

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin—Boletín

Vol. 20, No. 6

**LENGTH-FREQUENCY ESTIMATION FOR YELLOWFIN TUNA
(*THUNNUS ALBACARES*) CAUGHT BY COMMERCIAL FISHING GEAR
IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN**

**ESTIMACION DE LAS FRECUENCIAS DE TALLA DE ATUN ALETA
AMARILLA (*THUNNUS ALBACARES*) CAPTURADO POR ARTES
COMERCIALES EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by—por

Patrick K. Tomlinson, Sachiko Tsuji, and—y Thomas P. Calkins

La Jolla, California

1992

CONTENTS – INDICE

ENGLISH VERSION – VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT	359
INTRODUCTION	359
DESCRIPTION OF THE FISHERIES	360
Baitboat	360
Purse seine	360
Longline	360
METHODS OF DATA COLLECTION AND SAMPLING	360
ANALYTICAL METHODS	361
RESULTS	367
DISCUSSION	368
ACKNOWLEDGEMENTS	369

FIGURES – FIGURAS	370
--------------------------------	------------

TABLES – TABLAS	379
------------------------------	------------

VERSION EN ESPAÑOL – SPANISH VERSION

	Página
RESUMEN	385
INTRODUCCION	385
DESCRIPCION DE LAS PESQUERIAS	386
Pesca con carnada	386
Pesca con red de cerco	386
Pesca con palangre	386
METODOS PARA LA TOMA DE DATOS Y EL MUESTREO	386
METODOS ANALITICOS	387
RESULTADOS	393
DISCUSION	395
RECONOCIMIENTOS	396

LITERATURE CITED – BIBLIOGRAFIA CITADA	397
---	------------

LENGTH-FREQUENCY ESTIMATION FOR YELLOWFIN TUNA (*THUNNUS ALBACARES*) CAUGHT BY COMMERCIAL FISHING GEAR IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN

by

Patrick K. Tomlinson, Sachiko Tsuji¹, and Thomas P. Calkins

ABSTRACT

Methods of collecting samples for the purpose of estimating the numbers and weights of fish caught, by length interval, are described. Several models for two-stage sampling are described, and the equations for the estimators and their variances are given. The results from a brief simulation study are used to show the differences between estimates made with the different models.

Estimators for the average weights of fish in the catch and their variances are also described. These average weights are used to provide improved estimates of the total annual catches of yellowfin taken from the eastern Pacific Ocean, east of 150°W, between 1955 and 1990.

INTRODUCTION

The staff of the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) has been collecting data on yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, caught by commercial fishing gear in the eastern Pacific Ocean (EPO), the part of the Pacific Ocean east of 150°W, since 1954. The EPO is divided into an inside area, the Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA), and an outside area, referred to in this report as the XCYRA (Figure 1). The IATTC staff collects data for fish caught in the EPO by vessels that unload their catches at ports of North and South America. These vessels are primarily baitboats (Godsil, 1938) and purse seiners (Scofield, 1951, McNeely, 1961) which catch fish at the surface. Data for Japanese longline vessels fishing in the EPO are provided by the National Research Institute of Far Seas Fisheries of Japan. Lesser amounts of yellowfin are caught by longline vessels of other countries, but these are not considered in this report, nor are surface-fishery data for years prior to 1955, which were collected by California Department of Fish and Game. Also excluded are small amounts of yellowfin caught by artisanal and sport fishermen.

Reports published previously for the surface fishery include studies by Hennemuth (1957, 1961a, 1961b), Davidoff (1963, 1969), and IATTC Annual, Bimonthly, and Quarterly Reports since those for 1954. Studies based on data collected from the longline fishery include those of Suda and Schaefer (1965), Kume and Schaefer (1966), Kume and Joseph (1969), Shingu *et al.* (1974), Miyabe and Bayliff (1987), and Nakano and Bayliff (1992). Suzuki *et al.* (1978) and Suzuki (1988) examined data for the surface and longline fisheries together.

This report describes the methods of utilizing the data collected to estimate length frequencies of yellowfin in the catch. Data include estimates of catch by gear, time intervals, and areas, and estimates of the weight-length relationship, as well as samples of fish taken randomly from the catches and measured for length. The purposes of this paper are to document all of the methods which use these length samples to estimate the number or weight of fish caught, by length interval, and the average weight of fish in the catch. Some results are given which compare a new method to the old method. A simulation study is used to verify that the new method is preferable to the old method.

1. Present address: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japan

DESCRIPTION OF THE FISHERIES***Baitboat***

Bait fishing is carried out by chumming with live bait to lure fish near the boat and keep them there, and then fishing with poles and lines to catch the fish. Each line has a lure, or is baited with a live fish, and the tunas are caught one at a time. Fishing continues until the fish stop, or nearly stop, biting. The captured tunas are then loaded into holding wells and frozen. Usually, more than one "stop" is needed to fill a well, and each baitboat has more than one well. When all the wells are nearly full, or sometimes earlier than that for various reasons, the boat returns to port to unload its catch. Baitboats usually fish relatively close to land or to offshore islands or sea-mounts, so the EPO baitboat fishery is considered to be a closed fishery, *i.e.* it has well-defined boundaries.

Purse seine

Purse seiners do not use bait, so they need only to locate schools of fish and catch them. Upon locating a school, the vessel tries to encircle the fish with its net. If the school, or part of it, is captured in the net it is loaded into the wells. When all the wells are full, or nearly full, the vessel returns to port to unload its catch. Purse seine-caught yellowfin are occasionally separated by size at sea, but such fish are not sampled for length composition. Purse seiners can and do fish further from land than baitboats, but the EPO fishery is still considered to be a closed fishery.

Longline

Longlining is substantially different from surface fishing. Lines are set in areas that experience has shown to be productive, rather than on sightings of tuna at or near the surface. Longline vessels remain at sea for longer periods of time than do baitboats or purse seiners. A single main line with many drop lines, each with a baited hook, is set and retrieved each day. Hooks generally fish at depths of more than 50, but less than 250, m. The tuna captured are not considered to be from schools, although it is not certain that this is the case. As a line is retrieved, the fish are removed immediately and processed for freezing and storage. Two categories of vessels, commercial vessels and training vessels, operate in the EPO. Longliners usually operate far from land over the entire Pacific Ocean, making the fishery an open-ended one.

METHODS OF DATA COLLECTION AND SAMPLING

The wells of baitboats and purse seiners are usually unloaded in pairs or individually. Most boats carry IATTC logbooks in which the captains record their activities at sea. The information recorded includes date, location, estimated amount of tuna (usually by species) caught from each school, and the number(s) of the well(s) which contain(s) the fish. An IATTC staff member makes an abstract of the logbook data for each trip. The captains of some smaller vessels do not keep logbooks, in which cases the IATTC employee prepares an abstract from oral information, notes made on a calendar, *etc.* If possible, a staff member measures a sample of fish from a well or pair of wells, provided all fish in that well or pair of wells were caught in a single month-area stratum. A sample usually consists of 50 fish picked in a random fashion (Hennemuth, 1957) during the unloading process. Each fish is measured to the nearest millimeter, using specially-constructed calipers which allow measurements up to 2 meters. The measurements and other information, such as when, where, and how the catch was made, are recorded on a form prepared for that purpose. At the La Jolla office, the measurements are summarized into 1-cm intervals and entered into a computer data base, along

with information on the catch.

When baitboats or purse seiners unload their fish, some type of record, such as a sales receipt, shows the true weight of the catch landed, usually by species. The information contained in these landing records are obtained by the IATTC staff. Thus, the logbook information contains details about the catches, but the weights are only approximations, while records on landings contain accurate measures of the weights of the catch but little or no information about when, where, and how the fish were captured.

Almost all longline vessels provide logbook information to their respective governments which include data on time and area of catch and the number of fish of each species caught for each line set. Some of the tuna caught by training vessels from Japan are measured at the time of capture. Longline-caught fish are not sampled when they are unloaded in port, and the weights are not recorded.

ANALYTICAL METHODS

Some of the estimates of numbers and weights of fish by length interval are made with models described by Shingu *et al.* (1974). However, more detail will be provided in this report. The sampling frame (Cochran, 1977) is described as stratified two-stage random sampling, with first-stage units varying in size. Sampling within both the first and second stages is assumed to be simple random sampling. However, strata and first-stage units are different for the different reports that were mentioned above. The within-stratum definitions are:

N = number of first-stage units (well or pair of wells);

n = number of first-stage units sampled;

K = number of length groups;

M_i = number of second-stage units (fish) in first-stage unit i ;

m_i = number of second-stage units sampled from the first-stage unit i ;

y_{ijk} = 1 if fish is of length group k , and 0 otherwise, first-stage unit i and second-stage unit j ; $i = 1$ to n ; $j = 1$ to m_i ; and $k = 1$ to K ;

$\bar{y}_{ik} = \frac{m_i}{\sum_j y_{ijk}/m_i}$ = fraction of sample i belonging to length group k or average of the numbers y_{ijk} ;

$w_{ijk} = \alpha L_k^\beta$ = weight of fish if fish is of length group k , and 0 otherwise, first-stage unit i and second-stage unit j ;

L_k = midpoint length for length group k ;

α, β = coefficients of yellowfin weight-length equation (Chatwin, 1959, or Kamimura and Honma, 1959);

$$\bar{w}_{ik} = \frac{m_i}{\sum_j w_{ijk}/m_i} = \text{average of all weights, } w_{ijk}, \text{ in length group } k \text{ from first-stage unit } i;$$

$$\bar{\bar{w}}_i = \frac{K}{\sum_k \bar{w}_{ik}} = \text{average weight per fish in the first-stage unit } i;$$

W_i = total catch in weight for first-stage unit i ;

$$\bar{W} = \frac{n}{\sum_i W_i/n} = \text{estimate of average total weight per first-stage unit};$$

$$W = \sum_i^N W_i = \text{total stratum catch in weight};$$

$$M = \sum_i^N M_i = \text{total stratum catch in number};$$

$$\hat{M}_i = W_i/\bar{\bar{w}}_i = \text{estimate of } M_i \text{ for surface fishery};$$

$$\hat{W} = M \sum_i^n \hat{M}_i \bar{\bar{w}}_i / \sum_i^n \hat{M}_i = \text{estimate of } W \text{ for longline fishery};$$

$$(1) \quad \bar{\bar{\bar{w}}} = \hat{W}/M = \text{estimate of average weight per fish caught in the stratum for longline fishery};$$

$$(2) \quad \bar{\bar{\bar{w}}} = \frac{n}{\sum_i^n \hat{M}_i} \bar{\bar{w}}_i / \frac{n}{\sum_i^n \hat{M}_i} \hat{M}_i = \text{estimate of average weight per fish caught in the stratum for surface fishery};$$

$$\hat{M} = W/\bar{\bar{\bar{w}}} = \text{estimate of } M \text{ for surface fishery};$$

$$(3) \quad \hat{Y}_k = M \sum_i^n \hat{M}_i \bar{y}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i = \text{estimated number of fish of length } k \text{ caught in stratum for longline fishery};$$

$$(4) \quad \hat{Y}_k = \hat{M} \sum_i^n \hat{M}_i \bar{y}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i = \text{estimated number of fish of length } k \text{ caught in stratum for surface fishery};$$

$$(5) \quad \hat{W}_k = M \sum_i^n \hat{M}_i \bar{w}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i = \text{estimated weight of fish of length } k \text{ caught in stratum for longline fishery};$$

$$(6) \quad \hat{W}_k = \hat{M} \sum_i^n \hat{M}_i \bar{w}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i = \text{estimated weight of fish of length } k \text{ caught in stratum for surface fishery};$$

$$\hat{\hat{Y}}_k = \hat{Y}_k/M = \text{estimated fraction of number caught which belong to length } k \text{ in the stratum for longline fishery};$$

- $\hat{Y}_k = \hat{Y}_k/\hat{M} =$ estimated fraction of number caught which belong to length k in the stratum for surface fishery;
- $f_{2i} = m_i/M_i =$ sampling fraction for catch in number from first-stage unit i for longline fishery;
- $\hat{f}_{2i} = m_i/\hat{M}_i =$ sampling fraction for catch in number from first-stage unit i for surface fishery;
- $\hat{N} = W/\bar{W} =$ estimate of N for surface fishery;
- $f_1 = n/N =$ sampling fraction for first-stage units from the stratum for longline fishery;
- $\hat{f}_1 = n/\hat{N} =$ sampling fraction for first-stage units from the stratum for surface fishery;
- (7) $v_{2ik} = \frac{m_i}{j} \sum_j (y_{ijk} - \bar{y}_{ik})^2 / (m_i - 1) =$ second-stage variance within first-stage unit i for length k ;
- $v_{1k} = N^2(1 - f_1) \sum_i M_i^2 (\bar{y}_{ik} - \hat{Y}_k)^2 / (n^2 - n) =$ first-stage variance of numbers for length group k for longline fishery;
- $\hat{v}_{1k} = \hat{N}^2(1 - \hat{f}_1) \sum_i \hat{M}_i^2 (\bar{y}_{ik} - \hat{Y}_k)^2 / (n^2 - n) =$ first-stage variance of numbers for length group k for surface fishery;
- $v_{2k} = N^2 \sum_i M_i^2 (1 - f_{2i}) v_{2ik} / (n^2 m_i) =$ second-stage variance of numbers for length group k for longline fishery;
- $\hat{v}_{2k} = \hat{N}^2 \sum_i \hat{M}_i^2 (1 - \hat{f}_{2i}) v_{2ik} / (n^2 m_i) =$ second-stage variance of numbers for length group k for surface fishery;
- (8) $v(\hat{Y}_k) = v_{1k} + v_{2k} =$ estimated variance of equation (3), the estimated number of length group k caught by the longline fishery;
- (9) $v(\hat{Y}_k) = \hat{v}_{1k} + \hat{v}_{2k} =$ estimated variance of equation (4), the estimated number of length group k caught by the surface fishery.

