

STATUS OF YELLOWFIN TUNA IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN

by

Mark N. Maunder and George M. Watters

CONTENTS

1. Executive summary.....	5
2. Data.....	6
3. Assumptions and parameters	10
4. Stock assessment.....	13
5. Stock status	20
6. Simulated effects of future fishing operations	24
7. Future directions	28
Figures	29
Tables.....	54
References.....	85

1. EXECUTIVE SUMMARY

This document presents the most current stock assessment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean (EPO). An age-structured, catch-at-length analysis is used to conduct this assessment. The analysis method is described by Maunder and Watters (2000), and readers are referred to that manuscript for technical details.

The stock assessment requires a substantial amount of information. Data on landings, discards, fishing effort, and the size compositions of the catches from a number of different fisheries have been analyzed. Several assumptions regarding processes such as growth, recruitment, movement, natural mortality, fishing mortality, and stock structure have also been made. Environmental influences on recruitment and fishing efficiency have also been considered in the assessment.

The recruitment of yellowfin tuna to the fisheries in the EPO is variable, and appears to be related to sea-surface temperatures (SSTs). The levels of recruitment to the fishery, at the age of 6 months, are positively correlated with the SSTs at the time of spawning 6 months earlier. It appears that the yellowfin population has experienced two different recruitment regimes (1975-1984 and 1985-1999), the second being higher than the first. These two regimes in recruitment are also correlated with regimes in the SSTs. The two recruitment regimes correspond to two regimes in biomass and fishing mortality; the higher recruitment regime producing greater biomasses and lower fishing mortalities. The spawning biomass ratio (SBR) of yellowfin tuna in the EPO was below the level that will support the average maximum sustainable yields (AMSYs) during the low-recruitment regime, but above that level during the high-recruitment regime. The two different productivity regimes may support two different levels of AMSY and associated SBRs. The current SBR is above the SBR level at AMSY, based on the current (1985-1999) productivity regime, and also within the range that has been suggested as target levels for other species. The effort levels are estimated to be around the levels that will support the AMSY (based on the current distribution of effort among the different fisheries). However, due to the large recruitment entering the fishery, the biomass and catch levels are much greater than the corresponding values at the AMSY. Future projections under the current effort levels and average recruitment indicate that the population will decline to an SBR level slightly less than that which will support the AMSY. These simulations were carried out using the average recruitment for the 1975-1999 period. If they had been carried out using the average recruitment for the 1985-1999 period it is likely that the estimates of SBR and catches would be higher.

The analysis indicates that a very strong cohort entered the fishery in 1998 and that this cohort increased the SBR and catches during 1999. There is also an indication the most recent recruitments are

low, which may lead to lower SBRs and catches, as is indicated by future projections under the current effort level. The lower SSTs may also indicate that the most recent recruitments will prove to be lower. However, these estimates of low recruitment are based on limited information, and are therefore very uncertain.

The overall average weights of yellowfin that are caught have consistently been much less than the critical weight, indicating that, from the yield-per-recruit standpoint, the yellowfin tuna in the EPO are overfished. There is substantial variability in the average weights of the yellowfin taken by the different fisheries, however. In general, the floating-object (Fisheries 1-4), unassociated (Fisheries 5 and 6), and baitboat (Fishery 10) fisheries capture younger, smaller fish than do the dolphin (Fisheries 7-9) and longline (Fisheries 11 and 12) fisheries. The longline fisheries and the dolphin fishery in the southern region (Fishery 9) capture older, larger yellowfin than do the coastal (Fishery 8) and northern (Fishery 7) dolphin fisheries. The AMSY calculations indicate that the yield levels could be greatly increased if the fishing effort is directed toward the fisheries that catch yellowfin that are closest to the critical weight (longlining and purse-seine sets on yellowfin associated with dolphins). This would also increase the SBR levels.

Moderate changes in the level of surface fishing effort are predicted to have no effect on the total catch of the primary surface fleet, but would substantially affect the SBR, the total catch of the longline fleet, and the average weight of fish in the catch from all fisheries combined. Increasing the level of surface fishing effort to 125 percent of its recent average would decrease the SBR, average weight of fish in the combined catch, and total catch taken by the longline fleet. Reducing the level of surface fishing effort to 75 percent of its recent average would have the opposite effects. Avoiding the capture of unmarketable yellowfin tuna around floating objects, particularly FADs, would not significantly affect the SBRs and catches, but would moderately increase the average weight.

2. DATA

Catch, effort, and size-composition data for January 1975-December 1999 were used to conduct the stock assessment of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean (EPO). The data for 1999, which are preliminary, include records that had been entered into the IATTC databases as of 17 April 2000. All data are summarized and analyzed on a quarterly basis.

