tiempo como en el desgaste natural de las artes. La cantidad de este mínimo ha de variar, depende de tales circunstancias como son las condiciones de pesca anteriores, la hora del día y el tamaño del barco, pero es en la proximidad de dos a tres toneladas en la mayoría de los cerqueros. En este trabajo, se definen los lances como positivos si capturan por lo menos 3 toneladas de aleta amarilla más barrilete. Por consiguiente, los índices de captura no proveerán información sobre esa parte de la población que aparece en cardúmenes más pequeños. A veces las pequeñas embarcaciones cerqueras realizan lances en cardúmenes de peces que tienen menos de 3 toneladas. Cuando ésto sucede, la captura estimada por hora antes definida tendrá un sesgo ascendente.

Cuando se usa la ecuación (1) para definir los índices de captura se evita el problema de la saturación descrita por Paloheimo y Dickie (1964), Gulland (1968) y Pella (1969). Indicaron que los índices de captura eran estimaciones sesgadas de la abundancia, cuando se empleaba el tiempo total de pesca, que es el tiempo de búsqueda más el tiempo de la faena, como medida del esfuerzo. El método provee también estimaciones directas de los índices de captura de ambos, el atún aleta amarilla y el barrilete sin tener que usar ya sea un precepto para asignar el esfuerzo entre las especies (Ketchen, 1964) o tener que ajustar los índices de captura de uno por la abundancia del otro (Pella y Psaropulos, 1975).

En la Introducción se mencionaron varios problemas potenciales al usar los datos de la captura y el esfuerzo. El más serio de éstos es si la capturabilidad es independiente de la magnitud de la población. Existen ejemplos, especialmente en las pescas de clupeidos (Murphy, 1966 y 1977; Ulltang, 1976), en las que el coeficiente de capturabilidad ha aumentado a medida que se reduce la magnitud de la población y, como resultado, la pesca pudo mantener un índice de captura más o menos estable, independiente de la magnitud de la población. El mecanismo más probable causa de ésto es una reducción en la amplitud de la población a medida que merma la magnitud de la misma. Por lo tanto, la densidad de los peces en el núcleo del área de la amplitud no disminuye y se pueden mantener los índices de captura. En la pesca del aleta amarilla no hay señal alguna que indique tal reducción en la amplitud, como se indica en las Figuras 1-11.

Clark y Mangel (1979) indicaron otro mecanismo que tendría el mismo efecto como el de los cambios en la amplitud. Propusieron la hipótesis de que la pesca

podía disponer de una porción de la población cerca a la superficie y a medida que se pescaba se abastecía de nuevo en una forma dependiente de la densidad de una población subyacente inaccesible. Así que no se relacionaría estrechamente el índice de captura, una función de la cantidad de peces en la superficie, a la abundancia total. Sin embargo, virtualmente todos los cálculos de los índices de captura de la pesca epipelágica (es decir, de barcos rederos) han indicado en los últimos años una gran reducción, por consiguiente, no parece que la población que habita cerca a la superficie se haya restaurado. No es evidente que la abundancia normal del aleta amarilla epipelágico sea directamente proporcional a la abundancia total.

Otro factor que hace difícil el análisis es que en su mayoría los cerqueros no realizan la búsqueda independientemente, pero comparten la información dentro de "grupos códigos" (Orbach, 1977). Los informes sobre las condiciones de pesca se transmiten a los miembros de un grupo en mensajes codificados, así que un capitán individual se da cuenta de las condiciones de una zona mucho más extensa de lo que él mismo pudiera buscarla.

Rothschild (1977) ha comentado sobre el efecto que tiene la búsqueda colaborativa en los índices de encuentro, pero no se han publicado trabajos que se refieran a los análisis de esta clase de datos. La formación de los grupos códigos debe conducir a mayores índices de captura y probablemente contribuya a la excesiva dispersión de los datos de búsqueda. El patrón de los grupos códigos se encuentra bien definido. En este estudio suponemos que su efecto es constante sobre el período estudiado de tiempo y, por consiguiente, no tendrá ningún efecto sobre los índices de la abundancia relativa.

Es relativamente fácil obtener la captura por unidad de esfuerzo y es un índice poco costoso de la abundancia, si se compara con otros métodos como son los reconocimientos de huevos, larvas y del eco. Ningún otro método de estimación ha demostrado aún mucho potencial para las pescas atuneras en el Pacífico oriental, principalmente debido a la zona extensa explotada por la pesca. A causa de la falta de evidencia que muestre que la capturabilidad se relaciona inversamente a la magnitud de la población, o cambios en la eficacia de la flota, que no pueden asociarse con un parámetro conocido como la velocidad o tamaño, se continuarán usando los índices de captura como un método principal del índice de la abundancia.

Estandarización

La estandarización de los índices de captura es una técnica designada para eliminar las diferencias en los índices de captura entre las embarcaciones y las circunstancias que son el resultado de otros factores que no se deben al azar o a las diferencias en la abundancia de los peces. Por ejemplo, las embarcaciones de gran porte tienden a tener mayores índices de captura que las de pequeño porte y en la pesca del aleta amarilla, el índice de captura de los peces que se asocian con delfines es normalmente superior que el índice de captura de los peces no asociados con delfines. Las comparaciones de los índices de captura destinadas a proveer información sobre la abundancia deben eliminar estas diferencias. Tradi-

cionalmente, el objetivo principal de la estandarización ha sido eliminar las tendencias en los índices de captura causadas por la evolución de la flota pesquera hacia barcos, equipo y métodos más eficaces. Además de eliminar las tendencias de este tipo, se puede emplear para describir la variabilidad que se asocia con las diferencias entre los barcos, equipo o técnicas pesqueras, mejorando así la precisión de las estimaciones de la abundancia.

Desde hace varios años se ha reconocido la necesidad de estandarizar los índices de captura. Por ejemplo, Gulland (1955), Shimada y Schaefer (1956) y Beverton y Holt (1957) discutieron las razones de las estandarización y las técnicas. De acuerdo a estos estudios, se han concebido dos opciones principales referentes a este problema.

Una opción sigue el método *ad hoc* de Shimada y Schaefer (1956) y Beverton y Holt (1957) en el que se calcularon los factores de estandarización al comparar el promedio de los índices de captura de una clase particular de barcos con aquellos de una clase estándar. Las variaciones de este procedimiento aparece en Joseph y Calkins (1969), Campos Rosado (1971), Uchida (1976), Houghton (1977) y muchos otros estudios. Esta técnica es limitada, ya que no es evidente cómo tratar con situaciones complicadas en donde, por ejemplo, existe más de una forma de clasificar la flota pesquera o casos en los que faltan datos.

La otra opción principal es el uso de modelos lineales con estimaciones de los mínimos cuadrados o estimaciones del máximo de verosimilitud de los parámetros. Esto fue usado primero por Gulland (1956) y más tarde por Robson (1966), Joseph y Calkins (1969) y Stern y Hennemuth (1975). Estrechamente relacionado a esto es el uso de la regresión lineal para estimar los cambios en el poder de pesca que se relacionan a una variable continua como es la eslora del barco o la fuerza del motor, varios ejemplos que han sido provistos por Pope (1975). Las primeras aplicaciones de los modelos lineales se emplearon para estimar "factores potenciales" o la eficacia relativa de las diferentes clases de embarcaciones y estos factores se usaron luego para estimar el esfuerzo estandarizado de pesca. Francis (1974b) reconoció que cuando la intención era comparar la abundancia relativa entre los períodos, se podían estimar directamente los efectos debidos a las diferencias entre los años.