A variance for the estimated weight of length group k (equations (5) or (6)) could be calculated in a similar way by substituting w_{ijk} for y_{ijk} in all of the equations from (7) through (9). However, the w_{ijk} are estimated from the lengths, and therefore are constant within length groups, which causes the variance to be underestimated. Since most of the variance comes from variation between first-stage units, this underestimation might not be serious. Also, it is possible to obtain an approxi-

mate variance for the estimated stratum average weight per fish (equations (1) or (2)). The equations are:

w_{ij} = estimated weight (αL^β) of the j th fish from the i th unit; $j = 1$ to m_i and $i = 1$ to n ;

$v_{2i} = \sum_j^{m_i} (w_{ij} - \bar{w}_i)^2 / (m_i - 1)$ = second-stage variance, i th unit;

$v_1 = N^2(1 - f_1) \sum_i^n M_i^2 (\bar{w}_i - \bar{\bar{w}})^2 / (n^2 - n)$ = first-stage variance component for total weight;

$v_2 = N^2 \sum_i^n M_i^2 (1 - f_{2i}) v_{2i} / (n^2 m_i)$ = second-stage variance component for total weight;

$v(\bar{\bar{w}}) = (v_1 + v_2) / M^2$ = estimated variance of average weight caught.

With the exception of the average weight, estimates for two or more strata can be combined by simply summing the estimates from each of the strata. The variance of such a sum is the sum of the variances for each stratum estimate included in the total. The average weight for combined strata is obtained by dividing the sum of the weights by the sum of the numbers. Since weight is the product of number and average weight, the average for combined strata is a weighted average, with weights being the numbers. That is, $M(r)$, $w(\bar{\bar{r}})$, and $v[w(\bar{\bar{r}})]$ are the values of M , $\bar{\bar{w}}$, and $v(\bar{\bar{w}})$, respectively, for the r th stratum and there are s strata,

$$\bar{\bar{w}} = \sum_r^s M(r) \bar{\bar{w}}(r) / \sum_r^s M(r) = \text{weighted average weight for } s \text{ strata;}$$

$$v(\bar{\bar{w}}) = \sum_r^s M(r)^2 v[\bar{\bar{w}}(r)] / [\sum_r^s M(r)]^2 = \text{estimated variance.}$$

In the case where the M are estimated from the same data as the average weights, as in the surface fishery, the equation probably underestimates the variance. Average length and its variance can be estimated by letting $w_{ijk} =$ the measured length and using the above equations for the average w .

Other estimators that were considered are:

$$(10) \hat{Y}_k(u) = N \sum_i^n M_i \bar{y}_{ik} / (n) = \text{unbiased } (u) \text{ estimate of } Y_k;$$

$$(11) \hat{W}_k(u) = N \sum_i^n M_i \bar{w}_{ik} / (n) = \text{unbiased } (u) \text{ estimate of } W_k;$$

$$(12) \hat{Y}_k(b) = M \sum_i^n \bar{y}_{ik} / n = \text{biased } (b) \text{ estimate of } Y_k;$$

$$(13) \hat{W}_k(b) = M \sum_i^n \bar{w}_{ik} / n = \text{biased } (b) \text{ estimate of } W_k;$$

The use of equations (10) or (11) would be acceptable if the M_i did not vary by much, but for yellowfin the estimates have unavoidably greater variances than those calculated by equations (4) or (5). Equations (12) or (13) were commonly used in the past, but they are typically badly biased unless the M_i are nearly constant. Sukhatme and Sukhatme (1973) give a method for correcting the bias in equation (12), but no estimator for the variance. It should be noted that the equations (3) through (6) are also biased. Based on the simulation study (Figure 8), however, the biases are small and these estimators typically have the smallest variances.

A brief simulation study was conducted to evaluate the biases and variances of the different models. A population was constructed of 40 first-stage units and a variable number of second-stage units (number of fish per well). The length-frequency distribution within each first-stage unit was constructed randomly by selecting the total number of fish, the number of age groups, the age of each group, and the probability of any age being in the unit. It was assumed that the within-age length distribution was normal, with the population mean length taken from the growth relationship of Wild (1986) and a standard deviation of 6 taken from observations on past length data. All fish were chosen at random, given the conditions just mentioned. Once the population of lengths was constructed for each first-stage unit, a random sample of 10 first-stage units was selected ($n = 10$) and then 50 second-stage units ($m_i = 50$) were selected by simple random sampling. This process of choosing $n = 10$ and $m_i = 50$ was repeated 5000 times from the same population. Two such populations were constructed, one having a relatively small number of age groups and a small variance between first-stage units and the other with more age groups and greater variance.

As mentioned previously, the surface-fishery data for the $W(i)$ are estimates made by the crew of the vessel and entered into the logbook, and logbook data are not available for some trips. However, the landing receipts provide enough information to obtain total catch for various categories, such as vessel size and country of origin. From 1966 through 1979, the EPO yellowfin fishery operated under a quota system for the CYRA. This resulted in trips being classified as unregulated (open season) or regulated (closed season), and this affected the percentage of trips covered by logbooks. To be more specific, the following categories are used:

1. Country of registry
2. Vessel size (0 to 400 tons or greater than 400 tons carrying capacity)
3. Gear (baitboat, purse seine, or longline)
4. Regulation status (regulated or unregulated)
5. General area (CYRA or XCYRA)

(Throughout this report "tons" means short tons.) For each of the five categories listed, the IATTC staff can obtain the total annual catch (TAC) from the landing receipts. Data for fish caught by bolicheras (small purse-seine vessels without freezing facilities) and trollers are combined with the data for fish caught by baitboats. All data for fish caught by surface gear for which there is no information as to the type of gear are combined with the data for fish caught by purse seiners. Therefore, for each country there could be up to 24 TACs (3 gear types \times 2 vessel sizes \times 2 regulation statuses \times 2 general areas). However, since there are no EPO baitboats or EPO purse seiners from countries with longliners in the EPO and no longliners from any of the other countries, no country will have more than 16 TACs. For each TAC, there are s strata where, for stratum r ,

L_r = sum of the logbook estimates (W_i) for stratum r ,

$TL = \sum_r^s L_r$ = annual total of the logbook estimates for one TAC category,

and

$$W_r = (\text{TAC})L_r/(\text{TL}) = \text{estimate of total catch for stratum } r.$$

Thus, the logbook data can be used to estimate the fraction of the annual catch (TAC) that was made during each month-area for each of the five categories. Since categories 1, 2, 4, and 5 are not used as variables of stratification for the length data, their values of L_r must be added within the same month-area to obtain the values of stratum total catch (W).

For longliners, most catches are counts of the number of fish by 5-degree area and month, with some adjustments for catches that are reported by weight. Therefore, the stratum total catch (M) for longline is obtained by summing the 5-degree area data within a stratum.

In general, for both the surface and longline fisheries, the catch can be estimated for every stratum, but length samples may not exist for all of them. In the case of strata for which there are no samples, the catch is collapsed into an adjoining stratum, that is, the W for a stratum without samples is added to the W of a nearby stratum with samples. A method for this collapsing has been determined somewhat arbitrarily so that it is done in a consistent manner. In general, the rule is to collapse into the nearest area which traditionally has similar-sized fish during the same month. For some strata, however, it is necessary to collapse into a stratum for a preceding or following month. For some types of estimates, such as length frequencies in the IATTC Annual and Quarterly Reports, catches from strata without samples have not been used.

Stratification for both the surface and longline fisheries has been done in several ways in the past (Hennemuth, 1961a; Davidoff, 1969; Suzuki *et al.*, 1978; Miyabe and Bayliff, 1987; Punsly and Deriso, 1991; Nakano and Bayliff, 1992). There are now four systems of stratification in use for different purposes, as mentioned briefly in the Introduction. These four systems are:

- (a) IATTC Quarterly Reports—length distributions of fish caught by the surface fishery,
- (b) IATTC Annual Reports—length distributions of fish caught by the surface fishery,
- (c) IATTC Annual Reports—age composition of fish caught by the surface fishery,
- (d) IATTC Annual Reports—age composition of fish caught by the longline fishery.

The IATTC Quarterly Reports discuss only the surface fishery and use the areas shown in Figure 2, with time corresponding, more or less, to quarters of the year and with catches (W_i) based on the logbook estimates. The total catches (W) are sums of the catches in the logbook data, based on the date of unloading (rather than date of catch). Length frequencies reported in the IATTC Annual Reports since 1969 are for the surface fishery, and the stratification shown in Figure 3 is used. The times correspond exactly to the quarters of the year when the catches were made, and catches (W_i) are logbook estimates. For the length frequencies in the Annual Reports, total catch (W) has been the within-quarter sums of the logbook estimates, with the catches for unsampled strata omitted. In the future, these totals (W) will be adjusted so that the sum of all sampled strata will equal the sum of the TACs. Use of length data in ageing the surface catch for purposes of population dynamics and cohort studies, as reported in the IATTC Annual Reports, are based on the areas shown in Figure 4. The first-stage catches (W_i) are logbook estimates, while the total catch (W) is adjusted so that the sum of all W within the year is equal to the sum of the TACs. The calculations for longline data are done by month and area, as shown in Figure 5, and then treated as mentioned previously in this report, but the longline data are added to the surface data and not reported separately. Different area stratifications were used for individual IATTC Bulletins which deal with the longline fishery. Punsly and Deriso (1991) used a nearest-neighbor method for estimating length frequencies for each purse-seine set, and summed across sets to obtain estimates by stratum.

Estimation of length distributions for this report is based on areas for the surface fishery as

shown in Figure 4 and for the longline fishery as shown in Figure 5. Stratification of surface fishing for yellowfin is by area, month, and gear (baitboat or purse seine), and the first stage is usually 1 or 2 wells and the second stage is individual fish. Stratification of longline fishing for yellowfin is by area and month, and the first stage is the total catch from a 10- by 20-degree area and the second stages is individual fish. The longline length data are assigned to 10- by 20-degree areas which begin where 180° crosses the equator. The areas are formed by 10-degree jumps in latitude, either north or south, and 20-degree jumps in longitude. This results in first-stage units that overlap the western boundary of the EPO at 150°W and in some places along the CYRA boundary. However, the catch data for longlines are available for 5-degree areas, permitting the calculation of M for each stratum. The first-stage units are treated as if they came from within the stratum, even though the length samples may have come from as much as 5 degrees outside the stratum. Also, since in the past it was desired to estimate length frequencies for the CYRA and XCYRA separately, some longline samples may have been used for more than one stratum.

RESULTS

The length frequencies computed with equation (12), the method commonly used in the past, and those computed with equation (4) are best compared by looking at Figures 6 and 7. These figures show the estimated weights caught in each length group (from equations (6) and (13)), since graphing numbers is made more difficult by the large numbers of small fish which dominate the graph. Using weight instead of numbers for these frequency plots gives graphs which are more evenly distributed between small and large fish. Figure 6, for 1988, represents a year in which there was a mix of small and large fish in the catch. Figure 7, for 1985, represents a year when the fish were mostly of about the same size (large in this case). The bias from using equation (12) or (13) will obviously be greater when there is a mix of sizes in the catch. Equation (12) will produce underestimates of the number of small fish and overestimates of the number of large fish in the catch.

The results of the simulation study are most easily demonstrated by showing the estimates of average sizes of fish in the catch. The comparison is intended to show the difference between results produced by equations (4), (10), and (12) and give some justification for using equation (4), even though equations (4), (10), and (12) are not estimators of average weight. The biases and variances of estimated average weights reflect the biases and variances of estimated numbers of fish. The results from the simulation (Figure 8) show that the bias of the estimate from equation (12) is greater when there is more variance between first-stage units, that the variance of equation (4) is the smallest, and that the bias of equation (4) is quite small relative to the variance. An interesting result, which cannot be seen in Figure 8, is a reduction in the bias obtained from equation (4) as a result of estimating the M_i . The bias obtained when using equation (4) would be positive if the M_i were known, but was slightly negative when the estimated M_i were used in the equations. The phenomenon of the average being less for estimated M_i than known M_i was common for all estimators.

The estimators of variance were studied by comparing the average of the 5000 estimates of variance for each estimator to the variance of the 5000 estimates of the mean for each estimator. In general, the variance estimators did quite well, with the exception of that for equation (10). The variance obtained with equation (10), with the M_i estimated, severely underestimated the variance for the case of high variance between first-stage units. For equation (4), the variance estimator slightly underestimated the variance for both the known M_i and the estimated M_i cases.

The baitboat catch (Table 1) declined substantially during the 1955 to 1990 period, and the average size of fish caught has also declined (Table 1 and Figures 9 and 12). The general configuration of the baitboat length frequencies has remained nearly the same, although the size range has declined

over time, and virtually no large fish have been caught by baitboats since 1982.

The purse-seine catch (Table 2) has increased, decreased, and then increased again, while the average size decreased, then increased, then decreased again, and finally increased (Table 2 and Figures 10 and 12). The purse-seine length frequencies, unlike those for the baitboat fishery, demonstrate a changing fishery.

The surface fishery catches have increased from less than 100 thousand tons in the late 1950's and early 1960's to over 300 thousand tons in the late 1980's (Table 3). Average size of fish caught by this fishery has ranged from 10 pounds (5 kg) in 1978 to 34 pounds (15 kg) in 1985. Standard errors for the estimates of the surface fishery average weights, with one exception, are all less than 1 pound (0.5 kg). Sampling proportion of first-stage units averaged 18 percent for surface fishing.

The longline data show a continually-declining average size from the late 1950's to the mid 1980's, and then a slight recovery (Table 4 and Figures 11 and 12), with a high of 130 pounds (59 kg) in 1956 and a low of 69 pounds (31 kg) in 1981. Longline length frequencies have remained similar, except for the decline in the catches of the largest fish. The longline catch has remained more or less constant since 1961, except for a few good years (*e.g.* 1963, 1964, and 1965) and a few bad years (*e.g.* 1971 and 1981). Standard errors for estimated average weight caught by longliners has varied from 0.13 to 1.23. Longline sampling coverage for first-stage units averaged 34 percent, but this could be misleading because of the way the sampling units were formed.

DISCUSSION

Several methods have been used over the years to estimate the length-frequency distributions for yellowfin. In general, some of those used most frequently can be characterized as stratified sampling with simple random sampling within strata. Even though the samples usually consisted of 50 fish taken from the same well or pair of wells, they were lumped together within the stratum and each sampled fish was given equal weight. Since it has been shown (Sukhatme and Sukhatme, 1973; Cochran, 1977), and confirmed in this paper, that this estimator is likely to have a large bias, new methods were investigated and a choice has been made to use a ratio-type estimator, even though it is also biased. The reason for this choice is that studies have shown the ratio estimator bias for yellowfin samples to be small and to have a substantially smaller variance. Unbiased estimators were found, but these appear to have much larger variances (or no estimator for the variance). These may also be biased unless there is complete information about the number of first-stage units and the number of fish caught. Since the first-stage units vary considerably with respect to the number of fish and for other reasons already mentioned, the ratio-type estimators, together with stratified two-stage sampling, appears to be a good choice. However, there are other possibilities that have not been investigated (Tomlinson, 1971; Sen, 1986; Punsly and Deriso, 1991).