2.1. Definitions of the fisheries

Sixteen fisheries are defined for the stock assessment of yellowfin tuna. These fisheries are defined on the basis of gear type (purse seine, baitboat, and longline), purse-seine set type (sets on floating objects, unassociated schools, and dolphins), and IATTC length-frequency sampling area or latitude. The yellowfin fisheries are defined in Table 2.1, and the spatial extent of each fishery is illustrated in Figure 2.1. The boundaries of the length-frequency sampling areas are also illustrated in Figure 2.1.

In general, fisheries are defined such that, over time, there is little change in the size composition of the catch. Fishery definitions for purse-seine sets on floating objects are also stratified to provide a rough distinction between sets made mostly on fish-aggregating devices (FADs) (Fisheries 1-2, 4, 13-14, and 16), and sets made on a mix of flotsam and FADs (Fisheries 3 and 15).

2.2. Catch and effort data

To conduct the stock assessment of yellowfin, the catch and effort data in the IATTC databases are stratified according to the fishery definitions described in Section 2.1 and presented in Table 2.1.

The IATTC staff has adopted three definitions relating to catch data; these terms are used throughout this report.

Landings – the amount of fish (weight or numbers) removed from the population at a given time and delivered to any landing facility at a subsequent time. (The landings are not necessarily delivered

to the landing facility during the same time period that the fish were removed from the population.)

Discards – the amount of fish (weight or numbers) removed from the population at a given time and NOT delivered to any landing facility at a subsequent time. (These fish are generally thrown overboard.)

Catch – the total amount of fish (weight or numbers) removed from the population at a given time (catch = landings + discards).

All three of these types of data are used to assess the stock of yellowfin tuna. Removals by Fisheries 10-12 are simply landings (Table 2.1). Removals by Fisheries 1-4 are landings plus some discards resulting from inefficiencies in the fishing process (see Section 2.2.2) (Table 2.1). The removals by Fisheries 5-9 are landings plus some discards resulting from inefficiencies in the fishing process and from sorting the catch. Removals by Fisheries 13-16 are only discards resulting from sorting the catch taken by Fisheries 1-4 (see Section 2.2.2) (Table 2.1).

2.2.1. Catch

Trends in the catch of yellowfin tuna in the EPO during each quarter between January 1975 and December 1999 are illustrated in Figure 2.2. The majority of catch of yellowfin has been taken by purse-seine sets on yellowfin associated with dolphins and by purse-seine sets on yellowfin in unassociated schools. It should be noted that the assessment presented in this report uses data starting from January 1, 1975, and substantial amounts of yellowfin were already being removed from the EPO by that time.

There has been substantial annual and quarterly variation in the catches of yellowfin tuna made by the surface fleet (Figure 2.2, Fisheries 1-10 and 13-16). This variation occurs in the total amount of catch, the spatial distribution of the catch, and in the set type of the catch. In general, catches of yellowfin have been dominated by sets on dolphins and unassociated schools, with dolphin sets predominating since 1985. The total catch of yellowfin associated with floating objects has shown a cyclic pattern, with high catches during the late 1970s to early 1980s, late 1980s to early 1990s, and late 1990s. For Fisheries 3 and 4, which include most of the floating object-caught yellowfin before 1993, there appears to be a negative relationship between the catch in these two areas, indicating inter-annual differences in catch rates and/or movement of vessels between these two areas (Figure 2.2). Since about 1993, when FADs became more widely used, the catches of yellowfin tuna associated with floating objects increased substantially in Fisheries 1 and 2 and there was also an increase in catch from Fishery 4 to around the levels seen during the early 1980s (Figure 2.2). Fishery 3 has seen a decline in the yellowfin catch over the past 10 years (Figure 2.2). The total annual catches of yellowfin by sets on unassociated schools have been fairly consistent since about 1975, but with high quarterly variation (Figure 2.2, Fisheries 5 and 6). The total catch of yellowfin by sets on unassociated schools showed distinct spikes in 1988, 1993, and 1999. The catches by sets on dolphins declined from 1975 to 1984, but greatly increased in 1985, declined until 1993 and since then has increased slightly. This trend is seen in Fisheries 7 and 8, but not in fishery 9. Since 1975, the catches by baitboats have made up only a very small proportion of the total catch of yellowfin.

There has also been substantial annual and quarterly variation in the longline catches of yellowfin tuna (Figure 2.2). Longline catches from the area north of 15°N, have been very seasonal, and the greatest catches have usually been taken during the first quarter of the year (Figure 2.2, Fishery 11). The longline catches from the area south of 15°N have also shown high seasonal variation, and the greatest catches have usually been taken during the third quarter of the year (Figure 2.2, Fishery 12). There appears to be a negative relationship between the catch in these two areas on a seasonal basis, indicating intra-annual differences in catch rates and/or movement of vessels between these two areas (Figure 2.2). The longline catches in the southern area peaked during the early 1990s, and have declined since then. The IATTC database does not currently contain information on the longline catches during 1999 (see Section 2.2.2 for information on how effort data for longliners that operated during 1999 are treated). Al-

though the catch data presented in Figure 2.2 are in weight, the catches in numbers of fish are used to account for longline removals of yellowfin in the stock assessment.