Pella (1969) y Pella y Psaropulos (1975), concibieron un método algo diferente al idear un modelo de la pesca con cerco para el aleta amarilla y el barrilete con el fin de (1) estandarizar los efectos de la velocidad del barco, de la capacidad y de las modas de pesca y (2) solucionar los problemas de separar el tiempo de búsqueda y de la faena en una pesca de dos especies. La mayor parte de esta contribución se dedicó al uso de un modelo de renovación que representara el proceso de búsqueda y de la faena, del cuál se podían derivar las estimaciones del número de cardúmenes.

Se emplean también técnicas relacionadas de la estandarización al comparar los índices de mortalidad en poblaciones humanas (Bunker *et al.*, 1969; Bishop *et al.*, 1975). Se emplean dos técnicas, un ajuste directo en el que se combinan

los índices actuales de mortalidad con una “población estándar” para producir un índice estandarizado de mortalidad de diferentes poblaciones y un ajuste indirecto en el que el índice estandarizado de mortalidad se emplea con poblaciones individuales para producir un número esperado de muertes que se compara con el número actual de muertes de esa población.

La estandarización sobre el tiempo depende de la suposición en la que los efectos de los parámetros que se están estandarizando no cambian sobre el tiempo o por lo menos que cualquier cambio es pequeño con relación a las diferencias que se están estandarizando. Si hay una desviación significativa de esta suposición, las secuencias de los índices de captura variarían entre las clases que se están estandarizando y, consecuentemente, no serían buenos estimadores de la abundancia. En muchas aplicaciones de la estandarización se ha evidentemente descuidado la importancia de esto. El método usado por Shimada y Schaefer (1956) y seguido por otros (Joseph y Calkins, 1969; Kurita *et al*, 1973; Uchida, 1976) fue calcular los factores de estandarización para clasificar la flota cada año. Cuando se hace esto, se calculan diferentes factores de estandarización en cada año y como lo indicó Gulland (1974), esto implica un razonamiento circular. En su forma más simple esto resulta en que la estimación anual “estandarizada” es simplemente el índice de la captura anual de la clase estándar, siendo que en los ejemplos más complicados el índice estandarizado de captura se encontrará próximo al índice de la clase estándar. Por ejemplo, Shimada y Schaefer (1956) usaron una razón de las medias geométricas para estimar los factores de estandarización y su índice estandarizado puede escribirse como

$$U = \tilde{U}_s \cdot \frac{C_k}{\tilde{U}_k X_k}$$

en la que U es el índice de captura estandarizado, \tilde{U}_k es la media geométrica de los índices de captura entre los estratos, C_k es la captura total y X_k es el esfuerzo total, todos para la clase de arqueo k ; y la clase de arqueo s es la clase de arqueo estándar. Esta expresión es independiente de la razón entre C_k y X_k . Es decir, U es independiente de los índices de captura de todos menos la clase estándar de arqueo. En los ejemplos anteriores en los que los factores de estandarización se volvieron a calcular cada año, el índice de captura “estandarizado” dependía de la clase seleccionada como estándar.

Puede ocurrir un problema similar cuando se usan modelos lineales y se ajustan ya sea modelos separados en cada año o en otro período de tiempo (Joseph y Calkins, 1969; Stern y Hennemuth, 1975; Rothschild, 1977) o si no se incluyen en el modelo interacciones entre los efectos del año y una clasificación de estandarización. Ya sea en uno u otro caso, el modelo suministraría diferentes secuencias de los índices de la captura relativa si se escogieran como estándar diferentes clases de barcos. Rothschild (1977) indicó que había una interacción entre los años y el tipo de arte y que, por consiguiente, las estimaciones de la magnitud relativa de la población serían diferentes en diversos tipos de arte. En este caso es evidente que tales estimaciones no son satisfactorias a no ser que las diferencias sean pe-

queñas, o que el efecto de la interacción sea igualmente pequeño comparado con las diferencias entre los resultados de las artes.

En toda la literatura sobre la estandarización de los índices de captura, no es común, en realidad, encontrar ejemplos en los que se haya realizado la estandarización sobre los años, en tal forma, que se obtengan índices estandarizados que sean independientes de la selección de la clase estándar. Hay dos ejemplos el de Campos Rosado (1971) en el que se calcularon los factores de estandarización según los datos que se habían recolectado durante el período de tiempo estudiado y el de Francis (1974b) en el que se habían examinado las interacciones entre los años y la clasificación de la estandarización encontrándose que eran pequeñas.

En este estudio se emplean las estimaciones de los mínimos cuadrados de los parámetros de un modelo lineal, para estandarizar los índices de captura. El método provee un método estándar de cómputo de una clasificación de forma múltiple con covariables. Provee además estimaciones de la variabilidad de los parámetros estimados y de la eficacia de las variables de estandarización. Estas ventajas hacen que sea preferible el uso de los modelos lineales con relación a los métodos del "factor de estandarización" referido anteriormente.

Datos de bitácora

Los datos de bitácora empleados en este estudio consisten de los datos detallados de las faenas de los barcos cerqueros durante sus viajes de pesca. En cada lance cerquero, se anota la fecha y las horas en que se inicia y termina el lance, la cantidad estimada de los peces capturados por especie, el tipo de cardumen o las señales visuales mediante las cuales se localizó un cardumen y su posición. Entre los lances se anota también si han habido cambios importantes en las faenas del cerquero, como es el regreso a puerto o cuando se ha cesado la búsqueda a causa del mal tiempo o una avería. Así que es posible saber según los datos cuánto tiempo se gastó en la búsqueda antes de cada lance. Desafortunadamente, no se obtienen según este sistema las horas en que se vieron por primera vez los cardúmenes, así que el tiempo de búsqueda incluye algún tiempo entre el momento en que se vio un cardumen y el comienzo del lance.

En este estudio, no se usaron los datos de barcos que se encontraban bajo regulaciones sobre la cantidad de atún aleta amarilla que podían capturar (Cole, 1980). No existen reglamentaciones que gobiernen la captura de barrilete en el Pacífico oriental.

Los cuadernos de bitácora no se llenan todos completa y acertadamente, así que fue necesario rechazar algunos de los extractos de bitácora o parte de los extractos porque faltaban algunos de los datos o no eran compatibles con otra información. Si la captura total estimada de un viaje variaba en más del 25% según el peso descargado, se rechazaban los datos de ese viaje. Además algunas circunstancias como el mal tiempo, causan pérdida de datos (ésto se describe más

adelante). Después del proceso de selección, el resto de los datos formó algo menos de la mitad de la captura total del aleta amarilla y barrilete, como se indica en la Tabla 2.

Es necesario establecer normas en las que se especifique cómo se han de usar los datos cuando se calculan las horas de búsqueda anteriores a los lances. No todos los lances realizados son positivos y en los casos en que son negativos no se tiene estimación de la magnitud del cardumen implicado. Después de un lance negativo puede que se vuelva o no a localizar el mismo cardumen y realizar inmediatamente otro lance. Si por segunda vez se realiza el lance en el cardumen, sería apropiado usar el tiempo de búsqueda anterior al lance negativo como el tiempo de búsqueda para localizar el cardumen, mientras que si el próximo lance se realiza sobre otro cardumen, el segundo tiempo de búsqueda es, claro está, apropiado. El sistema de bitácora no determina si el lance siguiente al lance negativo se realiza o no en el mismo cardumen; sin embargo, según tal evidencia como es el tiempo normal transcurrido después de un lance negativo antes del próximo, parece probable que la segunda situación sea la más común. Anónimo (1971) indicó que en años anteriores la razón de los lances positivos con relación a todos los lances fue aumentando con el tiempo al mejorar la eficacia de las embarcaciones. Con el fin de compensar ésto, se ajustó la captura por día normal de pesca al dividirla por la razón del lance positivo. Este ajuste es apropiado en el segundo caso. En este estudio se supuso que predominaba el segundo caso, así que se emplearon solo lances positivos y el tiempo de búsqueda anterior a los lances positivos. La definición del tiempo de búsqueda es el tiempo transcurrido en el que el cerquero puede haber estado buscando entre el final de un lance y el comienzo de otro. Como la pesca tiene lugar en las proximidades del ecuador, se supone que el tiempo de búsqueda se encuentra limitado de las 6:00 a.m. a las 6:00 p.m. (el sistema de los datos de bitácora no da las horas cuando se principia la búsqueda en la mañana o se termina en la noche). Si por ejemplo, se termina un lance a las 3:00 p.m. en un lunes y el próximo lance empieza a las 9:00 a.m. el miércoles, el tiempo calculado de búsqueda sería de 18 horas. Si se interrumpe el intervalo de la búsqueda por una avería o mal tiempo, los datos del próximo lance no se emplean y se comienza un nuevo intervalo de búsqueda después de que se termina el lance.