Since total catch is an important statistic when estimating total number by length group or average size, it was necessary to review all of the information which provides such statistics. Also, the IATTC staff has been reviewing and revising all of its data during the process of completing a computerization of all data bases. The staff of the National Research Institute of Far Seas Fisheries has been going through a similar process. The estimates given in Tables 1 through 5 are considered to be the most accurate, mainly because of the effort required to estimate the total catch in weight for longliners. The catches for the surface fishery agree with those in the 1989 IATTC Annual Report, Table 1, since those data do not include the longline catch. All estimates of length frequency, average weight, and longline catch in weight are highly related to the estimates of the weight-length relationship. The values used for the parameters of the weight-length relationships (Chatwin, 1959; Kamimura and Honma, 1959) are being reviewed by collecting new data to provide a better under-

standing of these relationships. Therefore, all estimates will be subject to change in the future.

Another factor which influences our understanding of the impact of fishing on the population is the difference between catching fish and landing them. Most of the yellowfin caught in the EPO are caught by purse seine, and it is assumed that all fish which are in the net after it is pursed are dead, but not all of these fish are landed. Fish which are brought to the decks of the vessels are frequently discarded, for a variety of reasons, before they are landed. No estimates of the amounts of discards have been made, however, which means that the catches given in this report are underestimates of the true catch.

The catches in number of yellowfin by Japanese vessels for each 5-degree area and month are published in the Annual Report of Effort and Catch Statistics by Area on Japanese Tuna Longline Fishery for 1955 to 1980, but there are no estimates of average sizes of fish in those reports. Various IATTC Bulletins (Kume and Schaefer, 1966; Kume and Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974; Miyabe and Bayliff, 1987; Nakano and Bayliff, 1992) contain estimates of average weights, but the methods used differ considerably from the one used in this report. In the future, it might be possible to improve on the area stratification for the longline fishery or to use a nearest-neighbor method (Punsly and Deriso, 1991) for the surface fishery to produce different sets of estimates for these fisheries.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank all of the samplers who worked hard to obtain the data necessary for success in doing the types of estimations described in this publication. Helpful suggestions for improvements of the manuscript were received from Dr. Nancy Lo and Dr. Joseph Horwood, and several members of the IATTC staff.

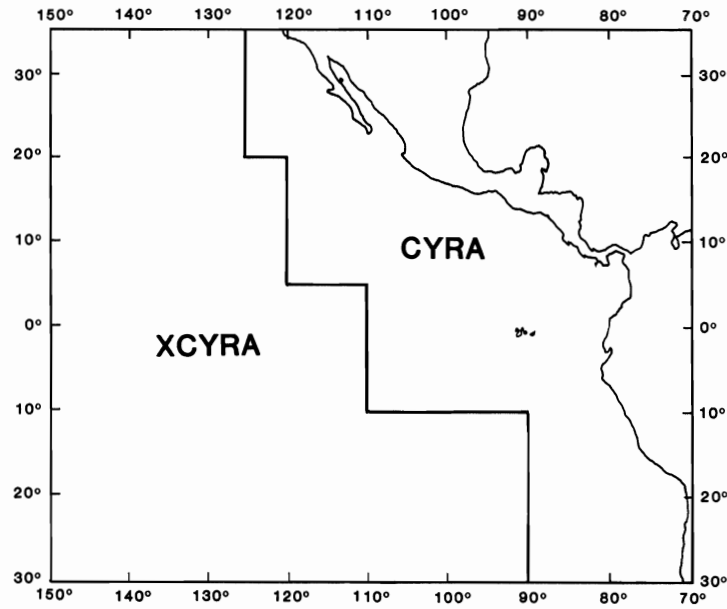


FIGURE 1. Eastern Pacific Ocean (EPO), showing the Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA) and the area outside the CYRA but east of 150°W (XCYRA).

FIGURA 1. Océano Pacífico oriental (OPO), indicando la Área Regulatoria de la Comisión para el Aleta Amarilla (ARCAA) y el área afuera del ARCAA pero al este de 150°W (XARCAA).

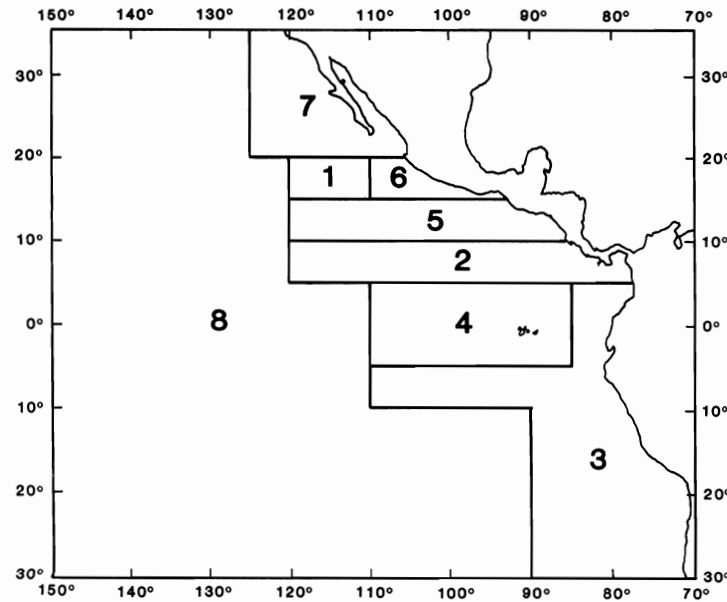


FIGURE 2. Areas used for sampling the lengths of surface-caught tunas for estimating length-frequency distributions for the IATTC Quarterly Reports.

FIGURA 2. Áreas usadas para el muestreo de las tallas de atunes capturados en la superficie para estimar las distribuciones de frecuencia de talla para los Informes Trimestrales de la CIAT.

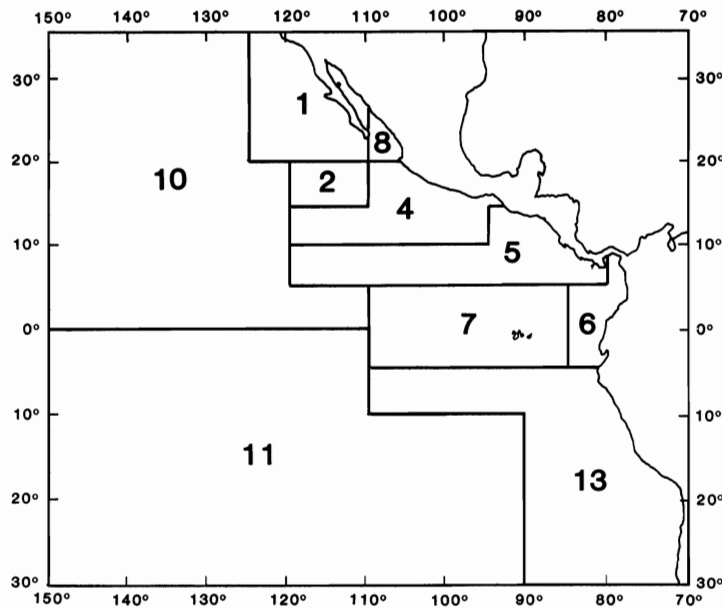


FIGURE 3. Areas used for sampling the lengths of surface-caught tunas for estimating length-frequency distributions for the IATTC Annual Reports.

FIGURA 3. Areas usadas para el muestreo de las tallas de atunes capturados en la superficie para estimar las distribuciones de frecuencia de talla para los Informes Anuales de la CIAT.

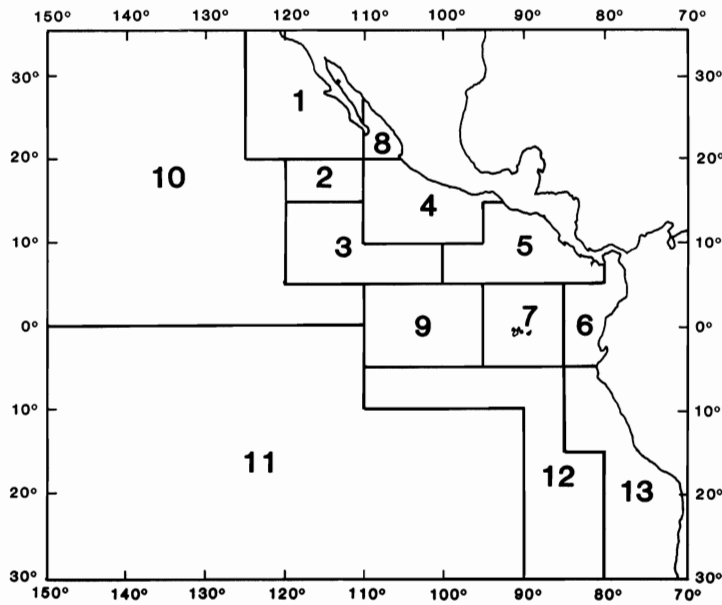


FIGURE 4. Areas used for sampling the lengths of surface-caught tunas for analyzing the stock status.

FIGURA 4. Areas usadas para el muestreo de las tallas de atunes capturados en la superficie para analizar la condición del stock.

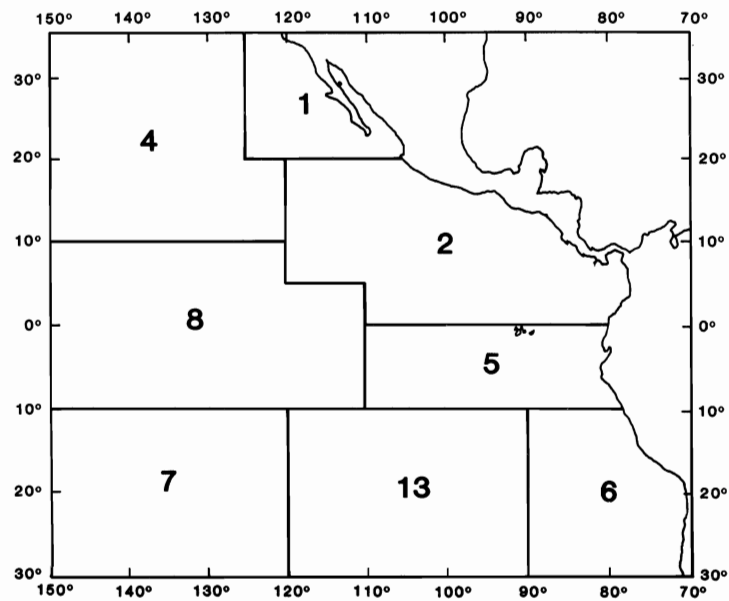


FIGURE 5. Areas used for sampling the lengths of longline-caught tunas for analyzing the stock status.

FIGURA 5. Areas usadas para el muestreo de las tallas de atunes capturados por palangres para analizar la condición del stock.

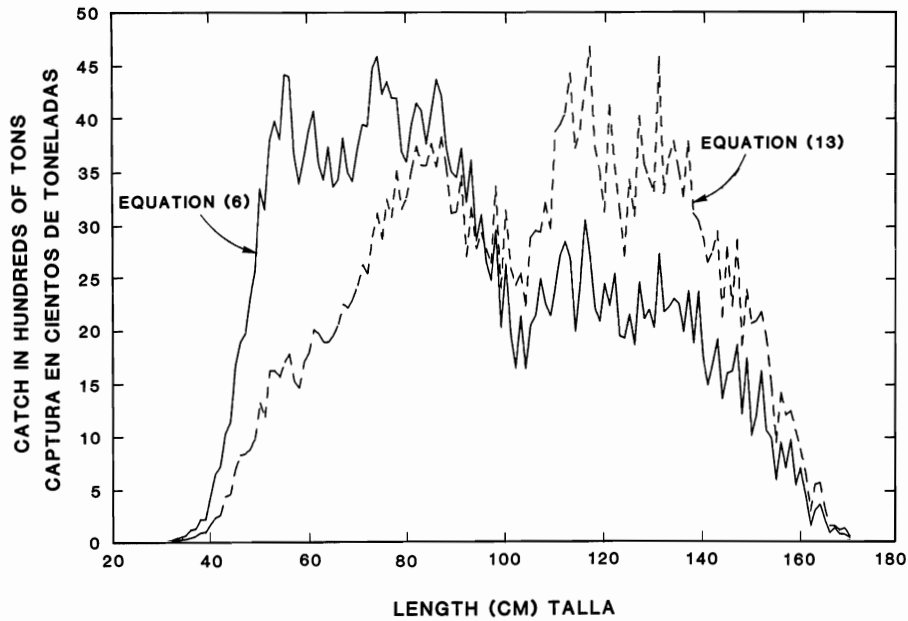


FIGURE 6. Length frequencies for the 1988 yellowfin surface fishery estimated by two different methods.

FIGURA 6. Frecuencias de talla para la pesquería de superficie de 1988 de aleta amarilla estimadas por medio de dos métodos diferentes.

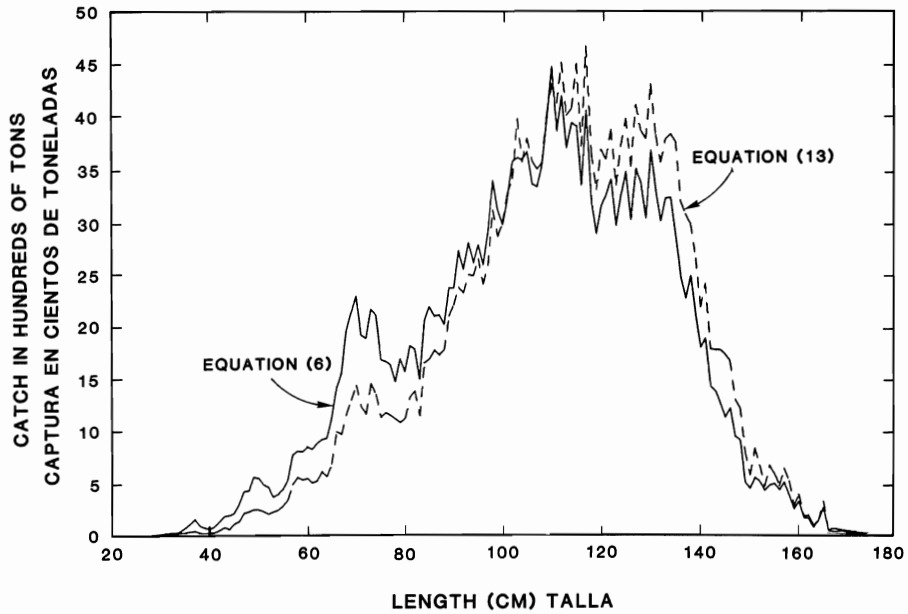


FIGURE 7. Length frequencies for the 1985 yellowfin surface fishery estimated by two different methods.