2.2.2 Effort

A complicated method is used to estimate the amount of fishing effort exerted by purse-seine vessels. A short description of this method follows, but readers are referred to Maunder and Watters (2000) for additional details. Fishing effort for purse seiners is estimated by a five-step process. In Step 1, information from the IATTC logbook database is used to compute the catch per days of fishing (CPDF) of all three tuna species (bigeye, yellowfin, and skipjack) and all set types (floating object, dolphin, and unassociated) combined. This computation is done for each month and IATTC length-frequency sampling area (see Figure 2.1). In Step 2, the estimates of the CPDF are divided into estimates of the total landings (by month and length-frequency sampling area for all three tuna species combined) from the IATTC landings database (hail weights and cannery statistics). This division raises the effort from logbook data to include effort that was not reported in vessel logbooks, providing an estimate of the total days fished for all three set types combined in each month and length-frequency sampling area. In Step 3, linear regression models (one model for each year) are used to determine the average number of days fishing required to make a single set of each set type. In 1990, for example, sets on floating objects, dolphins, and unassociated schools of tuna were estimated to take, respectively, averages of about 1.3, 0.9, and 0.7 days each. In Step 4, the results from the regression analyses are used in conjunction with the number of sets (by set type) recorded in the logbook database to predict the proportion of days fished per set type. Finally, in Step 5, the total days fished from Step 2 are multiplied by the proportions from Step 4 to obtain estimates of the total days fished by set type within each time-area stratum.

The fishing effort for baitboats (total days fished) is estimated by computing the CPDF from the information in the IATTC logbook database and dividing CPDF into the total landings taken from the IATTC landings database. These estimates are made for each month and length-frequency sampling area (see Figure 2.1).

The longlining effort data for yellowfin tuna is taken from the IATTC landings database. These landings include data provided to the IATTC staff by Japan, the Republic of Korea, Taiwan, and French Polynesia.

Trends in the amount of fishing effort exerted by the 16 fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO are plotted in Figure 2.3. Fishing effort for surface gears (Fisheries 1-10 and 13-16) is in days fishing. Fishing effort for longliners (Fisheries 11 and 12) is in numbers of hooks.

There has been substantial variation in the amount of fishing effort exerted by surface gears. Prior to 1993, fishing effort directed at tunas associated with floating objects was at high levels from about 1978 to 1982 (Figure 2.3, Fisheries 1-4). Fishing effort directed at tunas associated with floating objects was relatively stable during 1983-1993 (Figure 2.3, Fisheries 1-4), but has increased substantially since 1993 (Figure 2.3, Fisheries 1-4). Recently, the total effort directed at tunas associated with floating objects has been at a level similar to that exerted during the late 1970s and early 1980s (Figure 2.3, Fisheries 1-4). Fishing effort directed at tunas in unassociated schools reached its highest levels from about 1977 to 1981 (Figure 2.3, Fisheries 5 and 6). Since this period, fishing effort directed at tunas in unassociated schools has remained relatively stable (Figure 2.3, Fisheries 5 and 6). It is assumed that the fishing effort in Fisheries 13-16 is equal to that in Fisheries 1-4 (Figure 2.3) because the catches taken by Fisheries 13-16 are derived from those taken by Fisheries 1-4 (see Section 2.2.3).

There has also been substantial variation in the amount of fishing effort exerted by longliners operating in the EPO. In the area north of 15°N (Fishery 11), there have always been large, seasonal variations in fishing effort, but, on an annual scale, the fishing effort peaked during the early to mid 1990s. In the area south of 15°N, there has been much less quarterly variation in fishing effort exerted by longliners (Figure 2.3, Fishery 12). The longlining effort in this area increased from 1975 to 1978, and

was relatively stable during the late 1970s and early 1980s, but then it increased sharply between 1985 and 1987 (Figure 2.3, Fishery 12). The longlining effort south of 15°N stayed fairly constant through 1993, but declined after that (Figure 2.3, Fishery 12). The IATTC databases do not contain catch and effort information from longlining operations conducted in the EPO during 1999. To conduct the stock assessment of yellowfin tuna, it is assumed that the amount of longlining effort exerted during each quarter of 1999 was equal to that exerted during the corresponding quarter of 1998.

The large quarter-to-quarter variations in fishing effort illustrated in Figure 2.3 are partly a result of how fisheries have been defined for the purposes of stock assessment. Fishing vessels often tend to fish in different locations at different times of year, and, if these locations are widely separated, this behavior can cause fishing effort in any single fishery to be more variable.

2.2.3. Discards

For the purposes of stock assessment, it is assumed that yellowfin tuna are discarded from catches made by purse-seine vessels for one of two reasons. First, yellowfin may be discarded because of inefficiencies in the fishing process (*e.g.* when the catch from a set exceeds the remaining storage capacity of the fishing vessel). Second, yellowfin may be discarded because the fishermen sort the catch to select fish that are larger than a certain size. In each case, the amount of yellowfin discarded is estimated with information collected by IATTC observers, applying methods described by Maunder and Watters (2000). Regardless of the reason that yellowfin are discarded, it is assumed that all discarded fish are killed.