Se calcula el índice de captura de aleta amarilla por cada cerquero dentro de un estrato de mes y área de 5 grados, como la suma de la captura de aleta amarilla obtenida en ese estrato, dividida por las horas correspondientes de búsqueda (1 ecuación). Con el fin de emplear estos datos es necesario que se pueda disponer de todas las variables de estandarización requeridas. Para el barco éstas son la capacidad, antigüedad, velocidad y dimensión de la red y en cuanto al estrato de mes y área de 5 grados son el promedio de la temperatura de la superficie del mar y la velocidad del viento. Se supuso que un cerquero recibió ayuda aérea si se empleó por lo menos en un lance en el estrato. Debido a la manera en que se anota la ayuda aérea (si no se tiene ninguna información se presume que no ha habido ayuda aérea) es posible que se subestime su uso. La regla de las variables ambientales es mínima; es decir, en un estrato debe haber por lo menos un lance

en el que se calculó la temperatura de la superficie del mar y la velocidad del viento. Esto se hizo debido al gran número de casos en los que no se registró en los cuadernos de bitácora la temperatura superficial del mar y la velocidad del viento. Normalmente, se encontraron muchas de estas observaciones y se emplearon los promedios para distinguir el estrato. En la Tabla 3 se presenta un análisis de dos variables de la varianza para examinar si se puede usar el promedio de la temperatura del mar y la velocidad del viento para representar las diferencias de las condiciones ambientales entre los estratos. Esto indica que la variación entre los estratos es superior a la variación en los estratos, así que se pueden usar convenientemente el promedio de los valores para representar las diferentes condiciones entre los estratos. Sharp (1978) analizó las consecuencias de otras variables ambientales sobre la vulnerabilidad del aleta amarilla con relación a los cerqueros e indicó que en la pesca frente a la América Central en los primeros meses de 1973, hubo una marcada asociación entre el índice de captura del aleta amarilla y la profundidad de las isoterms de 15°C y 23°C. Desafortunadamente no se pueden obtener fácilmente los datos que dan los perfiles térmicos de toda la zona de pesca, así que no se usaron aquí esas variables. Sin embargo, los análisis preliminares al usar los datos de los estratos en los que se habían recolectado datos de batitermógrafos desechables en 1972-1976, indicaron que los promedios de la temperatura superficial del mar y de la profundidad de las dos isoterms se encontraban altamente correlacionados y que todos ellos tienen casi los mismos efectos sobre el índice de captura.

Modelo de estandarización

El modelo de estandarización usado se define como

$$\text{Índice de captura} = M + A_i + B_j + \dots + F_k$$

dónde M es la media y A_i, B_j, \dots, F_k son los factores que influyen en el índice de la captura. Por ejemplo, A_i puede ser el efecto del año i ésimo, B_j el efecto de la capacidad j ésima y así sucesivamente. El efecto de la abundancia del aleta amarilla en el año 2 con relación al año 1 es A_2 / A_1 , o la eficacia de los barcos de capacidad 2 con relación a aquellos de capacidad 1 es B_2 / B_1 . Los factores actualmente empleados se ubican en tres grupos, las características de los barcos, la moda de pesca y las variables ambientales. Las variables usadas en describir el barco y su faena eran la capacidad (menos de 500 toneladas americanas, 500-999 toneladas y 1000 o más toneladas), la velocidad del barco, antigüedad, extensión y altura de la red y si se pudo o no disponer de ayuda aérea durante un lance. La moda de pesca es una clasificación de los estratos de mes-área de 5 grados, como aquellos en los que se habían obtenido más de dos tercios de la captura de aleta amarilla y barrilete de cardúmenes asociados con delfines ("estratos de delfines"), aquellos en los que dos tercios o más se obtuvieron de peces asociados con objetos flotantes o cardúmenes de peces no asociados con delfines ("Estratos de cardúmenes y objetos flotantes"), o aquellos en los que no predominó ni el uno

ni el otro. Esta clasificación se dividió aún más para saber si la pesca había tenido lugar dentro o fuera del Area Reglamentaria de la Comisión del Aleta Amarilla (ARCAA) (Cole, 1980). Como algunas de las categorías creadas por la clasificación incluían solo una pocas observaciones, solamente se emplearon en el análisis las tres siguientes: estratos de delfines en el ARCAA, estratos de delfines fuera del ARCAA y estratos de cardúmenes y objetos flotantes en el ARCAA. En la Figura 12 se presenta la distribución de las clases de estrato de los cuatro primeros meses de 1975. Las variables ambientales empleadas fueron la velocidad del viento y la temperatura de la superficie del mar. El trabajo preliminar indicó que la velocidad del viento no tenía efecto en los vientos moderados (hasta 15 nudos) y hubo pocos datos para mayores velocidades del viento. Consecuentemente, no se empleó esta variable en los análisis siguientes. El modelo se clasificó por años y trimestres; los resultados del año estimado proveen los índices anuales de la abundancia y los trimestres se emplean para eliminar los resultados de los cambios estacionales en las proporciones de captura. Con el fin de eliminar los problemas de la mala condición ("ill conditioning") de la matriz del diseño asociada con el escalamiento o falta de centralización de las variables independientes, se transformaron las covariables para que tuvieran una media de cero y una desviación estándar de uno.

El índice observado de captura de un barco y en un estrato fue definido anteriormente como si fuera la cantidad total capturada de aleta amarilla en lances positivos en ese estrato, dividida por la suma de las horas de búsqueda que preceden inmediatamente aquellos lances (es decir, el tiempo de búsqueda desde el final del último lance omitiendo si fue o no positivo). Estos datos son , a la derecha, fuertemente asimétricos y además, la varianza tiende a incrementarse con la media. Con el fin de mejorar las propiedades estadísticas del análisis se buscó una transformación que eliminara la asimetría y la dependencia de la varianza en la media. Con este propósito se clasificaron los datos por año, tipo de estrato, capacidad y edad, y se probaron las transformaciones de la forma $\log(U + c)$. Se seleccionó $\log(U + 0.125)$ como la mejor transformación de aquellas examinadas porque dió la asimetría próxima a 0 y la curtosis próxima a 3 en la mayoría de las casillas de la clasificación. En las Figuras 13-21 se presenta la distribución de los datos transformados de cada variable de estandarización y en la Figura 22 se indican los errores estándar dentro de las casillas graficadas contra la media de las casillas que incluyen 20 o más observaciones. Las Figuras 13-21 presentan distribuciones observadas que son relativamente simétricas y en la Figura 22 no hay una dependencia evidente del error estándar sobre la media. Los histogramas en las Figuras 13 y 15 indican una bimodalidad uniforme en los datos de los cerqueros de pequeño porte y del estrato de tipo 1. Esta bimodalidad incluye una gran cantidad de observaciones con el índice transformado de captura de menos de -2 , que corresponde a un índice de captura de menos de 0.01 tonelada por hora. La mayoría o todas estas observaciones provienen de lances en los que se anotó que se había capturado barrilete pero no aleta amarilla. En la Figura 13, se destaca

1971, como un año anormal, proviniendo el 25% de todos los datos de lances en los que no se capturó aleta amarilla.