FIGURA 7. Frecuencias de talla para la pesquería de superficie de 1985 de aleta amarilla estimadas por medio de dos métodos diferentes.

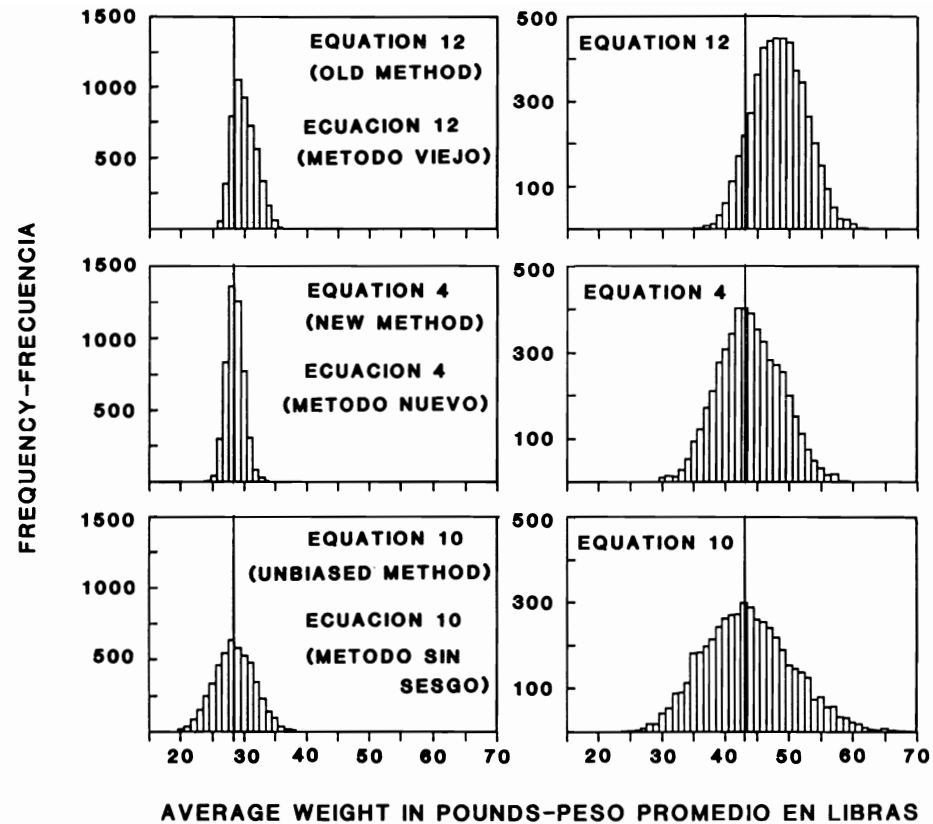


FIGURE 8. Comparisons of 5000 simulations, using three different equations in two different types of strata, one with low first-stage variance (left) and one with high first-stage variance (right). The vertical lines represent the true averages of 28.3 and 43.1 cm.

FIGURA 8. Comparaciones de 5000 simulaciones, usando tres ecuaciones diferentes en dos tipos diferentes de estratos, uno con varianza baja de primera etapa (izquierda) y uno con varianza alta de primera etapa (derecha). Las líneas verticales representan los promedios verdaderos de 28.3 y 43.1 cm.

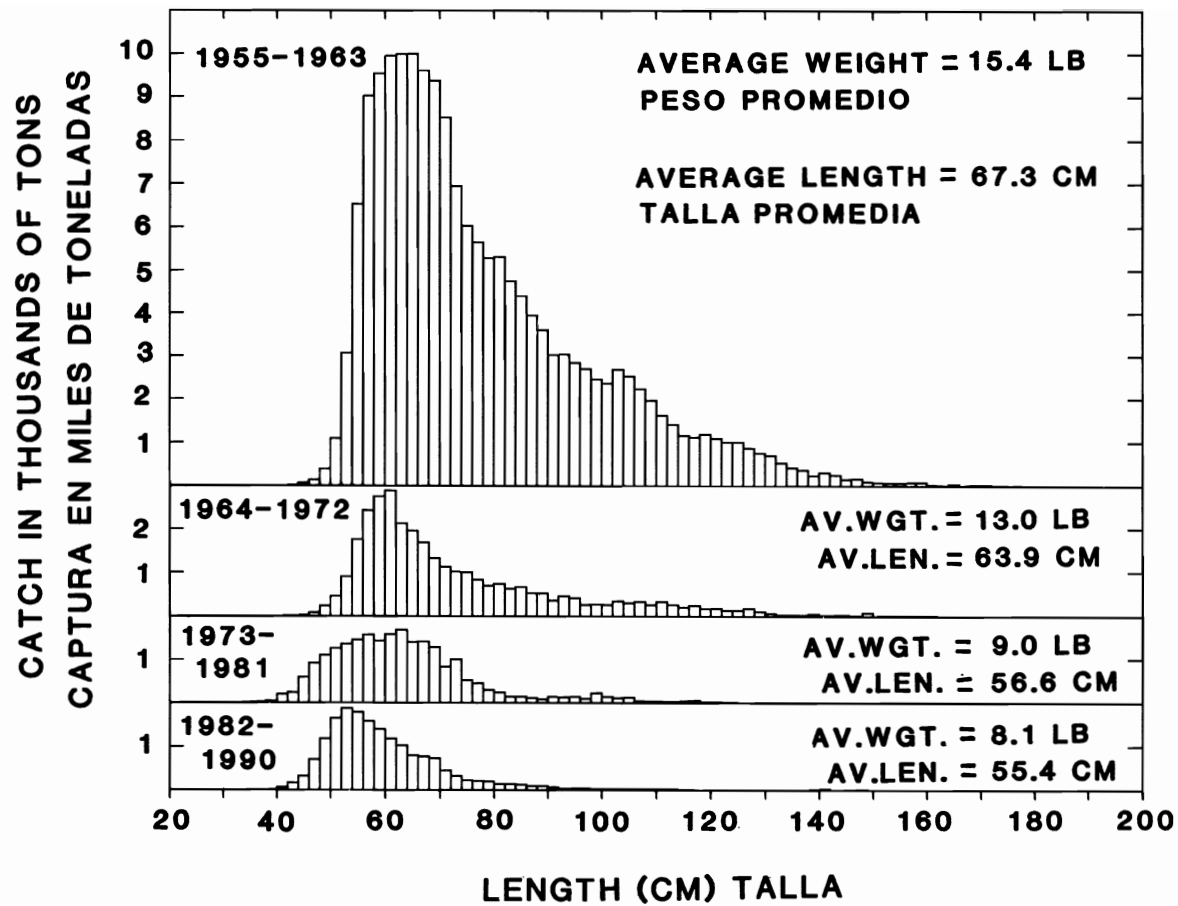


FIGURE 9. Total EPO baitboat catch of yellowfin, by 2-cm length intervals, for four time periods.

FIGURA 9. Captura total de aleta amarilla de los barcos de carnada en el OPO, por intervalos de 2 cm, para cuatro periodos de tiempo.

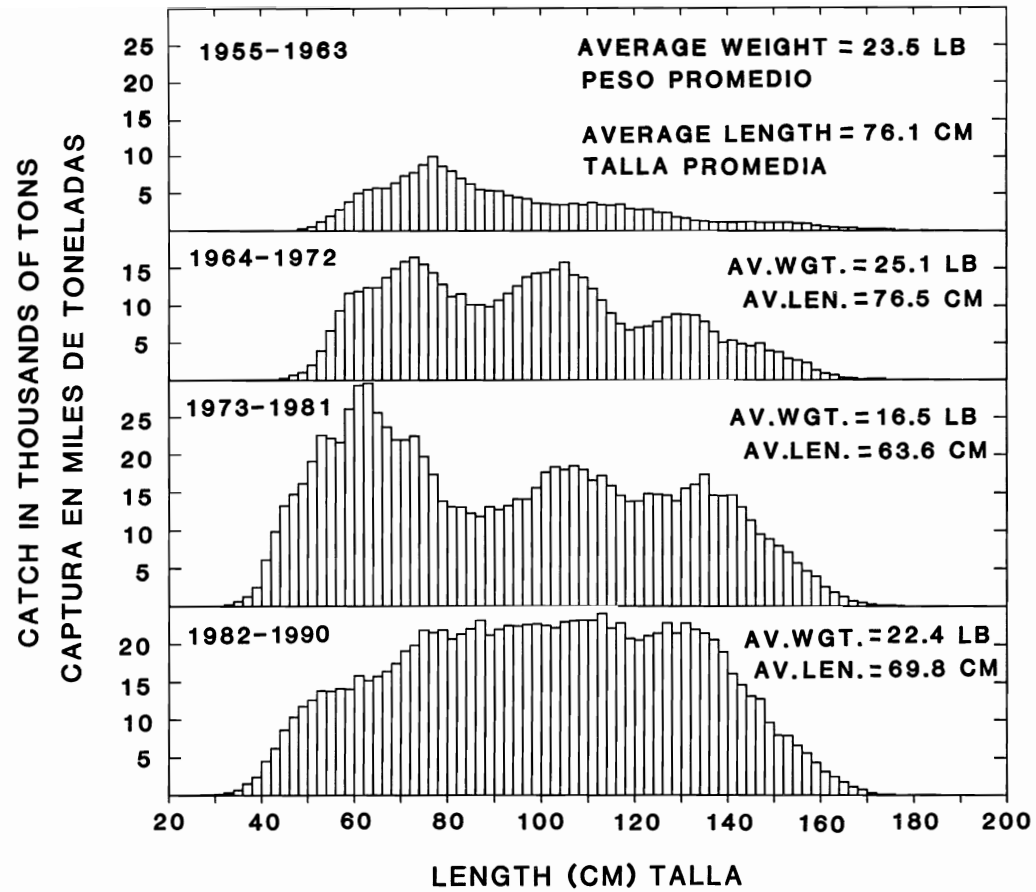


FIGURE 10. Total EPO purse-seine catch of yellowfin, by 2-cm length intervals, for four time periods.

FIGURA 10. Captura total de aleta amarilla de los cerqueros en el OPO, por intervalos de 2 cm, para cuatro periodos de tiempo.

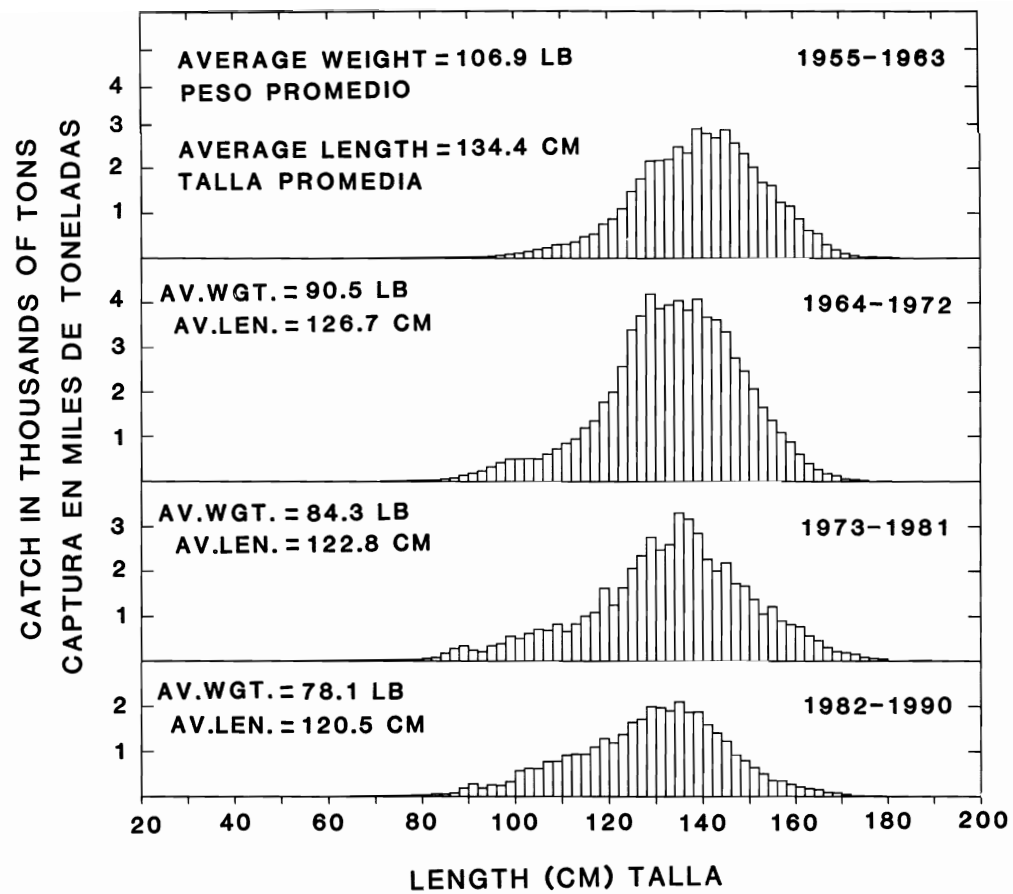


FIGURE 11. Total EPO longline catch of yellowfin, by 2-cm length intervals, for four time periods.

FIGURA 11. Captura total de aleta amarilla de los palangres en el OPO, por intervalos de 2 cm, para cuatro periodos de tiempo.