Estimates of discards resulting from inefficiencies in the fishing process are added to all the catches made by purse-seine vessels. No observer data are available to estimate discards for surface fisheries that operated prior to 1993, and it is assumed that there were no discards during this period. For surface fisheries, excluding baitboats, that have operated since 1993 (Fisheries 1-9), there are periods when observer data are not sufficient to estimate the discards. For these periods, it is assumed that the discard rate (discards/landings) is equal to the discard rate for the closest time period when observer data were sufficient to estimate the discards. The addition of discards to catches from the purse-seine fleet was not done in previous assessments of yellowfin tuna in the EPO. No observer data are available to estimate the discards for the baitboat fishery (Fishery 10), and it is assumed that there are no discards in this fishery.

Discards that result from the process of sorting the catch in the floating-object fisheries (Fisheries 1-4) are treated as separate fisheries (Fisheries 13-16). It is important to treat these discards separately because the size-composition data collected from port sampling (see Section 2.3) cannot provide information about the size of these discarded fish. Thus, discards that result from sorting the catch represent removals for which size compositions must be obtained at sea. IATTC observers collect limited information on the sizes of discarded tunas. All that is known about the fish that are discarded during sorting is that they are mostly small fish that weigh less than about 2.5 kg (see Section 2.3 for an estimate of the maximum size of these fish). By creating fisheries whose catch is composed exclusively of small, discarded fish, it is possible to conduct a stock assessment without detailed data on the size composition of the discards. This is possible because the small fish that are discarded during sorting are likely to belong to only a few age classes. The catches taken by Fisheries 13-16 (Figure 2.2) are currently the best estimates of the amount of fish discarded by sorting the catches taken by Fisheries 1-4. Estimates of the amount of fish discarded during sorting are made only for fisheries that take yellowfin associated with floating objects (Fisheries 1-4) because sorting is infrequent in the other purse-seine fisheries.

It is assumed that yellowfin tuna are not discarded from longline fisheries (Fisheries 11 and 12).

2.3. Size-composition data

The fisheries of the EPO catch yellowfin tuna of various sizes. The average size composition of the catch from each fishery defined in Table 2.1 is illustrated in Figure 2.4. The sizes of the yellowfin

caught in association with floating objects (Fisheries 1-4) are less than those caught in the other fisheries. The majority of the yellowfin caught in the floating-object fisheries are between 30 and 75 cm long.

The sizes of the yellowfin caught in unassociated schools (Fisheries 5 and 6) are, on average, greater than those caught in the floating-object fisheries. The majority of the yellowfin caught in unassociated schools are between 30 and 100 cm long.

The sizes of the yellowfin caught in association with dolphins (Fisheries 7-9) are greater than those caught in the other surface fisheries. The majority of the yellowfin caught in association with dolphins are between 50 and 150 cm long.

The sizes of the yellowfin caught by the baitboat fishery (Fishery 10) are similar to those of the fish caught by the floating-object fisheries. The majority of the yellowfin caught by the baitboat fishery are between 35 and 75 cm long.

The size compositions of the yellowfin caught by the two longline fisheries (Fisheries 11 and 12) are different. In the northern area, longliners catch a wider range of sizes, from medium to large, with high levels for all lengths between 100 and 150 cm (Figure 2.4, Fishery 11). In the southern area, longliners catch mostly large yellowfin, with a mode at about 125 cm (Figure 2.4, Fishery 12). The size compositions of the catches by these two longline fisheries have changed relatively little over time.

Data on the size compositions of discards from fisheries that catch yellowfin in association with floating objects (Fisheries 13-16) are limited. IATTC observers collect information on the size composition of the discards, but they do not currently measure the fish. The observers categorize the fish into the following groups: large (greater than 15 kg), medium (2.5-15 kg), and small (less than 2.5 kg). It is assumed that the catches in Fisheries 13-16 are composed entirely of fish in the small category. Thus, using the weight-length relationship presented in Section 3.1.1, this assumption implies that the catches in Fisheries 13-16 are composed entirely of fish less than about 51 cm in length (less than about 1 year old, according to the growth curve of Wild (1986)). It is assumed that yellowfin are recruited to the discard fisheries when they are about 6 months old and about 33 cm in length.

2.4. Auxiliary data

No auxiliary data (*e.g.* data from tagging studies) were used in the current assessment of yellowfin tuna in the EPO.