Sin la constante (0.125) la transformación logarítmica cambia el modelo multiplicativo a un modelo lineal aditivo, cuyos parámetros pueden estimarse usando el análisis de la varianza. Sin embargo, se empleó como modelo básico de estandarización, el modelo lineal, usando los datos transformados. La transformación invertida produjo entonces un modelo algo diferente al original multiplicativo como se indica en los resultados de la sección más adelante.

En la Tabla 4 se suman las variables de estandarización, en la que se indica si las variables fueron consideradas como covariables o variables de categorización y los grados asociados de libertad. Las medidas de la temperatura del mar calculan las consecuencias del ambiente en los índices de captura y se esperaba que tuvieran un efecto diferente a los de otras covariables que se relacionan esencialmente a la eficacia. Pareció probable que dentro de los límites examinados de la temperatura del mar hubiera un óptimo y para tomar esto en consideración se examinó el efecto de la temperatura del mar (al cuadrado y al cubo).

Aunque el modelo se emplea principalmente en la estimación de los parámetros, de los que no se necesita la normalidad, suponemos que el índice transformado de captura se distribuye casi normalmente y, por consiguiente, se pueden emplear los métodos estándar para estructurar los intervalos de confianza de las estimaciones de los parámetros.

RESULTADOS

Estimación de los parámetros

El modelo, incluso todos los efectos principales, las interacciones de primer orden y las covariables, tienen más de 100 grados de libertad y es probable que algunas de estas variables independientes sean redundantes o innecesarias. Al ajustar un modelo que ha sido determinado en exceso, como es éste, mediante mínimos cuadrados conduce a problemas, debido a correlaciones entre las variables y se desea ajustar un modelo con menos variables empleando un procedimiento en la selección de variables (Hocking, 1976). El proceso de la selección del modelo puede ya sea repetirse cada vez que se agregan nuevos datos o de otro modo puede escogerse un modelo y usarlo para estimar solamente nuevos parámetros cada vez que se agregan datos de un nuevo año. Las investigaciones preliminares indican que los resultados más importantes (los índices anuales de captura estandarizados, los mínimos cuadrados residuales y las estimaciones de los parámetros con los mayores efectos) fueron relativamente insensibles a tales cambios como la selección de los modelos usando una subserie de datos en todos los años o ya sea o no que se incluyeran en el modelo dos o tres de las variables menos significativas. Con esto en mente, la selección del modelo se hizo usando un procedimiento modificado adelantado o atrasado de la selección de las variables con datos de 1970 a 1980.

Se emplean normalmente los métodos de la selección de las variables en situaciones de regresión en las que cada variable tiene un solo grado de libertad y puede juzgarse independientemente de las otras. En el caso en que haya covariables, variables clasificadas e interacciones, se necesitan algunas modificaciones en el procedimiento común. El método de selección usado aquí incluye variables en el orden indicado en la Tabla 5. Como el propósito de este estudio es estimar los índices estandarizados de captura por la moda de pesca, se inició la selección del modelo al examinar un modelo que incluye los resultados del año, tipo de estrato y su interacción.

Se continuó luego la construcción del modelo al agregarle los efectos principales o covariables hasta que no se obtuvo un mejoramiento significativo. En cada etapa la variable agregada era la que tenía la mayor probabilidad nominal asociada con el estadístico F de introducción (" F -to-enter statistic"). Con el gran número de observaciones en la serie de datos las pruebas de F fueron muy sensibles a los pequeños efectos y consecuentemente se empleó un criterio relativamente estricto al entrar solo variables cuyas estadísticas de F estaban asociadas con una probabilidad inferior a 0.001. Se examinaron en cada etapa las variables del modelo con la intención de eliminar cualquiera que tuviera valores de F asociados con probabilidades inferiores a 0.01. No se eliminaron variables usando esta norma. Esta etapa en el proceso de la selección terminó en la etapa 8 de la Tabla 5 y produjo un modelo en el que se incluían todos los efectos principales y las covariables excepto la capacidad y la edad.

La etapa siguiente fue examinar las interacciones de primer orden. El tipo de estrato es la variable que con más probabilidad tiene interacciones importantes con otras y solamente se examinaron detalladamente sus interacciones. Estas interacciones son potencialmente importantes por diferentes razones. La pesca de atún asociada con delfines tiende a incluir intervalos más prolongados de búsqueda precedentes a los lances que los cardúmenes de peces no asociados con delfines, lo que indica que los cerqueros más grandes y veloces y aquellos con ayuda aérea pueden relativamente tener más éxito al pescar atunes asociados con delfines que cardúmenes no asociados. La proporción de todos los lances que son positivos es superior en lances sobre delfines que en lances no asociados con delfines, debido al comportamiento ya sea de los peces o de los delfines y peces juntos. Esto indica que pueden ser importantes las interacciones entre los tipos de estrato y las variables que puedan relacionarse al éxito de un lance, como son la temperatura de la superficie del mar y las dimensiones de la red. Por otra parte, no hay ninguna razón en esperar que sean importantes las interacciones entre otras variables, como son la capacidad y la ayuda aérea.

Las interacciones de dos variables se incluyeron en el modelo solo cuando los efectos principales se encontraban presentes. Cuando se consideraron las interacciones con la capacidad y la edad, que no se habían incluido en la primera etapa, se experimentó en conjunto el efecto principal y su interacción con el tipo de estrato. Se obtuvieron las interacciones del tipo del estrato con las covariables, ajustando las covariables separadamente en cada tipo de estrato, así que el

despliegue de la interacción en la Tabla 5 corresponde a la prueba normal de las pendientes comunes en el análisis de la covarianza. Los términos agregados durante esta etapa fueron la capacidad, la interacción capacidad-tipo de estrato y la interacción trimestre-tipo de estrato. Se observó durante esta etapa que cuando se ajustaba la altura de la red en el tipo de estrato no se producía esencialmente ningún efecto en los dos tipos de estratos asociados con delfines y relativamente un gran efecto en los estratos de objetos flotantes y cardúmenes no asociados con delfines. Después de esto, el efecto de la altura de la red se ajustó solamente en los estratos de objetos flotantes y de cardúmenes no asociados con delfines, encontrándose que esto era un mejoramiento sobre el ajuste de todos los tipos de estrato.

La etapa final en la selección del modelo fue examinar el efecto de las interacciones entre los años y las otras variables para asegurar que los índices estandarizados de la captura anual son únicos. Las estadísticas de F y los grados de libertad de estas interacciones se presentan en la Tabla 6. No se probó el efecto de las interacciones entre los años y los trimestres, debido a que la adición de este término al modelo, significaría solo que las estimaciones de la abundancia se harían para cada período de tres meses en lugar de cada año, un refinamiento que no se necesita en este estudio.

Tres de las seis interacciones (temperatura de la superficie del mar, ayuda aérea y capacidad) indicadas en la Tabla 6 según los años, tienen valores de F asociados con una probabilidad inferior a 0.001 y, por consiguiente, se incluirían en el modelo bajo las normas de la selección usadas anteriormente. Sin embargo, en cada caso los valores de F son mucho más pequeños que aquellos asociados con los efectos principales o en el caso de la capacidad, con el efecto combinado de la capacidad y de la interacción tipo de estrato-capacidad. La Tabla 7 presenta los parámetros estimados de cada una de las interacciones que son significativas con los años. Esto indica que para las dos variables con las razones más grandes de F , las principales anomalías de los efectos en los años ocurrieron en 1971 y 1972. Se complica la interpretación de la interacción año-capacidad por las interacciones del tipo de estrato-capacidad y tipo de estrato-año. Al considerar estos puntos se pensó generalmente que las interacciones del año no eran lo suficientemente importantes para anular el proceso de estandarización. Sin embargo, las estimaciones de los índices estandarizados de captura en 1971 y 1972, se deben tratar con precaución.