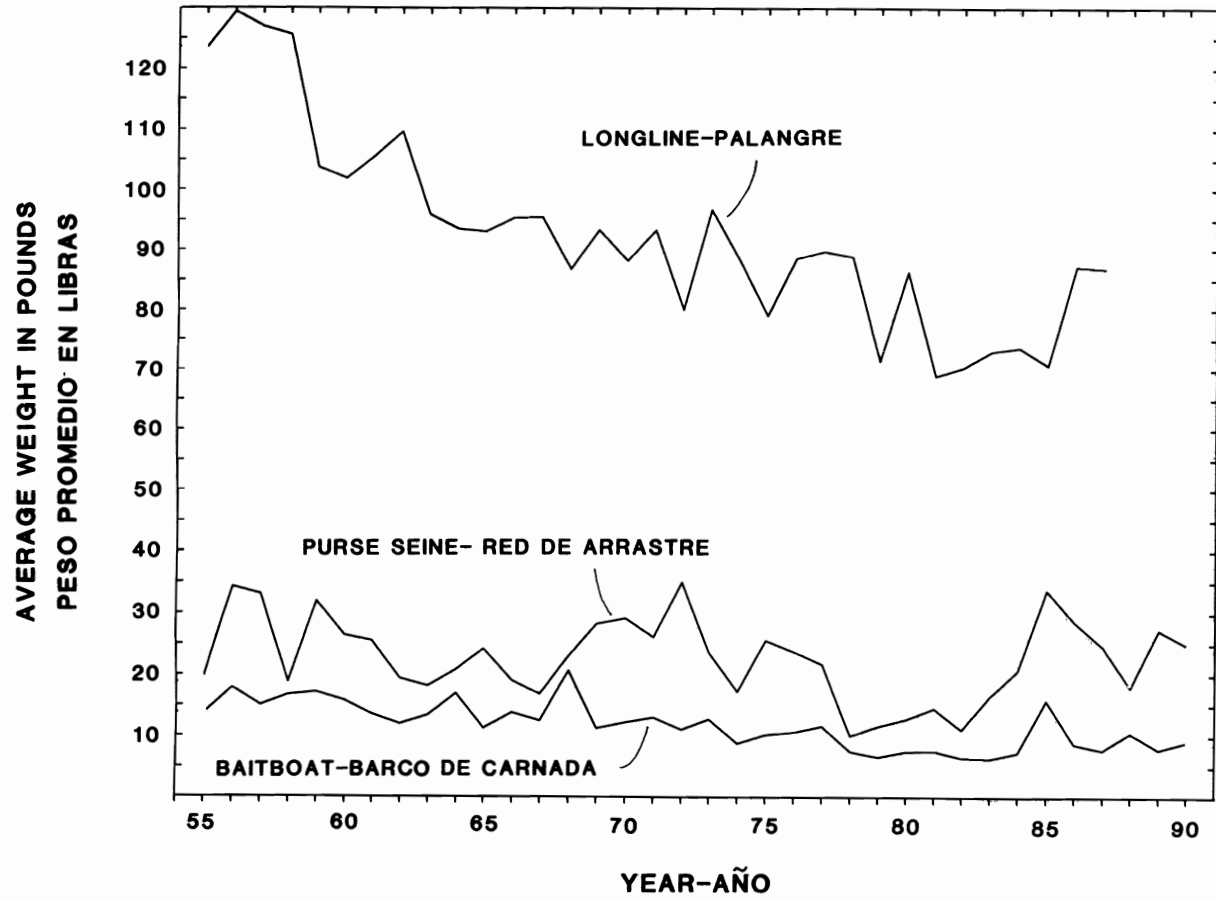


FIGURE 12. Annual estimates of average weights of yellowfin caught by three methods of fishing.

FIGURA 12. Estimados anuales de pesos promedios de aletas amarillas capturados por medio de tres métodos de pesca.

TABLE 1. Estimates for yellowfin caught from the eastern Pacific Ocean (EPO) by baitboat gear.
TABLA 1. Estimados para aletas amarillas capturados en el Océano Pacífico oriental (OPO) por barcos de carnada.

Year	Average weight (pounds)	Standard error (pounds)	Catch (numbers)	Catch in tons	1st-stage total number	1st-stage sampled number
Año	Peso promedio (libras)	Error estándar (libras)	Captura (números)	Captura en toneladas	Número total de 1ª etapa	Número muestreado de 1ª etapa
1955	13.79	0.62	8123062	56008.5	2237	355
1956	17.86	0.64	7261636	64846.4	2967	436
1957	15.07	0.27	8543600	64376.0	2983	518
1958	16.71	0.40	6171301	51561.2	2694	424
1959	17.19	0.35	3854219	33127.0	2116	328
1960	15.84	0.46	3646339	28879.0	2085	217
1961	13.66	0.40	2812329	19208.2	782	158
1962	12.06	0.23	3153401	19015.0	1118	134
1963	13.45	0.24	1665755	11202.2	592	104
1964	16.96	0.58	1003986	8513.8	521	74
1965	11.35	0.19	1755947	9965.0	534	123
1966	13.83	0.39	967621	6691.1	292	69
1967	12.57	0.81	974050	6121.9	282	47
1968	20.70	0.84	511594	5295.0	179	19
1969	11.30	0.42	1480549	8365.1	401	67
1970	12.27	0.98	886716	5440.0	334	21
1971	13.13	0.91	1034410	6790.9	347	30
1972	11.14	0.13	1308618	7289.0	684	58
1973	12.80	0.40	825938	5286.0	1358	34
1974	8.84	0.16	2334163	10317.0	2743	48
1975	10.22	0.57	1536008	7849.0	1854	51
1976	10.68	0.49	842697	4500.0	346	63
1977	11.65	0.26	439657	2561.0	227	56
1978	7.56	0.28	1353440	5116.0	276	89
1979	6.67	0.15	1722009	5742.9	347	118
1980	7.50	0.20	533067	1999.0	161	58
1981	7.61	0.42	641524	2441.0	316	37
1982	6.54	0.24	548318	1793.0	217	21
1983	6.34	0.09	1581388	5013.0	198	77
1984	7.38	0.29	967480	3570.0	149	33
1985	15.93	0.20	149655	1192.0	66	10
1986	8.76	0.65	637900	2794.0	233	34
1987	7.81	0.11	1475289	5761.0	281	71
1988	10.64	0.30	1092049	5809.7	323	49
1989	7.86	0.17	1664631	6542.0	495	44
1990	9.13	0.26	643593	2938.0	176	36

TABLE 2. Estimates for yellowfin caught from the eastern Pacific Ocean (EPO) by purse-seine gear.
TABLA 2. Estimados para aletas amarillas capturados del Océano Pacífico oriental (OPO) por arte cerquera.

Year	Average weight (pounds)	Standard error (pounds)	Catch (numbers)	Catch in tons	1st-stage total number	1st-stage sampled number
Año	Peso promedio (libras)	Error estándar (libras)	Captura (números)	Captura en toneladas	Número total de 1ª etapa	Número muestreado de 1ª etapa
1955	19.77	0.31	1459231	14424.5	410	64
1956	34.20	1.32	1384012	23666.6	306	75
1957	33.08	1.12	1035913	17134.0	323	125
1958	18.79	0.41	2412326	22663.8	856	147
1959	31.92	1.01	1942544	31003.0	791	252
1960	26.40	0.58	6678636	88158.0	1361	381
1961	25.51	0.87	7364626	93935.8	1684	396
1962	19.42	0.45	6445108	62582.0	1351	421
1963	18.22	0.35	6275719	57171.8	1169	421
1964	20.88	0.34	8544656	89206.2	1440	475
1965	24.23	0.48	6356253	77006.0	1406	477
1966	19.12	0.36	8594968	82167.9	1276	453
1967	16.86	0.35	9729312	82018.1	1715	373
1968	23.03	0.55	9305948	107158.0	2416	372
1969	28.32	0.53	9440389	133675.9	2123	419
1970	29.14	0.68	11400687	166108.0	3712	309
1971	26.20	0.99	9818022	128616.1	2111	263
1972	35.03	0.89	10731431	187961.0	2348	322
1973	23.64	0.59	18694332	220967.0	2701	300
1974	17.34	0.80	25555824	221569.0	3456	340
1975	25.61	0.58	16788364	214975.0	2896	663
1976	23.82	0.63	21495046	256006.0	3759	691
1977	21.70	0.76	19962856	216597.0	4217	570
1978	10.12	0.24	38317984	193889.0	4358	662
1979	11.69	0.36	34788212	203337.1	4249	693
1980	12.83	0.40	26965238	172982.0	4143	576
1981	14.56	0.46	27194230	197974.0	3658	618
1982	11.13	0.50	24449956	136064.0	3098	503
1983	16.52	0.65	11968511	98859.9	2302	352
1984	20.74	0.51	15075796	156336.0	4029	525
1985	33.74	1.04	14107883	238000.0	3313	603
1986	28.63	0.60	20462942	292927.0	4391	809
1987	24.63	0.74	23926188	294651.0	4731	974
1988	18.05	0.43	34576548	312053.3	5581	851
1989	27.29	0.89	22873580	312110.0	5535	697
1990	24.96	0.58	23906652	298355.0	5434	910

TABLE 3. Estimates for yellowfin caught from the eastern Pacific Ocean (EPO) by all surface gear.
TABLA 3. Estimados para aletas amarillas capturados del Océano Pacífico oriental (OPO) por toda arte superficial.

Year	Average weight (pounds)	Standard error (pounds)	Catch (numbers)	Catch in tons	1st-stage total number	1st-stage sampled number
Año	Peso promedio (libras)	Error estándar (libras)	Captura (números)	Captura en toneladas	Número total de 1ª etapa	Número muestreado de 1ª etapa
1955	14.70	0.53	9582293	70433	2647	419
1956	20.48	0.58	8645648	88513	3273	511
1957	17.02	0.27	9579513	81510	3306	643
1958	17.29	0.31	8583627	74225	3550	571
1959	22.13	0.41	5796763	64130	2907	580
1960	22.67	0.41	10324975	117037	3446	598
1961	22.24	0.64	10176955	113144	2466	554
1962	17.00	0.31	9598509	81597	2469	555
1963	17.22	0.28	7941474	68374	1761	525
1964	20.47	0.31	9548642	97720	1961	549
1965	21.44	0.38	8112200	86971	1940	600
1966	18.58	0.33	9562589	88859	1568	522
1967	16.47	0.33	10703362	88140	1997	420
1968	22.91	0.52	9817542	112453	2595	391
1969	26.01	0.46	10920938	142041	2524	486
1970	27.92	0.63	12287403	171548	4046	330
1971	24.95	0.90	10852432	135407	2458	293
1972	32.43	0.79	12040049	195250	3032	380
1973	23.18	0.57	19520270	226253	4059	334
1974	16.63	0.73	27889988	231886	6199	388
1975	24.32	0.53	18324372	222824	4750	714
1976	23.32	0.61	22337744	260506	4105	754
1977	21.48	0.74	20402514	219158	4444	626
1978	10.03	0.23	39671424	199005	4634	751
1979	11.45	0.34	36510220	209080	4596	811
1980	12.73	0.39	27498306	174981	4304	634
1981	14.40	0.45	27835754	200415	3974	655
1982	11.03	0.49	24998274	137857	3315	524
1983	15.33	0.57	13549899	103873	2500	429
1984	19.93	0.48	16043276	159906	4178	558
1985	33.55	1.03	14257538	239192	3379	613
1986	28.03	0.58	21100842	295721	4624	843
1987	23.65	0.70	25401478	300412	5012	1045
1988	17.82	0.42	35668596	317863	5904	900
1989	25.97	0.83	24538212	318652	6030	741
1990	24.55	0.56	24550246	301293	5610	946

TABLE 4. Estimates for yellowfin caught from the eastern Pacific Ocean (EPO) by longline.**TABLA 4.** Estimados para aletas amarillas capturados del Océano Pacífico oriental (OPO) por palangres.

Year	Average weight (pounds)	Standard error (pounds)	Catch (numbers)	Catch in tons	1st-stage total number	1st-stage sampled number
Año	Peso promedio (libras)	Error estándar (libras)	Captura (números)	Captura en toneladas	Número total de 1ª etapa	Número muestreado de 1ª etapa
1955	123.51	0.37	11878	734	22	12
1956	129.39	0.39	26884	1739	29	13
1957	126.84	1.01	162780	10324	134	32
1958	125.56	0.47	137020	8602	89	47
1959	103.70	0.72	95589	4956	81	54
1960	101.91	0.26	165030	8409	93	59
1961	105.54	0.60	347617	18344	229	71
1962	109.62	0.47	283950	15563	428	71
1963	95.85	0.36	527613	25286	402	111
1964	93.46	0.21	471861	22050	290	160
1965	93.00	0.17	434207	20191	343	157
1966	95.36	0.51	252106	12020	779	97
1967	95.42	0.94	247288	11798	314	123
1968	86.77	0.47	400439	17373	323	134
1969	93.32	0.21	418389	19522	296	137
1970	88.15	0.60	341309	15043	540	151
1971	93.34	0.65	173356	8091	187	137
1972	80.05	0.42	425868	17045	285	92
1973	96.79	0.34	279040	13504	424	61
1974	88.26	0.78	235173	10378	431	59
1975	79.08	0.80	350294	13851	286	63
1976	88.65	0.34	375896	16662	275	87
1977	89.80	0.21	277767	12472	318	89
1978	88.86	0.72	234369	10413	1560	73
1979	71.48	0.67	298064	10653	463	83
1980	86.37	0.13	280992	12135	379	90
1981	69.02	0.55	220799	7620	671	47
1982	70.41	0.35	270690	9530	244	107
1983	73.11	0.51	266394	9738	497	107
1984	73.70	0.61	274289	10108	468	113
1985	70.74	1.23	313667	11094	442	137
1986	87.17	0.24	440936	19218	543	140
1987	86.89	0.56	322574	14014	286	145
1988*	82.30	0.79	359059	14775	424	141
1989*	82.30	0.79	359059	14775	424	141
1990*	82.30	0.79	359059	14775	424	141

*Average of 1985-1987

TABLE 5. Estimates for yellowfin caught from the eastern Pacific Ocean (EPO) by all gears combined.

TABLA 5. Estimados para aletas amarillas capturados del Océano Pacífico oriental (OPO) por todas artes combinadas.