3. ASSUMPTIONS AND PARAMETERS

3.1. Biological and demographic information

3.1.1. Growth

The growth of yellowfin tuna was estimated by Wild (1986), who used the Richards growth equation and counts of daily increments in yellowfin otoliths ($L_{\infty} = 188.2$, annual $k = 0.724$, $t_0 = 1.825$ years, $m = 1.434$). In the assessment for yellowfin, the IATTC staff approximates the Richards growth curve by using individual values for mean length at age for ages 2-5 quarters and a von Bertalanffy growth curve for ages 6 quarters and above (Figure 3.2, Table 4.2). The two-phase growth curve was used in the assessment because the von Bertalanffy curve does not provide good fits to growth data for the full range of ages for yellowfin (Wild 1986, Bayliff 1988).

The following weight-length relationship, from Wild (1986), was used to convert lengths to weights in this stock assessment:

$$w = 1.387 \times 10^{-5} \cdot l^{3.086}$$

where w = weight in kilograms and l = length in centimeters.

3.1.2. Recruitment and reproduction

It is assumed that yellowfin tuna can be recruited to the fishable population during every quarter of the year. It should be noted that this assumption is different from one made in previous assessments of yellowfin in the EPO (*e.g.* Anonymous 1999). In previous assessments, yellowfin were assumed to be recruited to the fishery only twice per year. Recruitment may occur more than twice per year because individual fish can spawn almost every day if the water temperatures are in an appropriate range (Schaefer 1998).

No strong assumptions are made about the relationship between adult biomass (or abundance) and recruitment in the stock assessment of yellowfin. An assumption is made, however, about the way that recruitment can vary around its average level. It is assumed that recruitment should not be less than 25 percent of its average level and not greater than four times its average level more often than about 1 percent of the time. These constraints imply that, on a quarterly time step, extremely small or large recruitments should not occur more than about once every 25 years.

Yellowfin tuna are assumed to be recruited to the discard fisheries in the EPO at about 33 cm (about 2 quarters old) (see Section 2.3). At this size (age), the fish are vulnerable to being discarded from fisheries that catch fish in association with floating objects (*i.e.* they are recruited to Fisheries 13-16).

The proportion of females in each age-class which are mature is used to estimate the spawning biomass of the stock. The proportion of females mature at age is estimated from the mean lengths at age (Figure 3.2), the proportions mature at age (Schaefer 1998) (Figure 3.3), and the sex ratio at age (Schaefer 1998) (Figure 3.4).

3.1.3. Movement

Information on tagging experiments conducted on yellowfin tuna in the EPO, using conventional tags, is given by Blunt and Messersmith (1960), Schaefer *et al.* (1961), Fink and Bayliff (1970), Bayliff and Rothschild (1974), Bayliff (1979), Ishii (1979), Hunter *et al.* (1986), and Deriso *et al.* (1991). The data obtained from such experiments is of limited value because information is obtained only for the locations and dates of release and the locations and dates of recapture, so there is no information as to where the fish were during the period between their release and recapture. Most of the above reports include results based on the numbers of recaptures per unit of fishing effort in the area-time strata of recapture, rather than the number of recaptures in those strata. This removes some of the bias due to unequal amounts of fishing effort in the various strata, but no attempts were made to guess which strata the fish were in during the periods between their release and recapture and incorporate these data into the analyses. Nevertheless, considerable amounts of valuable information were obtained. For example, it was learned that: (1) there is little exchange of fish between the EPO and the central and western Pacific Ocean; (2) there is little exchange of fish among distant locations within EPO; (3) fish tagged in the same area-time strata in different years do not always move similarly; (4) there is little exchange of fish between the fish of the Baja California-Revillagigedo Islands areas and contiguous areas; (5) fish tagged near the Gulf of Guayaquil, an area of high productivity, are frequently recaptured in the Gulf of Guayaquil, but fish tagged in the Gulf of Guayaquil are seldom recaptured elsewhere. Nevertheless, for the purposes of the current assessment, it is assumed that yellowfin move around the EPO at rates that are rapid enough to ensure that the population is randomly mixed at the start of each quarter of the year.

3.1.4. Natural mortality

Throughout much of the Pacific, the ratio of male to female yellowfin in the catch changes in favor of males as the size of the fish in the catch increases (Schaefer 1998). This trend can be interpreted in at least three ways. First, it is possible that large females are less vulnerable to fishing than large males (perhaps because large females do not occur in the main fishing areas). Second, it is possible that females grow more slowly than males. Third, it is possible that large females die at a more rapid rate than do large males (perhaps because the physiological costs of reproduction are higher for females). The third

interpretation has been used in the current stock assessment of yellowfin from the EPO (see the following paragraphs).

For the current stock assessment, it is assumed that, as yellowfin tuna grow older, the natural mortality rate (M) changes. This assumption is similar to that made in previous assessments by the IATTC staff, where the natural mortality rate is assumed to increase for females after they reach the age of 30 months (*e.g.* Anonymous 1999). Males and females are not treated separately in the current stock assessment, and the natural mortality rate is treated as a rate for males and females combined.