En la Figura 23 se indica la distribución de los residuales graficados contra los valores pronosticados del modelo. Las medianas en la mayoría de los casos se encuentran próximas a cero pero en promedio son superiores a cero, lo que indica que queda alguna asimetría en los datos. La varianza conforme se presenta por la amplitud intercuartílica es bastante estable. La posición de las casillas segunda y tercera indican que el modelo no se ajusta bien a los valores bajos pronosticados, sin embargo, hay pocos datos de esa región.

Los efectos de los términos seleccionados mediante este procedimiento se presentan en el análisis de la varianza expuesto en la Tabla 8. Las estimaciones

de los parámetros y los errores estándar se presentan en la Tabla 9. Con referencia a los factores de clasificación solo se pueden hacer las estimaciones dentro de una restricción arbitraria. La restricción usada aquí es que la suma de los efectos de cada factor sea cero, así que no se proporcionan las estimaciones por el nivel más elevado de cada factor que es menos la suma del resto. No se pueden estimar únicamente los efectos debidos a las interacciones. Por ejemplo, no hay un efecto único debido a la capacidad, ya que el efecto relativo de cualquier capacidad es distinto para cada tipo diferente de cardumen.

Los efectos de cada parámetro en los datos sin transformar se obtienen al emplear lo contrario de la transformación usada para eliminar la asimetría de los datos. El índice ajustado de captura puede escribirse como

$$Y_{ijklmabcd} = M + A_i + B_j + D_k + E_l + F_m + (AB)_{ij} + (DB)_{kj} + (EB)_{lj} \\ + Va + W_1b + W_2b^2 + W_3b^3 + Xc + Zd$$

donde $Y = \log(U + 0.125)$,
 $U = C / T$ de cada cerquero en un estrato de zona-tiempo,
 M es la media general del índice de captura transformado,
 A_i es el efecto del año i ,
 B_j es el efecto del tipo de estrato j ,
 D_k es el efecto del grupo de capacidad k ,
 E_l es el efecto del trimestre l del año,
 F_m es el efecto de si se recibió o no ayuda aérea,
 V es el coeficiente de regresión de la velocidad a ,
 W_i son los coeficientes de regresión de la temperatura de la superficie del mar b , elevada a la potencia i ,
 X es el coeficiente de regresión de la longitud c de la red, y
 Z es el coeficiente de regresión de la variable d , que es la altura de la red en el estrato 1 o de lo contrario 0.

Se obtiene el efecto de una variable cuando se mantienen todas las demás constantes, mediante substracción. Al hacer ésto es conveniente volver a definir la restricción en tal forma que el primer nivel de cada factor es cero. Por ejemplo, el efecto de la ayuda aérea se produce mediante

$Y_{ijkl2abcd} - Y_{ijkl1abcd} = F_2 - F_1 = F_2$, como F_1 es ahora por definición cero; es decir,

$$\frac{U_{ijkl2abcd} + 0.125}{U_{ijkl1abcd} + 0.125} = \exp F_2, \text{ o}$$

$$\frac{U_{ijkl2abcd}}{U_{ijkl1abcd}} = \exp F_2 + \frac{0.125 (\exp F_2 - 1)}{U_{ijkl1abcd}}. \quad (2)$$

La magnitud de F_2 y otros parámetros estimados es del orden de 0.1, mientras que la media del índice de captura es de 1 tonelada por hora.

Así que el término $\frac{0.125 (\exp F_2 - 1)}{U_{ijkl1abcd}}$ es pequeño en comparación a $\exp F_2$

y se calculó al reemplazar $U_{ijkl1abcd}$ por

$$\exp \left(\sum_{ijkl} \frac{Y_{ijkl1abcd}}{N \dots 1} \right) - 0.125$$

en dónde la anotación ... implica el agregado sobre los índices correspondientes.

Se emplea una transformación similar para el efecto de los años, la capacidad y los trimestres, todos en un tipo de estrato particular. En el caso de los años

$$Y_{ijklmabcd} - Y_{1ijklmabcd} = A_i - A_1 + (AB)_{ij} - (AB)_{1j} = A_i + (AB)_{ij}.$$

Los efectos de las covariables que aparecen como términos lineales, por ejemplo, la altura de la red, se producen mediante

$$Y_{ijklmabcd} - Y_{ijklmabcd'} = Z(d - d').$$

Un punto de referencia conveniente de estas covariables es la media, que es 0 en las unidades clasificadas. El efecto entonces es

$$\frac{U_{ijklmabc1}}{U_{ijklmabc0}} = \exp Z(d) + \frac{0.125 [\exp Z(d) - 1]}{U_{ijklmabc0}}$$

en donde $U_{ijklmabc0}$ en el segundo término es reemplazado por $\exp (\bar{Y} - 0.125)$, e \bar{Y} es la media geométrica del índice de captura.

Para calcular los efectos de la temperatura superficial del mar, es necesario permitir los efectos de la clasificación y la centralización de cada término. Esto proporciona al cubo

$$g(b) = 0.0005957b^3 - 0.13488b^2 + 10.109b - 250.57$$

Esta función tiene un máximo de 0.49 a 69°F y es relativamente plana entre 78° y 84°F. Esto refleja el patrón indicado en la Figura 19 y está de acuerdo con la observación de que la pesca tiene frecuentemente mucho éxito en los frentes oceánicos. Se obtienen los efectos de las temperaturas de la superficie del mar sobre los índices de captura en la misma forma que los de otras covariables al reemplazar los términos exponenciales por

$$\exp [g(b) - g(\bar{b})], \text{ donde } b \text{ es el promedio de la temperatura del mar.}$$

Debe observarse que el uso de las estimaciones comparativas elimina el sesgo que

se asocia cuando se hacen las estimaciones con datos transformados (Laurent, 1963).

Los efectos sobre el índice de captura de cada variable se presentan en la Tabla 10. Los efectos de las variables que se encuentran implicadas en las interacciones con el tipo de estrato se presentan en cada tipo de estrato. No se ha estructurado la tabla para hacer comparaciones entre los tipos de estrato de estas variables. Así que en el tipo de estrato 1 (estratos de cardúmenes no asociados con delfines y de objetos flotantes en el ARCAA), la pesca es más positiva en el tercer trimestre del año y menos positiva en el primer trimestre. En el tipo de estrato 2 (estratos con delfines en el ARCAA) la pesca es más positiva en el cuarto trimestre y en el primero, mientras que en el tipo de estrato 3 (estratos con delfines fuera del ARCAA) la pesca es menos positiva en el cuarto trimestre. Los cerqueros de pequeño porte tienen más éxito que los de gran porte, en el tipo de estrato 1, pero menos éxito que los grandes cerqueros en el tipo de estrato 2. Esto refleja probablemente la especialización de los cerqueros de pequeño porte de realizar lances en cardúmenes de peces no asociados con delfines o sobre objetos flotantes.