Year	Average weight (pounds)	Standard error (pounds)	Catch (numbers)	Catch in tons	1st-stage total number	1st-stage sampled number
Año	Peso promedio (libras)	Error estándar (libras)	Captura (números)	Captura en toneladas	Número total de 1ª etapa	Número muestreado de 1ª etapa
1955	14.84	0.53	9594171	71167	2669	431
1956	20.81	0.58	8672532	90252	3302	524
1957	18.85	0.27	9742293	91834	3440	675
1958	19.00	0.31	8720647	82827	3639	618
1959	23.45	0.40	5892352	69086	2988	634
1960	23.92	0.40	10490005	125446	3539	657
1961	24.99	0.62	10524572	131488	2695	625
1962	19.66	0.30	9882459	97160	2897	626
1963	22.12	0.26	8469087	93660	2163	636
1964	23.90	0.30	10020503	119770	2251	709
1965	25.08	0.36	8546407	107162	2283	757
1966	20.56	0.32	9814695	100879	2347	619
1967	18.25	0.32	10950650	99938	2311	543
1968	25.41	0.50	10217981	129826	2918	525
1969	28.50	0.44	11339327	161563	2820	623
1970	29.55	0.61	12628712	186591	4586	481
1971	26.03	0.89	11025788	143498	2645	430
1972	34.06	0.76	12465917	212295	3317	472
1973	24.22	0.56	19799310	239757	4483	395
1974	17.23	0.72	28125162	242264	6630	447
1975	25.35	0.52	18674666	236675	5036	777
1976	24.41	0.60	22713640	277168	4380	841
1977	22.40	0.73	20680282	231630	4762	715
1978	10.50	0.23	39905792	209418	6194	824
1979	11.94	0.34	36808284	219733	5059	894
1980	13.47	0.39	27779298	187116	4683	724
1981	14.83	0.45	28056554	208035	4645	702
1982	11.67	0.48	25268964	147387	3559	631
1983	16.45	0.56	13816293	113611	2997	536
1984	20.84	0.47	16317565	170014	4646	671
1985	34.35	1.01	14571205	250286	3821	750
1986	29.24	0.57	21541778	314939	5167	983
1987	24.45	0.69	25724052	314426	5298	1190
1988*	18.47	0.42	36027656	332638	6328	1041
1989*	26.78	0.82	24897272	333427	6454	882
1990*	25.38	0.55	24909306	316068	6034	1087

*Preliminary values

*Valores preliminares

ESTIMACION DE LAS FRECUENCIAS DE TALLA DE ATUN ALETA AMARILLA (*THUNNUS ALBACARES*) CAPTURADO POR ARTES COMERCIALES EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL

por

Patrick K. Tomlinson, Sachiko Tsuji¹, y Thomas P. Calkins

RESUMEN

Se describen los métodos de recoger de muestreo para estimar el número o peso de peces capturados, por intervalo de talla. Se describen varios modelos para el muestreo de dos etapas, y se presentan las ecuaciones para los estimadores y sus varianzas. Se usan los resultados de un breve estudio de simulación para indicar las diferencias entre estimaciones realizadas con los distintos modelos.

También se describe un estimador para el peso promedio de peces en la captura y su varianza. Se usan estos estimadores para calcular estimaciones mejoradas de las capturas anuales totales de aleta amarilla tomadas del Océano Pacífico oriental, al este de 150°W, entre 1955 y 1990.

INTRODUCCION

Desde 1954 el personal de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) viene reuniendo datos, clasificados (o desglosados) por arte de pesca, sobre atunes aleta amarilla, *Thunnus albacares*, capturados en el Océano Pacífico oriental (OPO), la parte del Océano Pacífico al este de 150°W. El OPO se divide en un área interior, el Area Regulatoria de la Comisión para el Aleta Amarilla (ARCAA), y un área exterior, denominada en este informe el XARCAA (Figura 1). El personal de la CIAT recopila datos sobre peces capturados en el OPO por barcos que descargan sus capturas en puertos de Norteamérica y Sudamérica; la mayoría de éstos capturan peces en la superficie con arte de carnada o de cerco. Datos sobre palangreros japoneses que pescan en el OPO fueron proporcionados por el National Research Institute of Far Seas Fisheries de Japón. Cantidades menores de aleta amarilla son capturadas por palangreros de otros países, pero no se consideran éstas en este informe, ni tampoco los datos de la pesca de superficie de los años previos a 1955, recopilados por el California Department of Fish and Game. También se excluyen las cantidades pequeñas de aleta amarilla capturadas por la pesca artesanal y deportiva.

Informes publicados previamente sobre la pesca de superficie incluyen estudios por Henemuth (1957, 1961a, 1961b), Davidoff (1963, 1969), y los Informes Anuales, Bimestrales, y Trimestrales de la CIAT posteriores a 1954. Investigaciones basadas en datos recopilados de la pesca palangrera incluyen aquellas de Suda y Schaefer (1965), Kume y Schaefer (1966), Kume y Joseph (1969), Shingu *et al.* (1974), Miyabe y Bayliff (1987), y Nakano y Bayliff (1992). Suzuki *et al.* (1978) y Suzuki (1988) examinaron conjuntamente datos de las pesquerías de superficie y palangrera.

Este informe describe los métodos de utilizar los datos recopilados para estimar las frecuencias de talla de los aletas amarillas en la captura. Los datos incluyen estimaciones de la captura, clasificadas por arte de pesca, intervalo de tiempo, y área, y de la relación peso-talla, así como las muestras de peces tomadas al azar de las capturas y medidas para determinar la talla. El objetivo de este informe es documentar todos los métodos que usan estas muestras de talla para estimar el

1. Dirección actual: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japón

número o peso de peces capturados, por intervalo de talla, y el peso promedio de los peces en la captura. Se presentan algunos resultados que comparan un método nuevo con el método previo. Se usa un estudio de simulación para verificar que el método nuevo es preferible al previo.

DESCRIPCION DE LAS PESQUERIAS

Pesca con carnada

En este tipo de pesca se echa carnada viva al agua para atraer peces al barco y mantenerlos allí, y entonces capturarlos con caña y carnada. Cada línea tiene un cebo, o se ceba con un pez vivo, y se capturan los atunes uno por uno. Se continúa la pesca hasta que los peces paren, o casi paren, de picar. A continuación se cargan los atunes capturados en bodegas y se congelan. Normalmente, se necesita más de un "parada" para llenar una bodega, y cada barco de carnada tiene más de una bodega. Cuando todas las bodegas están casi llenas, o a veces, por distintas razones, antes de eso, el barco regresa a puerto para descargar su captura. Ya que generalmente los barcos de carnada pescan cerca de la costa, de islas de altura, o montes submarinos, se considera a la pesquería con carnada en el OPO una pesquería cerrada, es decir, con límites bien definidos.

Pesca con red de cerco

Los barcos cerqueros no usan carnada; por lo tanto necesitan solamente localizar cardúmenes de peces y capturarlos. Al localizar un cardumen, el barco procura cercarlo con su red. Si se captura el cardumen, o parte del mismo, se carga en las bodegas. Una vez llenas, o casi llenas, las bodegas, el barco regresa a puerto para descargar su captura. A veces, los aletas amarillas capturados por barcos cerqueros son separados por talla en el mar, pero no se muestrean tales peces para determinar la composición por talla. Los barcos cerqueros son capaces de pescar a mayor distancia de la costa que los barcos de carnada, pero la pesquería del OPO es considerada todavía como una pesquería cerrada.

Pesca con palangre

La pesca palangrera es significativamente diferente de las pesquerías de superficie. Se calan los palangres en áreas que la experiencia demuestra son productivas, no al avistar atunes en o cerca de la superficie. Los barcos palangreros permanecen en el mar durante períodos más largos que los barcos de carnada o cerqueros. Se cala y recobra cada día una línea principal con muchas líneas secundarias, cada una con un anzuelo con carnada. Generalmente se pesca a profundidades de entre 50 y 250 m. No se considera que los atunes capturados provengan de cardúmenes, aunque no es seguro que éste sea el caso. Al recobrar la línea, se remueven los peces inmediatamente y se congelan y almacenan. En el OPO faenan dos categorías de barco, comerciales y de entrenamiento. Normalmente los palangreros faenan lejos de la costa por todo el Océano Pacífico, haciéndola una pesquería sin límites.

METODOS PARA LA TOMA DE DATOS Y EL MUESTREO

Normalmente se descargan las bodegas de los barcos de carnada y cerqueros en parejas o individualmente. La mayoría de los barcos llevan bitácoras de la CIAT en las cuales los capitanes registran sus actividades en el mar. La información registrada incluye la fecha, posición, cantidad estimada de atún (normalmente por especie) capturada de cada cardumen, y en cuáles bodegas se almacenó el pescado. Un miembro del personal de la CIAT hace un resumen de los datos de la bitácora

para cada viaje. Los capitanes de algunos de los barcos más pequeños no mantienen bitácoras, y en este caso el empleado de la CIAT prepara un resumen de información oral, apuntes anotados en un calendario, *etc.* De ser posible, un miembro del personal mide una muestra de peces de una bodega o pareja de bodegas, siempre que todos los peces en esa bodega o pareja de bodegas fueron capturados en un solo estrato de mes-área. Una muestra consiste normalmente de 50 peces seleccionados al azar (Hennemuth, 1957) durante la descarga. Se mide cada pez al milímetro más cercano, usando calibres especiales capaces de medir hasta 2 metros. Se registran las mediciones y otra información, tal como cuándo, dónde, y cómo se hizo la captura, en un formulario preparado para ese propósito. En la oficina de La Jolla se resumen las mediciones en intervalos de 1 cm y se ingresan en una base de datos de computadora, junto con información sobre la captura.

Cuando los barcos descargan el pescado, algún tipo de registro, tal como una factura de venta, indica el peso verdadero de la captura desembarcada, normalmente por especie. El personal de la CIAT obtiene la información en estos registros de desembarcos. En resumen, la información en las bitácoras incluye detalles sobre las capturas, pero los pesos son solamente aproximaciones, mientras que los registros de descargas incluyen mediciones exactas de los pesos de las capturas pero poca o ninguna información sobre cuándo, dónde, y cómo se capturó el pescado.

Casi todos los barcos palangreros proporcionan información de bitácora a sus gobiernos respectivos; ésta incluye los datos de fecha y área de captura y la cantidad de peces de cada especie capturada por cada línea calada. Algunos de los atunes capturados por barcos de entrenamiento del Japón son medidos en el momento de captura. No se muestrean peces capturados por palangreros durante descargas en puerto, y no se registran los pesos.

METODOS ANALITICOS

Se hacen algunas de las estimaciones del número y peso de los peces por intervalo de talla con modelos descritos por Shingu *et al.* (1974). Sin embargo, en este informe se presentará mayor detalle. Se describe el marco de muestreo (Cochran, 1977) como muestreo aleatorio estratificado de dos etapas, con unidades de primera etapa de tamaño variable. Se supone que el muestreo en la primera etapa y la segunda también es muestreo aleatorio sencillo. Sin embargo, las unidades de primera etapa y los estratos son diferentes en los distintos informes arriba mencionados. Las definiciones dentro de los estratos son:

N = número de unidades de primera etapa (bodega o pareja de bodegas);

n = número de unidades de primera etapa muestreadas;

K = número de grupos de talla;

M_i = número de unidades de segunda etapa (peces) en la unidad de primera etapa i ;

m_i = número de unidades de segunda etapa muestreadas de la unidad de primera etapa i ;

$y_{ijk} = 1$ si el pez es del grupo de talla k , y 0 si no, unidad de primera etapa i y unidad de segunda etapa j ; $i = 1$ a n ; $j = 1$ a m ; y $k = 1$ a K ;

$$\bar{y}_{ik} = \frac{m_i}{\sum_j y_{ijk}/m_i} = \text{fracción de la muestra } i \text{ perteneciente al grupo de talla } k \text{ o promedio de los números } y_{ijk};$$

$$w_{ijk} = \alpha L_k^\beta = \text{el peso del pez si es del grupo de talla } k, \text{ y } 0 \text{ si no, unidad de primera etapa } i \text{ y unidad de segunda etapa } j;$$

$$L_k = \text{talla de punto medio del grupo de talla } k;$$

$$\alpha, \beta = \text{coeficientes de la ecuación peso-talla para el aleta amarilla (Chatwin, 1959, o Kamimura y Honma, 1959);}$$

$$\bar{w}_{ik} = \frac{m_i}{\sum_j w_{ijk}/m_i} = \text{promedio de todos los pesos, } w_{ijk} \text{ en grupo de talla } k \text{ de unidad de primera etapa } i;$$

$$\bar{\bar{w}}_i = \frac{K}{k} \bar{w}_{ik} = \text{peso promedio por pez en la unidad de primera etapa } i;$$

$$W_i = \text{captura total en peso para unidad de primera etapa } i;$$

$$\bar{W} = \frac{n}{\sum_i W_i/n} = \text{estimación del peso total promedio por unidad de primera etapa};$$

$$W = \sum_i^N W_i = \text{captura total del estrato en peso};$$

$$M = \sum_i^N M_i = \text{captura total del estrato en número de peces};$$

$$\hat{M}_i = W_i / \bar{\bar{w}}_i = \text{estimación de } M_i \text{ para la pesca de superficie};$$

$$\hat{W} = M \sum_i^n M_i \bar{\bar{w}}_i / \sum_i^n M_i = \text{estimación de } W \text{ para la pesca palangrera};$$

$$(1) \quad \bar{\bar{\bar{w}}} = \hat{W} / M = \text{estimación del peso promedio por pez capturado en el estrato de pesca palangrera};$$

$$(2) \quad \bar{\bar{\bar{w}}} = \frac{\sum_i^n \hat{M}_i \bar{\bar{w}}_i}{\sum_i^n \hat{M}_i} = \text{estimación de peso promedio por pez capturado en el estrato de pesca de superficie};$$

$$\hat{M} = W / \bar{\bar{\bar{w}}} = \text{estimación de } M \text{ para la pesca de superficie};$$

$$(3) \quad \hat{Y}_k = M \sum_i^n M_i \bar{y}_{ik} / \sum_i^n M_i = \text{número estimado de peces de talla } k \text{ capturados en el estrato de pesca palangrera};$$

(4) $\hat{Y}_k = \hat{M} \sum_i^n \hat{M}_i \bar{y}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i$ = número estimado de peces de talla k capturados en el estrato de pesca de superficie;

(5) $\hat{W}_k = M \sum_i^n M_i \bar{w}_{ik} / \sum_i^n M_i$ = peso estimado de peces de talla k capturados en el estrato de pesca palangrera;

(6) $\hat{W}_k = \hat{M} \sum_i^n \hat{M}_i \bar{w}_{ik} / \sum_i^n \hat{M}_i$ = peso estimado de peces de talla k capturados en el estrato de pesca de superficie;