A combined natural mortality curve that changes with age is biologically justifiable. It is assumed that the mortality curve is composed of three phases (Figure 3.1). Early in life, in the first phase of the mortality curve, M is assumed to be high because yellowfin tuna of both sexes are small and vulnerable to predation by other fishes. As the fish grow through the first phase, they become less vulnerable to predation, and the natural mortality rate is assumed to decline (Figure 3.1). Data from yellowfin tagged and recaptured in the western and central Pacific (Hampton 2000) and estimates for yellowfin in the western and central Pacific from stock assessment models (Hampton and Fournier 2000) suggest that the trend described above is reasonable.

After the onset of sexual maturity, in the second phase of the natural mortality curve, it is assumed that the combined M increases as age increases (Figure 3.1). This increase is consistent with the third interpretation of changes in size-specific sex ratios described in first paragraph of this section. Mature males are assumed to have a constant annual natural mortality rate of 0.8 (quarterly rate of 0.2).

Late in life, in the third phase of the mortality curve, the combined natural mortality rate is assumed to decrease (Figure 3.1). This decrease occurs because the high rate for females during the second phase of the mortality curve would have removed most of the females from the population. Under these conditions, the combined natural mortality rate decreases and eventually becomes equal to the assumed rate for males (annual $M = 0.8$, quarterly $M = 0.2$) when all the females have died.

The values of quarterly M actually used in the current stock assessment are plotted in Figure 3.1. These values were calculated by making the assumptions described above, fitting to sex ratio data (Schaefer 1998), and comparing the values with those estimated for yellowfin in the western and central Pacific Ocean (Hampton 2000; Hampton and Fournier 2000).

3.1.5 Stock structure

The exchange of yellowfin between the EPO and the central and western Pacific has been studied by examination of data on tagging, morphometric characters, catches per unit of effort, sizes of fish caught, *etc.*, and it appears that the mixing of fish between the EPO and the areas to the west of it is not extensive. Therefore, for the purposes of the current stock assessment, it is assumed that there are two stocks, one in the EPO and the other in the western and central Pacific.

3.2. Environmental influences

The current stock assessment includes the assumption that oceanographic conditions might influence recruitment of yellowfin tuna in the EPO. This assumption is supported by observations that spawning of yellowfin is temperature-dependent (Schaefer 1998). To incorporate the possibility of an environmental influence on recruitment of yellowfin in the EPO, a temperature variable is incorporated into the stock assessment model, and it is determined whether there is a statistically-significant relationship between this temperature variable and estimates of recruitment. For the current assessment, sea-surface temperature (SST) anomalies in an area combined of two boxes from about 20°N-11°S latitude and 99°W-150°W longitude and about 11°N-11°S latitude and 84°W-101°W longitude are used as the candidate environmental variable for affecting recruitment. The temperature data were included in the model based on the quarter during which the fish were hatched. The SST data were obtained from the U.S. Na-

tional Oceanic and Atmospheric Administration Climate Diagnostics Center at <http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/Timeseries/timeseries1.pl> (Kalnay *et al.* 1996).

It is also assumed that oceanographic conditions might influence the efficiency of the various fisheries described in Section 2.1. It is widely recognized that oceanographic conditions influence the behavior of fishing gear. For example, current shear changes the shape of tuna longlines and affects how deep this gear can effectively fish (Mizuno *et al.* 1997). In the current assessment of yellowfin tuna in the EPO, it is assumed that environmental conditions might affect the efficiency of the surface and longline fisheries that catch yellowfin (Fisheries 1-12). Although there are many oceanographic variables that might affect the performance of these fisheries (*e.g.* thermocline depth or wind stress), it is assumed that SST data can be used to approximate the effects of these variables. To incorporate the possibility of environmental influences on fishery performance, temperature data are included in the stock assessment, and it is determined whether there are statistically significant relationships between these data and estimates of the efficiency of various fisheries. For the current assessment, SST anomalies for “core areas” inside the fishery boundaries (illustrated in Figure 2.1) were included as candidate environmental variables. The boundaries of these core areas are provided in Table 3.1, and the temperature data were obtained from Kalnay *et al.* (1996).

It should be noted that environmental conditions were assumed not to affect the efficiencies of the fisheries that catch yellowfin from the discard fisheries (Fisheries 13-16). This assumption was made for Fisheries 13-16, because the catch and effort data from these fisheries are assumed to be so variable that they cannot provide the information needed to determine whether there is a significant environmental effect (see Section 4).

4. STOCK ASSESSMENT

An age-structured population dynamics model and information contained in catch, effort, and size-composition data are used to assess the status of the yellowfin tuna stock in the EPO. The model is described by Maunder and Watters (2000), and readers are referred to that manuscript for technical details. The stock assessment model, termed an age-structured statistical catch-at-length analysis (A-SCALA), is based on the method described by Fournier *et al.* (1998). The term “statistical” indicates that the method implicitly recognizes that data collected from fisheries do not perfectly represent the population; there is uncertainty in our knowledge about the dynamics of the system and about how the observed data relate to the real population. The assessment model uses quarterly time steps to describe the population dynamics. The parameters of the stock assessment model are estimated by comparing the predicted catches and size compositions to data collected from the fishery. After the parameters of the model have been estimated, the model is used to estimate quantities that are useful for managing the stock.