El efecto de la ayuda aérea es relativamente grande, siendo los índices de captura 28% superiores cuando se usa que cuando no se emplea. Se indicó anteriormente que no siempre se anota la ayuda aérea, así que debe tenerse cuidado al atribuir de una manera casual este efecto a la ayuda aérea. El efecto de la velocidad es incrementar los índices de captura aproximadamente en un 9% al aumentar la velocidad por 1 nudo. Como el promedio de la velocidad fue justamente más de 13 nudos, el incremento relativo en el índice de captura corresponde estrechamente al incremento relativo en la velocidad, así que el índice de captura es aproximadamente proporcional al índice de búsqueda. Como los efectos de las temperaturas de la superficie del mar no son secuenciales se exhiben en una tabla donde se indica que los índices más elevados de captura fueron obtenidos en aguas con temperaturas de 68-72°F y no en aguas con temperaturas de 78-84°F, en donde la mayor parte de la pesca tuvo actualmente lugar. Como con todos los efectos estimados, no se debe interpretar que ésto significa que los índices elevados de captura se obtendrán generalmente en aguas más frías, ya que es probable que en las zonas pescadas, las temperaturas más frías estuvieran asociadas con otras características, por ejemplo los frentes oceánicos, que fueron la causa principal de los índices más elevados de captura.

Hay un aumento del 5% en el índice de captura al aumentarse la longitud de la red en 100 brazas o sea el 16% del promedio de la longitud de la red. Así que los cambios en la longitud de la red tienen un efecto relativamente más pequeño que los cambios en la velocidad. Es difícil de explicar el efecto negativo que tiene el incremento de la altura de la red sobre el índice de captura en la pesca de cardúmenes de peces no asociados con delfines. El efecto que tiene la altura de la red en los modelos en los que es la única variable positivamente correlacionada con el tamaño del cerquero se asocia con el aumento de los índices de captura. Sin embargo, después de la primera etapa del procedimiento de selección en donde se agregó la velocidad, la altura de la red tuvo un efecto consistentemente negativo

en los índices de captura. Después de incluir en el modelo la longitud de la red, fue más fuerte el efecto negativo de la altura de la red. Esto indica que no se puede explicar sencillamente el efecto por una relación entre un aumento general en el tamaño de los cerqueros y las artes de pesca, durante un período de reducción de los índices de captura. Si existiera tal relación y no pudiera explicarse completamente por los resultados del año, debería haberse descubierto por otras variables relacionadas de tamaño como es la capacidad o la longitud de la red. Esto significa que las redes con más altura son relativamente más eficaces en lances sobre delfines que en lances sobre cardúmenes de peces no asociados con delfines. Esto puede tal vez explicarse al suponer que las profundidades a las que se sumergen los delfines para escapar la captura se encuentran en los límites de las profundidades de pesca de las redes, así que al darles más altura a las redes, puede que éstas sean más eficaces en capturar delfines y los atunes asociados con éstos, pero puede que los atunes que no se encuentran asociados con delfines se sumerjan a mayores o menores profundidades de donde están todas las redes. Esta explicación sin embargo, no describe, el efecto negativo que tiene el aumento de la altura de la red en lances sobre peces no asociados con delfines.

Estimaciones de la abundancia

En la Figura 24 se presentan las estimaciones (según el modelo lineal) de la abundancia de los tres tipos de estratos, junto con la correspondiente captura por día de pesca (CPDP) de los cerqueros con capacidades de más de 400 toneladas. En cada recuadro se grafican las dos series para que coincidan las medias. Las estimaciones de la abundancia del modelo lineal presentan generalmente desde 1970, un patrón de reducción de los índices de captura. Esta merma es mayor en los tipos de estratos del ARCAA, en donde los índices de 1980, son una tercera o una cuarta parte de los de 1970, mientras que la reducción fuera del ARCAA ha sido aproximadamente tres cuartas partes de la de los índices de 1970. Los intervalos de confianza son grandes, si se considera la cantidad de muestras incluidas y reflejan el hecho que las diferencias en los índices de captura causados por los cambios en la abundancia son pequeñas comparadas con las fluctuaciones aleatorias. El gran descenso en 1971, en el índice de los estratos de los cardúmenes no asociados con delfines y asociados con objetos flotantes y la restauración consecutiva en 1972, es un cambio demasiado grande para que se deba solamente a los cambios en la abundancia. Es además mucho mayor que el resultado de la interacción entre los años y la temperatura de la superficie del mar, y entre los años y la ayuda aérea indicada anteriormente. El año de 1971, fue extraordinario para el barrilete en el ARCAA, siendo las capturas más del doble que las de los años precedentes y subsiguientes. Es muy posible que en ese año se aplicó más esfuerzo hacia el barrilete que al aleta amarilla o que el aleta amarilla se desplazó de las zonas habituales de pesca, lo que dio como resultado un índice inferior de captura de aleta amarilla. La captura por día de pesca se calcula sin distinguir entre las modas de pesca, así que solo hay una serie de CPDP en el ARCAA y una fuera de la misma. La mayor parte de la pesca fuera del ARCAA ha sido de aleta amarilla asociado con delfines. Por consiguiente, en esta zona la CPDP

debe ser comparable a la estimación del modelo lineal del tipo de estrato 3. Sin embargo, en el ARCAA la CPDP es una mezcla de las dos modas de pesca y podría esperarse que fuera entre las estimaciones del modelo lineal de los tipos de estratos 1 y 2. Por consiguiente, en 1971, la CPDP fue superior al índice del modelo lineal del tipo de estrato 1 pero inferior al índice del tipo de estrato 2. El índice bajo de captura en la pesca de cardúmenes no asociados con delfines afectó la CPDP, pero no la estimación basada en la pesca sobre delfines.

DISCUSION

En el período del que se tienen estadísticas detalladas de la captura y el esfuerzo de la pesca de atún aleta amarilla y barrilete en el Pacífico oriental, han ocurrido grandes cambios en las técnicas y las artes empleadas de pesca. Se han usado los índices de captura como estimaciones de la abundancia de la población y para que fueran comparables con relación al tiempo se han concebido varias técnicas para estandarizar ya sea el esfuerzo de pesca o el índice de captura. El método principal que se usa ahora es una modificación del de Shimada y Schaefer (1956).

Se ha proyectado esta técnica con el fin de realizar una clasificación unilateral de la flota pesquera en términos de la eficacia de las diferentes embarcaciones e incluye esencialmente calcular los índices relativos de captura de las embarcaciones en diferentes elementos de la clasificación. No se ha aún desarrollado estadísticamente bien el método; por ejemplo, no provee estimaciones de precisión como son los intervalos de confianza y no se conoce cómo ha de ampliarse para obtener clasificaciones múltiples ni que hacer cuando hacen falta observaciones. A causa de estas deficiencias el método empleado en este estudio para estandarizar los índices de captura se basó en el análisis de los mínimos cuadrados de los modelos lineales.

Un gran problema que se presenta al usar los índices de captura como estimaciones de la abundancia proviene de cualquier relación que pueda haber entre la distribución del esfuerzo correspondiente a la densidad de los peces. Para obtener resultados insesgados en un reconocimiento sencillo sin estratificar, es necesario que la distribución del esfuerzo sea independiente de la densidad de los peces. Cuando los datos usados son de una pesca comercial no es probable que se cumpla esta condición, ya que los pescadores tratan de distribuir el esfuerzo para obtener el máximo de ganancia, lo que significa que el esfuerzo depende de la densidad. Otro método es estratificar toda la zona de pesca y agregar las estimaciones de la abundancia de los estratos. Si se estima la abundancia usando el método apropiado de cálculo de uno de los métodos anteriores en los que no se obtienen apropiadamente los datos, los resultados serán probablemente sesgados. Este problema se ve más sencillamente al considerar las zonas en las que no hay esfuerzo. En el caso en que las embarcaciones se concentren en zonas de gran densidad y eviten las zonas de poca densidad, si se emplea el primer método al estimar la abundancia, ésto conducirá a sesgos ascendentes. Por otra parte si el esfuerzo es independiente de la densidad, es posible que las zonas con grandes densidades

no tengan ningún esfuerzo y en este caso cuando se emplea el segundo método se obtendrán subestimaciones de la abundancia. El método usado en este estudio se ubica en cierta forma entre los dos. La zona de pesca se encuentra estratificada y se calcula para cada cerquero el promedio del índice de captura en los estratos. Sin embargo, cada embarcación se considera separadamente y las observaciones tienden a ocurrir con más frecuencia en los estratos con densidades elevadas que aquellos con baja densidad. Además, se hacen las estimaciones esencialmente como promedios, así que las zonas a las que no se les ha aplicado esfuerzo (que tienen probablemente poca densidad) no contribuyen al índice estandarizado de captura.