$\hat{Y}_k = \hat{Y}_k / M$ = fracción estimada del número capturado que pertenecen a la talla k en el estrato de pesca palangrera;

$\hat{Y}_k = \hat{Y}_k / \hat{M}$ = fracción estimada del número capturado que pertenecen a la talla k en el estrato de pesca de superficie;

$f_{2i} = m_i / M_i$ = fracción de muestreo para la captura en número de la unidad de primera etapa i para la pesca palangrera;

$\hat{f}_{2i} = m_i / \hat{M}_i$ = fracción de muestreo para la captura en número de la unidad de primera etapa i para la pesca de superficie;

$\hat{N} = W / \bar{W}$ = estimación de N para la pesca de superficie;

$f_1 = n / N$ = fracción de muestreo para unidades de primera etapa del estrato de la pesca palangrera;

$\hat{f}_1 = n / \hat{N}$ = fracción de muestreo para unidades de primera etapa del estrato de la pesca de superficie;

(7) $v_{2ik} = \sum_j^{m_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ik})^2 / (m_i - 1)$ = varianza de segunda etapa en la unidad de primera etapa i para talla k ;

$v_{1k} = N^2 (1 - f_1) \sum_i^n M_i^2 (\bar{y}_{ik} - \hat{Y}_k)^2 / (n^2 - n)$ = varianza de primera etapa de números para grupo de talla k para la pesca palangrera;

$\hat{v}_{1k} = \hat{N}^2 (1 - \hat{f}_1) \sum_i^n \hat{M}_i^2 (\bar{y}_{ik} - \hat{Y}_k)^2 / (n^2 - n)$ = varianza de primera etapa de números para grupo de talla k para la pesca de superficie;

$v_{2k} = N^2 \sum_i^n M_i^2 (1 - f_{2i}) v_{2ik} / (n^2 m_i)$ = varianza de segunda etapa de números para grupo de talla k para la pesca palangrera;

$$\hat{v}_{2k} = \hat{N}^2 \sum_i^n \hat{M}_i^2 (1 - \hat{f}_{2i}) v_{2ik} / (n^2 m_i) = \text{varianza de segunda etapa de números para grupo de talla } k \text{ para la pesca de superficie;}$$

$$(8) \quad v(\hat{Y}_k) = v_{1k} + v_{2k} = \text{varianza estimada de la ecuación (3), el número estimado de peces del grupo de talla } k \text{ capturados por la pesca palangrera;}$$

$$(9) \quad v(\hat{Y}_k) = \hat{v}_{1k} + \hat{v}_{2k} = \text{varianza estimada de ecuación (4), el número estimado de peces del grupo de talla } k \text{ capturados por la pesca de superficie.}$$

Se podría calcular una varianza para el peso estimado del grupo de talla k (ecuaciones (5) ó (6)) de manera similar sustituyendo w_{ijk} por y_{ijk} en todas las ecuaciones entre (7) y (9). Sin embargo, se estiman los w_{ijk} a partir de las tallas, y son por lo tanto constantes dentro de los grupos de talla, llevando a una subestimación de la varianza. Ya que la mayoría de la varianza resulta de una variación entre unidades de primera etapa, esta subestimación quizás no sea grave. Además, es posible obtener una varianza aproximada para el peso promedio estimado por pez en el estrato (ecuaciones (1) ó (2)). Las ecuaciones son:

$$w_{ij} = \text{peso estimado } (\alpha L^{\beta}) \text{ del } j\text{-ésimo pez de la } i\text{-ésima unidad; } j = 1 \text{ a } m \text{ y } i = 1 \text{ a } n;$$

$$v_{2i} = \sum_j^{m_i} (w_{ij} - \bar{w}_i)^2 / (m_i - 1) = \text{varianza de segunda etapa, } i\text{-ésima unidad;}$$

$$v_1 = N^2 (1 - f_1) \sum_i^n M_i^2 (\bar{w}_i - \bar{w})^2 / (n^2 - n) = \text{componente de varianza de primera etapa para peso total;}$$

$$v_2 = N^2 \sum_i^n M_i^2 (1 - f_{2i}) v_{2i} / (n^2 m_i) = \text{componente de varianza de segunda etapa para peso total;}$$

$$v(\bar{w}) = (v_1 + v_2) / M^2 = \text{varianza estimada del peso promedio capturado.}$$

Con la excepción del peso promedio, las estimaciones para dos o más estratos pueden ser combinadas sumando sencillamente las estimaciones de cada estrato. La varianza de una suma tal es la suma de las varianzas de las estimaciones de cada estrato incluídas en el total. Se obtiene el peso promedio de estratos combinados dividiendo la suma de los pesos por la suma de los números. Ya que el peso es el producto del peso promedio y número, el promedio de estratos combinados es un promedio ponderado, con los números como ponderación. Es decir, $M(r)$, $w(\bar{r})$, y $v[w(\bar{r})]$ son los valores de M , \bar{w} , y $v(\bar{w})$, respectivamente, para el r -ésimo estrato, y hay s estratos,

$$\bar{w} = \frac{\sum_r^s M(r) \bar{w}(r)}{\sum_r^s M(r)} = \text{peso promedio ponderado para } s \text{ estratos;}$$

$$v(\bar{w}) = \frac{\sum_r^s M(r)^2 v[\bar{w}(r)]}{[\sum_r^s M(r)]^2} = \text{varianza estimada.}$$

En el caso donde se estiman los M a partir de los mismos datos que los pesos promedios, tal como en la pesca de superficie, la ecuación probablemente subestima la varianza. Se puede estimar

la talla promedio y su varianza si se fijara w_{ijk} igual a la talla medida y se usaran las ecuaciones arriba para calcular el w promedio.

Otros estimadores que se consideraron son:

$$(10) \hat{Y}_k(u) = N \sum_i^n M_i \bar{y}_{ik}/(n) = \text{estimación insesgada } (u) \text{ de } Y_k;$$

$$(11) \hat{W}_k(u) = N \sum_i^n M_i \bar{w}_{ik}/(n) = \text{estimación insesgada } (u) \text{ de } W_k;$$

$$(12) \hat{Y}_k(b) = M \sum_i^n \bar{y}_{ik}/n = \text{estimación sesgada } (b) \text{ de } Y_k;$$

$$(13) \hat{W}_k(b) = M \sum_i^n \bar{w}_{ik}/n = \text{estimación sesgada } (b) \text{ de } W_k.$$

El uso de las ecuaciones (10) ó (11) sería aceptable si el M_i no variara mucho, pero para el aleta amarilla las estimaciones tienen varianzas inevitablemente mayores a aquellas calculadas por las ecuaciones (4) ó (5). Se usaban con frecuencia las ecuaciones (12) ó (13) en el pasado, pero típicamente son muy sesgadas a menos que los M_i sean casi constantes. Sukhatme y Sukhatme (1973) presentan un método para corregir el sesgo en la ecuación (12), pero ningún estimador para la varianza. Cabe destacar que las ecuaciones (3) a (6) también son sesgadas, pero con base en en el estudio de simulación (Figura 8), los sesgos son pequeños y estos estimadores típicamente tienen las varianzas más pequeñas.

Se llevó a cabo un breve estudio de simulación para evaluar los sesgos y varianzas de los distintos modelos. Se construyó una población de 40 unidades de primera etapa y un número variable de unidades de segunda etapa (número de peces por bodega). Se construyó al azar la distribución de la frecuencia de talla dentro de cada unidad de primera etapa seleccionando el número total de peces, el número de grupos de edad, la edad de cada grupo, y la probabilidad de que cualquier edad esté en la unidad. Se supuso que la distribución de tallas para cada edad era normal, con la talla media de la población tomada de la relación de crecimiento de Wild (1986) y una desviación estándar de 6 tomada de observaciones sobre los datos de talla previos. Se seleccionaron todos los peces al azar, con las condiciones mencionadas. Una vez construida la población de tallas para cada unidad de primer etapa, se seleccionó una muestra aleatoria de 10 unidades de primer etapa ($n = 10$) y entonces se seleccionaron 50 unidades de segunda etapa ($m_i = 50$) por muestreo aleatorio sencillo. Se repitió este procedimiento de selección de $n = 10$ y $m_i = 50$ 5000 veces de la misma población. Se construyeron dos poblaciones tales, una con relativamente pocos grupos de edad y una varianza pequeña entre unidades de primera etapa y la otra con más grupos de edad y una varianza mayor.

Como ya se ha mencionado, los datos de $W(i)$ de la pesquería de superficie son estimaciones hechas por el personal del barco y anotadas en la bitácora, y no se dispone de datos de bitácora para algunos viajes. Sin embargo, los recibos de descarga proporcionan suficiente información para obtener la captura total para varias categorías, tal como capacidad del barco y pams de origen. Entre 1966 y 1979, la pesquería del aleta amarilla del OPO funcionó bajo un sistema de cuota para el ARCAA. Los viajes fueron por lo tanto clasificados como no regulados (temporada abierta) o regulados (temporada cerrada), y ésto afectó el porcentaje de viajes cubiertos por bitácoras. Más detalladamente, se usan las categorías siguientes:

1. País de registro
2. Capacidad del barco (entre 0 y 400 toneladas o más de 400 toneladas de capacidad de acarreo)
3. Arte de pesca (carnada, red de cerco, o palangre)
4. Estado de reglamentación (regulado o no regulado)
5. Area general (ARCAA o XARCAA)

(En este informe el término "toneladas" se refiere a toneladas cortas.) Para cada una de estas cinco categorías, el personal de la CIAT puede obtener la captura anual total (CAT) de los recibos de descarga. Se combinan los datos sobre peces capturados por bolicheros (barcos cerqueros pequeños sin equipo congelador) y curricanes con los datos sobre peces capturados por barcos de carnada. Datos sobre peces capturados con artes de superficie para los cuales no hay información sobre el tipo de arte son combinados con los datos sobre peces capturados con red de cerco. Así, para cada país, podría haber hasta 24 CAT (3 tipos de arte \times 2 capacidades de barco \times 2 estados de reglamentación \times 2 áreas generales). Sin embargo, debido a que no hay barcos de carnada ni cerqueros en el OPO de países con palangreros en el OPO y ningún palangrero de cualquiera de los demás países, ningún país tendrá más que 16 CAT. Para cada CAT, hay s estratos donde, para el estrato r ,

L_r = suma de las estimaciones de bitácora (W_i) para el estrato r ,

$TL = \sum_r^s L_r$ = total anual de las estimaciones de bitácora para una categoría de CAT, y

$W_r = (CAT)L_r/(TL)$ = estimación de la captura total en el estrato r .

Se pueden así usar los datos de bitácora para estimar la fracción de la captura anual (CAT) lograda durante cada mes-área para cada una de las cinco categorías. Ya que no se usan las categorías 1, 2, 4, y 5 como variables de estratificación para los datos de talla, se tienen que añadir sus valores de L_r dentro del mismo mes-área para obtener los valores de captura total del estrato (W).

Para los palangreros, la mayoría de las capturas son conteos de la cantidad de peces por área de 5 grados y mes, con ajustes para capturas reportadas por peso. Se obtiene por lo tanto la captura total del estrato (M) para palangre al sumar los datos de áreas de 5-grados dentro de un estrato.

Por lo general, para las pesquerías de superficies y palangrera, se puede estimar la captura para cada estrato, pero quizás no existan muestras de talla para todos. En el caso de estratos sin muestras, se colapsa la captura en un estrato contiguo, o sea, se añade el W de un estrato sin muestras al W de un estrato cercano con muestras. Se ha determinado un método para este colapso, un poco arbitrariamente, para permitir hacerlo de forma consistente. En general, la regla es colapsar en el área más próxima que tradicionalmente tiene peces de talla similar durante el mismo mes. Sin embargo, para algunos estratos es necesario colapsar en el estrato correspondiente a un mes precedente o siguiente. Para algunos tipos de estimaciones, tal como frecuencias de talla en los Informes Anuales y Trimestrales de la CIAT, no se han usado capturas de estratos sin muestras.

En el pasado se han usado varios sistemas de estratificación para las pesquerías de superficies y palangrera (Hennemuth, 1961; Davidoff, 1969; Suzuki *et al.*, 1978; Miyabe y Bayliff, 1987; Punsly y Deriso, 1991; Nakano y Bayliff, 1992). Hay actualmente cuatro sistemas de estratificación, usados para distintos propósitos, tal como se mencionó brevemente en la Introducción. Los cuatro sistemas son:

- (a) Informes Trimestrales de la CIAT—distribuciones de talla de peces capturados por la pesca de superficie,

- (b) Informes Anuales de la CIAT–distribuciones de talla de peces capturados por la pesca de superficie,
- (c) Informes Anuales de la CIAT–composición de edad de peces capturados por la pesca de superficie,
- (d) Informes Anuales de la CIAT–composición de edad de peces capturados por la pesca palangrera.

Los Informes Trimestrales de la CIAT abarcan solamente la pesquería de superficie y usan las áreas indicadas en la Figura 2, con períodos correspondientes, más o menos, a trimestres del año y con capturas (W_i) basadas en estimaciones de bitácora. Las capturas totales (W) son sumas de las capturas en los datos de bitácora, basadas en la fecha de descarga (no la fecha de captura). Las frecuencias de talla reportadas en los Informes Anuales de la CIAT desde 1969 corresponden a la pesquería de superficie, y se usa la estratificación indicada en la Figura 3. Los períodos corresponden exactamente a los trimestres del año cuando se realizaron las capturas, y las capturas (W_i) son estimaciones de bitácora. Para las frecuencias de talla en los Informes Anuales, capturas totales (W) han sido las sumas dentro del trimestre de las estimaciones de bitácora, omitiendo las capturas de estratos no muestreados. En el futuro, se ajustarán estos totales (W) para que la suma de todos los estratos muestreados sea igual a la suma de las CAT. El uso de datos de talla en la determinación de edad de la captura de superficie para los estudios de dinámica de población y de cohortes, reportados en los Informes Anuales de la CIAT, se basa en las áreas indicadas en la Figura 4. Las capturas de primera etapa (W_i) son estimaciones de bitácora, mientras que se ajusta la captura total (W) para que la suma de todos los W dentro del año sea igual a la suma de las CAT. Se hacen los cálculos para los datos de palangre por mes y área, tal como se indica en la Figura 5, y a continuación se tratan de la forma descrita previamente en este informe, pero se añaden los datos de palangre a los de superficie y no se reportan por separado. Se usaron diferentes estratificaciones de área en los distintos Boletines de la CIAT que tratan de la pesca palangrera. Punsly y Deriso (1991) usaron un método de “vecino más cercano” para estimar frecuencias de talla para cada lance cerquero, y sumaron sobre los lances para obtener estimaciones por estrato.