The A-SCALA method includes several features that increase the ability of the assessment model to make predictions that are in agreement with the observed data (*i.e.* to provide a good fit). The A-SCALA method recognizes that, from quarter to quarter, there are random changes in the relationship between fishing effort and fishing mortality, and that there are also long-term trends in the efficiencies of different fisheries. The A-SCALA method also recognizes that there is temporal variation in recruitment, that the environment may influence both recruitment and the efficiencies of different fishing gears and methods of deploying these gears, and that different fishing gears and methods of deploying the different gears usually produce catches of fish of different ages.

The A-SCALA method includes the assumption that fishing mortality rates can be separated into an age-specific effect (selectivity) and a temporal effect (catchability). It is assumed that the age-specific effect is constant over time. Therefore, the A-SCALA method differs from the cohort analysis method that has been used to conduct previous assessments of yellowfin tuna in the EPO (*e.g.* Anonymous 1999). Cohort analysis allows the age-specific component of the fishing mortality to vary over time. In the A-SCALA method, if there is evidence that selectivity should change over time, two fisheries are defined so that there can be different selectivity curves for the two time periods. In the assessment of bigeye tuna,

for example, there are two fisheries that capture bigeye in unassociated schools. These fisheries are separated on a temporal basis because the size composition of the catches for this set type has changed over time. No fisheries are separated on a temporal scale for the assessment of yellowfin, however. Catchability (the temporal effect on fishing mortality) is assumed to have three components, (1) the combined effect of fishing technology and the behavior of fishermen, (2) the environmental effect, and (3) a random effect that alters the relationship between fishing effort and fishing mortality from quarter to quarter. These three components are multiplied together to obtain overall estimates of catchability for a single fishery.

Unlike cohort analysis, the A-SCALA method does not require size-composition data from every fishery in every time period. The A-SCALA method uses a population dynamics model to predict the size composition of the population during times when there are no data. This method recognizes that the size-composition data collected for a single fishery do not perfectly represent the sizes of fish in the catch of that fishery. This assumption is consistent with the fact that the IATTC staff collects size-composition data from a very small proportion of the fish that are caught. Specifically, only a few samples are taken from each area-time-fishing method stratum, and the typical sample consists of only 50 fish. Because the size-composition data are from small samples of the catch, there will be times when the observed size-composition data are considerably different from those predicted by the assessment model.

Since fisheries data are complex, the ways in which the stock assessment model is allowed to fit to the observed data are constrained. The model is fitted to the observed data by finding a set of population dynamics and fishing parameters that maximize the likelihood of having observed the catch and size-composition data, given the amount of fishing effort exerted by each fishery. This likelihood is calculated under a set of constraints. Many of these constraints are identified as assumptions in Section 3, but the following list identifies other important constraints that are used to fit the assessment model to observed data on yellowfin tuna:

1. The discard fisheries (Fisheries 13-16) should catch only fish of the first few age classes.
2. If a fishery can catch fish of a particular age, it should be able to catch fish that are of somewhat lesser and greater ages.
3. Yellowfin tuna should become more vulnerable to longlining and purse-seine sets on dolphins in Fishery 9 as they age, and the oldest fish should be the most vulnerable to these gears.
4. Fishermen usually become more (or less) effective at catching fish over time. It should be noted that fishermen might become less effective at catching fish of one species if they direct their effort at another species.
5. There are random events that can cause the relationship between fishing effort and fishing mortality to change slightly from quarter to quarter. On average, the events that cause the fishing mortality to be slightly higher or lower should cancel one another out.
6. The data for fisheries whose catch is composed of discards from sorting (Fisheries 13-16) provide relatively little information about biomass levels.

It is important to note that the assessment model can, in fact, make predictions that do not adhere strictly to the constraints above, nor to those outlined in Section 3. The constraints are designed so that they can be violated if the observed data provide good evidence against them.

The following parameters have been estimated for the current stock assessment of yellowfin tuna in the EPO:

1. recruitment to the fishery in every quarter from the first quarter of 1975 through the last quarter of 1999 (This includes estimation of average recruitment, recruitment anomalies, and an environmental effect.);

2. quarterly catchability coefficients for the 16 fisheries that take yellowfin from the EPO (This includes estimation of technological and behavioral effects, environmental effects, and random effects.);
3. selectivity curves for 12 of the 16 fisheries (Fisheries 13-16 have an assumed selectivity curve.);
4. initial population size and age-structure.

The values of the parameters in the following list are assumed to be known for the current stock assessment of yellowfin in the EPO.

1. natural mortality at age (Figure 3.1);
2. mean length at age (Figure 3.2);
3. maturity of females at age (Figure 3.3);
4. sex ratio at age (Figure 3.4);
5. amount of variation in length at age;
6. selectivity curves for the discard fisheries (Fisheries 13-16).