En este estudio se supuso que el aleta amarilla y el barrilete se encuentran independientemente y que el único resultado que tiene el índice de la captura del barrilete sobre el índice del aleta amarilla es el de la saturación de las artes. Es decir, en términos de una medida como es la CPDP, el índice de captura del aleta amarilla sería superior si los cerqueros no calaran sus redes en cardúmenes que contienen predominantemente barrilete. El método mediante el cuál se definen los índices de captura usados aquí, evita el problema de la saturación. Sin embargo, según los resultados de 1971, es evidente que otro efecto puede ser serio; en las épocas en que el barrilete es abundante, puede que los pescadores dejen de pescar aleta amarilla para pescar barrilete. Esta es una situación en la que un índice basado en el total del promedio de los índices de captura en un estrato sería mejor que un índice agregado. Esto hace surgir la pregunta de si en 1971, el índice bajo de la captura de aleta amarilla en los estratos de cardúmenes no asociados con delfines y en los cardúmenes de objetos flotantes, fue un suceso único o si la reducción del índice en la década puede atribuirse hasta cierto punto a un aumento en las capturas de barrilete. Puede obtenerse una contestación parcial a esta pregunta al observar los índices de captura en los estratos de delfines en el ARCAA, que están generalmente fuera de las zonas principales de pesca del barrilete. La estimación de 1971, no indicó la gran reducción que se atribuyó en los estratos de los cardúmenes no asociados con delfines al efecto de la disponibilidad del barrilete. Sin embargo, en todo el período estudiado el índice se redujo en los estratos de delfines aproximadamente en la misma forma que el índice de los estratos de cardúmenes no asociados con delfines, lo que indica en ambos casos que la población del aleta amarilla se había realmente reducido.

Una de las razones por las que se clasifican los estratos por la moda de pesca es que había diferencias en los índices de captura del aleta amarilla pescado en asociación con delfines y aquellos que no se encontraban asociados con delfines. Así que si no se considera la moda de pesca, los índices de captura dependerán en la frecuencia relativa de las modas. Al hacer la separación existe el problema de cómo usar las estimaciones de la abundancia de dos o más componentes de la población. El índice sencillo de la CPDP se emplea fácilmente en un modelo de producción, pero no está claro cómo se debe proceder cuando hay dos índices. El aleta amarilla que no se asocia con delfines tiende a ser más pequeño y más uniforme en talla que el aleta amarilla asociado con delfines. Así, que aunque ex-

iste algún traslapo, se pueden considerar las dos modas de pesca como una explotación de los diferentes grupos de edad de una población. Con este modelo, se podrían combinar los dos índices como un total ponderado y usarlo en un modelo de producción o se podrían emplear como datos para un modelo con dos grupos de edad.

La reducción de los índices de captura durante la década, ha sido algo inferior para el aleta amarilla asociado con delfines que para el aleta amarilla asociado con objetos flotantes o no asociado con delfines. Como el aleta amarilla asociado con delfines es más grande que los otros, ésto es contrario a lo que se esperaría si las modas de pesca representan en realidad diferentes grupos de edad de la misma población.

Las técnicas de estandarización empleadas anteriormente se referían en su mayoría a los resultados de la capacidad de acarreo como una medida de la eficacia de las embarcaciones, mientras que en este estudio se consideraron 11 variables (excluyendo las interacciones). Naturalmente, surge la pregunta de cuánto más eficaces son las otras variables en la estandarización. Se recibe una contestación a ésto al comparar la cantidad de la variación en los índices de captura que se explica mediante un modelo que usa solamente la capacidad como la variable de estandarización y el modelo aquí seleccionado. Cuando se ajustaron solo los años y la capacidad el 7.5% de la variación del índice de la captura fue explicada por el modelo, mientras que en el modelo seleccionado se explicó el 12.7%. De manera que según esta medida cuando se ajustan todos los parámetros viene a ser casi el doble de eficaz que cuando se ajusta la capacidad como la única variable estandarizada. En la tabla final del análisis de la varianza, la capacidad tiene un efecto más bien pequeño y fue la segunda con relación a la última variable seleccionada. Esta poca importancia no fue consistente con la observación de que la capacidad en sí puede explicar la mitad de toda la variabilidad descrita por el modelo. La razón de ésto es que existen varias variables altamente correlacionadas que calculan algo relativo a la dimensión del barco. Cuando la capacidad es la única de éstas en el modelo, se asocia con los efectos que están relacionados a algunos aspectos del tamaño del barco pero que se relacionan aún más estrechamente con la velocidad del barco y las dimensiones de la red que con la capacidad.

No se habían incorporado previamente los efectos de las variables ambientales en los estudios de los índices generales de captura del aleta amarilla. Al usar las variables tal como la temperatura superficial del mar como variables de estandarización, es necesario suponer que los cambios en la temperatura de la superficie del mar se asocian con los cambios en la capturabilidad de los peces que se encuentran presentes sin considerar la temperatura. Esto, naturalmente, puede ser verdad solo dentro de ciertos límites ya que existe una fluctuación limitada de las temperaturas superficiales del mar en las que se puede capturar el aleta amarilla. Otros casos en los que puede existir una asociación del índice de captura y de la temperatura superficial del mar que no se deben usar en la estandarización son casos en los que la magnitud en sí de la población se relaciona con la temperatura superficial del mar mediante el crecimiento o el desplazamiento pro-

veniente de una zona que se incluye en el estudio. A causa del corto plazo de tiempo en el que ocurren estos cambios de temperatura, no es probable que ocurran estos casos opcionales y parece que sea apropiada la estandarización de la temperatura superficial del mar. La temperatura de la superficie del mar no es necesariamente el factor más importante de las causas que influyen en el comportamiento de los atunes, pero se correlaciona estrechamente con otras como el perfil térmico oceánico y como tal, sirve como una variable correlacionada con la pesca positiva.

Es digna de mención en este análisis la contribución relativamente grande del error y la pequeña contribución del modelo correspondiente a la suma total de los cuadrados. En un experimento designado para que sea examinado, usando el análisis de la varianza, el experimentador esperaría normalmente que una gran parte de la suma total de los cuadrados sea explicada por el modelo. Si se explicara solamente el 10% de la variación, no se hubiera orientado el experimento hacia la fuente más importante de la variabilidad y apenas se considerarían los efectos de esta magnitud del modelo como si suministraran pruebas significativas de cualquier cosa de interés. Sin embargo, los datos obtenidos según las embarcaciones comerciales de pesca son la antítesis de los datos recolectados en un experimento proyectado. En un estudio de los índices de captura no queda otra alternativa que buscar solo los pequeños resultados que se encuentran casi todos escondidos entre la información básica de gran variabilidad.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Allen R. L. 1981. Dolphins and the purse-seine fishery for yellowfin tuna. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Int. Rep., 16: 23 pp.
- Anonymous. 1971. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1970 (in English and Spanish): 127 pp.
- Anonymous. 1982. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1980 (in English and Spanish): 294 pp.
- Baranov, T. I. 1918. On the question of the biological basis of fisheries. Nauch.isseldov.iktiol. Inst. Izv. 1(1): 81-128.
- Bayliff, W. H. 1971. Estimates of the rates of mortality of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean derived from tagging experiments (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 15(4): 379-436.
- Beverton, R. J. H. and S. J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. UK: Fish. Inv., Ser. 2, 19: 533 pp.
- Bishop, Y. H. M, S. E. Fienberg, and P. U. Holland. 1975. Discrete Multivariate Analysis. MIT Press. Cambridge, Mass. : 557 pp.
- Broadhead, G. C. 1962. Recent changes in the efficiency of vessels fishing for yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean(in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(7): 281-332.
- Bunker, J. P., W. H. Forrest, F. Mosteller, and L. D. Vandam. (editors). 1969. The National Halothane Study. A study of the possible association between halothene anesthesia and postoperative hepatic necrosis. Natl. Inst. of Health, Natl. Inst. of General Medical Sciences, Bethesda, Md. : 418 pp.
- Calkins, T. P. 1961. Measures of population density and concentration of fishing effort for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1959 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(3): 69-152.
- Calkins, T. P. 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 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 8(5): 255-316.
- Campos Rosado, J. M. 1971. Long-term changes in abundance of yellowfin and skipjack off the coast of Angola. J. Cons.int. Explor. Mer, 34(1): 65-75.
- Clark, C. W. and M. Mangel. 1979. Aggregation and fishery dynamics: a theoretical study of schooling and the purse seine tuna fisheries. US NMFS, Fishery Bull., 77(2): 317-337.