La estimación de distribuciones de talla para este informe se basa en las áreas indicadas en la Figura 4 para la pesca de superficie y en la Figura 5 para la pesca palangrera. Se estratifica la pesca de superficie del aleta amarilla por área, mes, y arte de pesca (carnada o red de cerco), y la primera etapa es normalmente 1 ó 2 bodegas y la segunda peces individuales. Se estratifica la pesca palangrera del aleta amarilla por área y mes, y la primera etapa es la captura total de un área de 10 grados por 20 y la segunda es peces individuales. Los datos de talla de la pesca palangrera son asignados a áreas de 10 grados por 20 que comienzan donde el meridiano de 180° cruza la línea ecuatorial. Las áreas son formadas por pasos de 10 grados de latitud, al norte o sur, y de 20 grados de longitud. Algunas unidades de primera etapa se extienden por lo tanto más al oeste del límite occidental del OPO (150°), y en algunos lugares a lo largo del límite del ARCAA. Sin embargo, se dispone de datos de captura de la pesca palangrera por áreas de 5 grados, permitiendo el cálculo de M para cada estrato. Se tratan las unidades de primera etapa como si provinieran del estrato, aunque las muestras de talla quizás se originaron de hasta cinco grados afuera del estrato. Además, ya que en el pasado se deseó estimar frecuencias de talla para el ARCAA y XARCAA separadamente, es posible que se hayan usado algunas muestras de la pesca palangrera para más de un estrato.

RESULTADOS

Las frecuencias de talla computadas con la ecuación (12), el método usado comúnmente en el pasado, y la mejor manera de comparar aquellas computadas con la ecuación (4) es examinar las

Figuras 6 y 7. Estas representan el peso estimado capturado en cada grupo de talla (de las ecuaciones (6) y (13)), ya que las grandes cantidades de peces pequeños que dominan el gráfico dificultan la representación gráfica del número de peces. Graficar estas frecuencias con peso en lugar de números produce gráficas distribuidas de manera más uniforme entre peces pequeños y grandes. La Figura 6, correspondiente a 1988, representa un año en que hubo una mezcla de peces pequeños y grandes en la captura. La Figura 7, correspondiente a 1985, representa un año cuando los peces fueron por la mayor parte aproximadamente de la misma talla (grandes, en este caso). El sesgo que resulta del uso de la ecuación (12) ó (13) será obviamente mayor cuando haya una mezcla de tallas en la captura. La ecuación (12) producirá subestimaciones del número de peces pequeños y sobreestimaciones del número de peces grandes en la captura.

La forma más sencilla de presentar los resultados del estudio de simulación es presentar las estimaciones de la talla promedio de los peces en la captura. Esta comparación tiene como objetivo demostrar las diferencias entre los resultados producidos por las ecuaciones (4), (10), y (12) y justificar en cierta medida el uso de la ecuación (4), aunque las ecuaciones (4), (10), y (12) no son estimadores del peso promedio. Los sesgos y varianzas de los pesos promedios estimados reflejan los sesgos y varianzas de los números de peces estimados. Los resultados de la simulación (Figura 8) indican que el sesgo de la ecuación (12) es mayor cuando hay más varianza entre unidades de primera etapa, que la varianza de la ecuación (4) es la más pequeña, y que el sesgo de la ecuación (4) es bien pequeño en relación a la varianza. Un resultado interesante, que no se puede ver en la Figura 8, es una reducción del sesgo obtenido con la ecuación (4) que resulta de la estimación del M_i . El sesgo obtenido con la ecuación (4) sería positivo si se conociera el M_i , pero fue ligeramente negativo cuando se usaron los M_i estimados en las ecuaciones. El fenómeno de que el promedio sea más bajo para M_i estimados que para M_i conocidos ocurrió con todos los estimadores.

A fin de estudiar los estimadores de varianza, se comparó el promedio de las 5000 estimaciones de varianza para cada estimador con la varianza de las 5000 estimaciones del promedio para cada estimador. En general, los estimadores de varianza funcionaron muy bien, con la excepción de aquel de la ecuación (10). La varianza obtenida con la ecuación 10, con el M_i estimado, subestimó gravemente la varianza para el caso de alta varianza entre unidades de primera etapa. Para la ecuación (4), el estimador de varianza subestimó ligeramente la varianza con M_i conocido y con M_i estimado también.

La captura de la pesquería con carnada (Tabla 1) disminuyó sustancialmente durante el período entre 1955 y 1990, y la talla promedio de los peces capturados ha disminuído también (Tabla 1 y Figuras 9 y 12). La configuración general de las frecuencias de talla de la pesquería de carnada (Figura 9) ha permanecido casi igual, aunque el rango de tallas ha bajado con el tiempo, y no se ha capturado casi ningún pez grande con arte de carnada desde 1982.

La captura por barcos cerqueros (Tabla 2) ha aumentado, disminuído, y aumentado de nuevo, mientras que la talla promedio ha disminuído, entonces aumentado, y disminuído de nuevo, y finalmente aumentado (Tabla 2 y Figuras 10 y 12). Las frecuencias de talla de la pesquería cerquera, a diferencia de aquellas de la pesquería con carnada, señalan una pesquería que está cambiando.

Las capturas de la pesquería de superficie han aumentado de menos de 100 mil toneladas cortas (91,000 toneladas métricas) a fines de los años 50 y a principios de los 60 a más de 300 mil toneladas cortas (272,000 toneladas métricas) a fines de los años 80 (Tabla 3). El peso promedio de peces capturados por esta pesquería ha fluctuado de 5 kg (10 libras) en 1978 a 15 kg (34 libras) en 1985. Todos los errores estándar de las estimaciones de los pesos promedios de la pesquería de superficie, con una excepción, son inferiores a 0.5 kg. La proporción de muestreo media de unidades de primera etapa en la pesquería de superficie fue 18 por ciento.

Los datos de la pesquería con palangre indican un peso promedio disminuyendo continuamente

desde fines de los años 50 hasta mediados de los años 80, y a continuación una recuperación leve (Tabla 4 y Figuras 11 y 12), con un máximo de 59 kg (130 libras) en 1956 y un mínimo de 31 kg (69 libras) en 1981. Las frecuencias de talla en la pesquería palangrera han permanecido similares (Figura 11), con la excepción de la disminución en las capturas de los peces más grandes. La captura palangrera ha permanecido más o menos constante desde 1961, con la excepción de unos años buenos (por ejemplo, 1963, 1964, y 1965) y unos años malos (por ejemplo, 1971 y 1981). Los errores estándar del peso promedio estimado han variado de 0.13 a 1.23. La cobertura de muestreo media para unidades de primera etapa de la pesquería palangrera fue 34 por ciento, pero ésto podría ser engañoso a raíz de la manera en que se formaron las unidades de muestreo.

DISCUSION

Se han usado varios métodos a lo largo de los años para estimar las distribuciones de frecuencia de talla del aleta amarilla. Por lo general, se puede caracterizar algunas de las de uso más frecuente como muestreo estratificado con muestreo aleatorio sencillo dentro de estratos. Aunque las muestras consistieron normalmente de 50 peces tomados de la misma bodega o pareja de bodegas, fueron agrupados dentro del estrato y se asignó a cada pez muestreado una ponderación igual. Ya que se ha demostrado (Sukhatme, 1973; Cochran, 1977), y confirmado en este informe, que es probable que este estimador tenga un sesgo grande, se investigaron nuevos métodos y se decidió usar un estimador de razón, a pesar de que también es sesgado. Se escogió el estimador de razón porque estudios anteriores demuestran que el sesgo de este tipo de estimador es pequeño para muestras de aleta amarilla y que su varianza es sustancialmente menor. Se encontraron estimadores insesgados, pero estos parecen tener varianzas mucho más grandes (o ningún estimador para la varianza). También es posible que estos estimadores estén sesgados si no existe información completa sobre la cantidad de unidades de primera etapa y el número de peces capturados. Ya que las unidades de primera etapa varían considerablemente con respecto a la cantidad de peces y por otras razones ya mencionadas, el uso de estimadores de razón, en conjunto con muestreo de dos etapas estratificado, parece ser una buena alternativa. Sin embargo, existen otras posibilidades que no se han investigado (Tomlinson, 1971; Sen, 1986; Punsly y Deriso, 1991).

Ya que la captura total es una estadística importante para la estimación del número total por grupo de talla o peso promedio, fue necesario revisar toda la información que produce estas estadísticas. Además, el personal de la CIAT ha estado repasando y revisando todos los datos durante una computarización de todas las bases de datos. El personal del National Research Institute of Far Seas Fisheries ha estado llevando a cabo un proceso similar. Se consideran las estimaciones presentadas en las Tablas 1 a 5 como las más precisas, debido principalmente al esfuerzo requerido para estimar la captura total en peso para la pesquería palangrera. Las capturas de la pesca de superficie concuerdan con aquellas la Tabla 1 del Informe Anual de la CIAT de 1989, ya que esos datos no incluyen la captura palangrera. Todas las estimaciones de frecuencia de talla, peso promedio, y captura palangrera en peso están altamente relacionadas a las estimaciones de la relación peso-talla. Se están revisando los valores usados para los parámetros de las relaciones peso-talla (Chatwin, 1959; Kamimura y Honma, 1959) mediante la toma de datos nuevos para lograr una mejor comprensión de estas relaciones. Por lo tanto, todas las estimaciones estarán sujetas a cambios.

Otro factor que afecta nuestra comprensión del impacto de la pesca sobre la población es la diferencia entre capturar peces y embarcarlos. La mayoría de los aletas amarillas capturados en el OPO son capturados por barcos cerqueros, y se supone que todos los peces que queden en la red después de cerrarla estarán muertos, pero no se embarcan todos estos peces. Frecuentemente se descarta pescado, por muchas razones, antes de que sea embarcado. Sin embargo, no se ha hecho

ninguna estimación de las cantidades descartadas, lo cual significa que las capturas presentadas en este informe subestiman la captura verdadera.

En los Informes Anuales de Estadísticas de Esfuerzo y Captura por Área en la Pesca Palangrera Atunera Japonesa de 1955 a 1980 se publican las capturas en número de aleta amarilla por barcos japoneses por cada área de 5 grados y mes, pero los informes no contienen estimaciones de los pesos promedio de los peces. Varios boletines de la CIAT (Kume y Schaefer, 1966; Kume y Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974; Miyabe y Bayliff, 1987; Nakano y Bayliff, 1992) contienen estimaciones de pesos promedio, pero los métodos usados son considerablemente diferentes al método usado en este informe. En el futuro, quizás sea posible mejorar la estratificación por área para la pesca palangrera o usar un método de "vecino más cercano" (Punsly y Deriso, 1991) para la pesca de superficie para producir conjuntos diferentes de estimaciones para estas pesquerías.

RECONOCIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a todos los muestreadores, quienes han trabajado muy diligentemente para obtener los datos necesarios para poder realizar las estimaciones descritas en esta publicación. Se recibieron sugerencias útiles para mejoras en el manuscrito de la Dra. Nancy Lo y el Dr. Joseph Horwood, y de varios miembros del personal de la CIAT.

LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA

- Chatwin, B.M. 1959. The relationships between length and weight of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the eastern tropical Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 3 (7): 305-352.
- Cochran, W.G. 1977. Sampling Techniques, Third Edition. John Wiley and Sons, New York: xvi + 428 pp.
- Davidoff, E.B. 1963. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean 1951-1961. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 8 (4): 199-251.
- 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. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 14 (1): 1-44.
- Godsil, H.C. 1938. The high seas tuna fishery of California. Calif. Dept. Fish Game, Fish Bull., 51: 41 pp.
- Hennemuth, R.C. 1957. An analysis of methods of sampling to determine the size composition of commercial landings of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 2 (5): 171-243.
- Hennemuth, R.C. 1961a. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the years 1954-1958. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 5 (1): 1-112.
- Hennemuth, R.C. 1961b. Year class abundance, mortality and yield-per-recruit of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean, 1954-1959. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 6(1): 1-51.
- Kamimura, T. and M. Honma. 1959. The relationship between length and weight of the landings of yellowfin from the Pacific Ocean. Rep. Nankai Fish. Res. Lab. 11: 88-107 [in Japanese with English summary].
- Kume, S., and J. Joseph. 1969. The Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean east of 130°W, 1964-1966. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 13 (2): 275-418.
- Kume, S., and M.B. Schaefer. 1966. Studies on the Japanese long-line fishery for tuna and marlin in the eastern tropical Pacific Ocean during 1963. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 11 (3): 101-170.
- McNeely, R.L. 1961. The purse seine revolution in tuna fishing. Pacific Fisherman, 59 (7): 27-58.
- Miyabe, N., and W.H. Bayliff. 1987. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1971-1980. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 19 (1): 1-163.
- Nakano, H., and W.H. Bayliff. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-1987. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20 (5): 185-355.
- Punsly, R.G., and R.B. Deriso. 1991. Estimation of the abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, by age groups and regions within the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20 (2): 97-131.

- Scofield, W.L. 1951. Purse seines and other round haul nets in California. Calif. Dept. Fish Game, Fish Bull., 81: 83 pp.
- Sen, A.R. 1986. Methodological problems in sampling rockfish landings. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 84 (2): 409-421.
- Shingu, C., P.K. Tomlinson, and C.L. Peterson. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 16 (2): 65-230.
- Suda, A., and M.B. Schaefer. 1965. Size-composition of catches of yellowfin tuna in the Japanese long-line fishery in the eastern tropical Pacific east of 130°W. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 10 (4): 265-331.
- Sukhatme, P.V. and B.V. Sukhatme. 1970. Sampling Theory of Surveys with Applications, Second Edition. Iowa State Univ. Press, Ames: xvi + 452 pp.
- Suzuki, Z. 1988. Study of interaction between longline and purse seine fisheries on yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre). Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 25: 73-144.
- Suzuki, Z., P.K. Tomlinson, and M. Honma. 1978. Population structure of Pacific yellowfin tuna. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 17 (5): 273-441.
- Tomlinson, P.K. 1971. Some sampling problems in fishery work. Biometrics, 27 (3): 631-641.
- Wild, A. 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18 (6): 421-482.