- Cole, J. S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Special Rep., 2: 71-150.
- Davidoff, E. B. 1963. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 8(4): 199-251.
- Davidoff, E. B. 1965. Estimation of year class abundance and mortality of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific (in English and Spanish) Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 10(6): 353-393.
- Davidoff, E. B. 1969. Variations in year-class strength and estimates of the catchability coefficient of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 14(1): 1-44.
- Francis, R. C. 1974a. TUNPOP, a computer simulation model of the yellowfin tuna population and the surface tuna fishery of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 16(3): 233-279.
- Francis, R. C. 1974b. Effects of fishing modes on estimates of fishing power, relative abundance and surplus production in the eastern Pacific yellowfin fishery. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap, 3: 194-211.
- Francis, R. C. 1977. TUNPOP: a simulation of the dynamics and structure of the yellowfin tuna stock and surface fishery of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 17(4): 213-269.
- Green, R. C., W. F. Perrin, and B. P. Petrich. 1972. The American tuna purse seine fishery. In Kristjonsson, H. (editor). Modern Fishing Gear of the World. Fishing News (Books) Ltd., London: 264-273.
- Greenblatt, P. R. 1979. Association of tuna with flotsam in the eastern tropical Pacific. US NMFS, Fish. Bull., 77(1): 147-155.
- Griffiths, R. C. 1960. A study of measures of population density and of concentration of fishing effort in the fishery for yellowfin tuna, *Neothunnus macropterus*, in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951 to 1956 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 4(3): 39-136.
- Gulland, J. A. 1955. Estimation of growth and mortality in commercial fish populations. UK: Fish. Invest., Ser. 2, 18(9) 46 pp.
- Gulland, J. A. 1956. On the fishing effort in English demersal fisheries. UK: Fish. Invest., Ser. 2, 20(5): 41 pp.
- Gulland, J. A. 1968. Report on the population dynamics of the Peruvian anchoveta. FAO, Fish. Tech. Paper, 72: 29 pp.

- Gulland, J. A. 1974. Catch per unit of effort as a measure of abundance. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll Vol. Sci. Pap., 3: 1-5.
- Hammond, P. S. 1981. Some problems in estimating the density populations in the eastern tropical Pacific using data collected aboard tuna purse-seiners. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Int. Rep., 15: 40 pp.
- Hennemuth, R. C. 1961. Year class abundance, mortality and yield-per-recruit of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(1): 1-52.
- Hocking, R. R. 1976. The analysis and selection of variables in linear regression. Biometrics 32(1): 1-49.
- Houghton R. G. 1977. The fishing power of trawlers in the western English Channel between 1965 and 1968. J. Cons.int. Explor. Mer, 37(2): 130-136.
- Joseph, J. J., and T. P. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 13(1): 1-273.
- Ketchen, K. S. 1964. Measures of abundance from fisheries for more than one species. Rapp. Proc. Verb. Reun. Cons.int. Explor. Mer., 155: 113- 116.
- Kurita, S., S. Tanaka, and M. Mogi. 1973. Abundance index and dynamics of the saury population in the Pacific Ocean off Northern Japan. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 39(1): 7-16.
- Laurent, A. G. 1963. Lognormal distribution and the translation method: description and estimation problems. J. Amer. Stat. Assoc. 58(1): 231-235.
- Martin, J. W. 1962. Distribution of catch-per-unit-of-effort and fishing effort for tuna in the eastern tropical Pacific Ocean by months of the year, 1951-1960 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(5): 179-229.
- McNeely, R. L. 1961. The purse seine revolution in tuna fishing. Pacific Fisherman, 59(7): 26-58.
- Murphy, G. I. 1966. Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). Proc. Cal. Acad. Sci., 4th Series, 34(1): 1-84.
- Murphy, G. I. 1977. Clupeoids. In Gulland, J. A., (editor). Fish Population Dynamics. John Wiley and Sons: 283-308.
- Orbach, M. K. 1977. Hunters, Seamen, and Entrepreneurs. The Tuna Seine-men of San Diego. Univ. California press. Berkeley and Los Angeles, California: 304 pp.
- Paloheimo, J. E., and L. M. Dickie, 1964. Abundance and fishing success. Rapp. Proc. Verb. Reun. Cons.int. Explor. Mer, 155: 152-63.
- Pella, J. J. 1969. A stochastic model for purse seining in a two-species fishery. J. Theoretical Biol., 22(2): 209-226.

- Pella, J. J., and P. K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13(3): 419-496.
- Pella, J. J., and C. T. Psaropulos. 1975. Measures of tuna abundance from purse-seine operations in the eastern Pacific Ocean adjusted for fleet-wide evolution of increased fishing power, 1960-1971 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 16(4): 281-400.
- Pope, J. A. (editor). 1975. Measurement of fishing effort. *Rapp. Proc. Verb. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 168: 102 pp.
- Robson, D. S. 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *Research Bull., Inter. Comm. NW-Atl. Fish.*, 3: 5-14.
- Rothschild, B. J. 1967. Competition for gear in a multiple-species fishery. *J. Cons.int. Explor. Mer.*, 31(1): 102-110.
- Rothschild, B. J. 1977. Fishing effort. *In* Gulland, J. A. (editor). *Fish Population Dynamics*. John Wiley and Sons: 96-115.
- Russell, E. S. 1931. Some theoretical considerations on the "overfishing" problem. *J. Cons.int. Explor. Mer.*, 6(1): 3-27.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 2(6): 245-285.
- Schaefer, M. B. 1967. Fishing dynamics and present status of the yellowfin tuna population of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 12(3): 87-136.
- Sharp, G. D. 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. *In* Sharp, G. D., and A. E. Dizon (editors). *The Physiological Ecology of Tunas*. Acad. Press: 397-449.
- Shimada, B. M., and M. B. Schaefer. 1956. A study of changes in fishing effort, abundance, and yield for yellowfin and skipjack tuna in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 1(7): 351-469.
- Stern, H. and R. C. Hennemuth. 1975. A two-way model for estimating standardized fishing effort applied to the U. S. haddock fleet. *Rapp. Proc. Verb. Reun. Cons.int. Explor. Mer.*, 168: 44-49.
- Uchida, R. N. 1976. Reevaluation of fishing effort and apparent abundance in the Hawaiian fishery for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, 1948-70. *US NMFS, Fish. Bull.*, 74(1): 59-69.
- Ulltang, O. 1976. Catch per unit effort in the Norwegian purse seine fishery for Atlanto-Scandian (Norwegian spring spawning) herring. *FAO, Fish. Tech. Paper*, 155: 91-101.