It is important to recognize that there is uncertainty in the results of the stock assessment. This uncertainty arises because, as previously mentioned, the data collected from fisheries do not perfectly represent the population of yellowfin tuna in the EPO. Also, the stock assessment model may not perfectly represent the dynamics of the yellowfin population nor of the fisheries that operate in the EPO. In the current assessment, uncertainty is expressed as (1) confidence intervals around estimates of recruitment (Section 4.2.2), biomass (Section 4.2.3), and a value termed the spawning biomass ratio (Section 5.1), and (2) coefficients of variation (CVs). Confidence intervals are estimates of lower and upper bounds that are expected to bracket the true values of outcomes, such as recruitment and biomass, about 95 percent of the time. Relatively narrow confidence intervals indicate that there is relatively less uncertainty in an estimated outcome. Conversely, relatively wide confidence intervals indicate that there is relatively more uncertainty in an estimated outcome. The CV is useful for quantifying uncertainty in an estimated outcome. When an estimate has a large CV, there is uncertainty in that estimate. The lower bound of the CV is zero; if an estimate has a CV of zero there is no uncertainty about that estimate. CVs can be used to compare the amount of uncertainty in one estimate to that in another. The confidence intervals and CVs have been estimated under the assumption that the stock assessment model perfectly represents the dynamics of the system. Since, as previously mentioned, this assumption is not likely to be satisfied, these values may underestimate the amount of uncertainty in the results of the current stock assessment.

4.1. Indices of abundance

Catches per unit of effort (CPUEs) have been used as indices of abundance in previous assessments of yellowfin tuna from the EPO (*e.g.* Anonymous 1999). It is important to note, however, that trends in the CPUE will not always follow trends in the biomass or abundance. There are many reasons why this could be the case. For example, if fishermen become more efficient at catching fish while the biomass is not changing the CPUEs will increase despite the lack of trend in biomass. The CPUEs of the 16 fisheries defined for the current assessment of yellowfin in the EPO are illustrated in Figure 4.1. A discussion of this figure is provided in the following two paragraphs, but trends in CPUE should be interpreted with caution. Trends in estimated biomass are discussed in Section 4.2.3.

There has been substantial variation in the CPUEs of yellowfin tuna of the surface fleet (Figure 4.1, Fisheries 1-10). Prior to 1993, the CPUEs for floating-object sets were mostly above average during the mid to late 1970s, lower than average during the early to mid-1980s, higher than average during the late 1980s and early 1990s, and lower than average during the rest of the 1990s except for 1999 (Figure 4.1, Fisheries 1-4). The CPUEs of yellowfin captured in unassociated schools (Figure 4.1, Fisheries 5 and 6) generally show two levels, a lower than average level until the mid 1980s and a higher than average

level after that. The CPUEs of yellowfin captured in association with dolphins (Figure 4.1, Fisheries 7-9) generally show the same two levels seen in the unassociated fisheries. Due to the short time period of the fisheries that discarded yellowfin from sorting the catches of Fisheries 1-4 (Figure 4.1, Fisheries 13-16), it is not possible to determine whether there were any trends in CPUE for these fisheries.

There has also been substantial variation in the CPUEs of yellowfin tuna by the longline fleet (Figure 4.1, Fisheries 11 and 12). In the area north of 15°N they have shown no obvious trends, except for a possible slight increase over time (Figure 4.1, Fishery 11), and in the area south of 15°N they decreased during the mid 1970s and then increased (Figure 4.1, Fishery 12).

4.2. Assessment results

The A-SCALA method provides a reasonably good fit to the catch and size-composition data for the 16 fisheries that catch yellowfin tuna in the EPO. The assessment model is constrained to fit the time series of catches made by each fishery almost perfectly. The 16 time series of yellowfin catches predicted with the A-SCALA method are almost identical to those plotted in Figure 2.2. It is important to predict the catch data closely, because it is difficult to estimate biomass if the total amount of fish removed from the stock is not well known.

It is also important to predict the size-composition data as accurately as possible, but, in practice, it is more difficult to predict the size composition than to predict the total catch. Accurately predicting the size composition of the catch is important because these data contain most of the information that is necessary for modeling recruitment and growth, and, thus, for estimating the impact of fishing on the stock. Predictions of the size compositions of yellowfin tuna caught by Fisheries 1-12 are summarized in Figure 4.2. This figure simultaneously illustrates the average observed size compositions and the average predicted size compositions of the catches for these 12 fisheries. (It should be recalled that the size-composition data are not available for discarded fish, so Fisheries 13-16 are not included in this discussion.) The predicted size compositions for 11 of the 12 fisheries with size-composition data (Fisheries 2-12) are good (Figure 4.2). The predicted size composition for the remaining fishery has a higher peak than the observed size composition (Fishery 1, Figure 4.2). The catches in this fishery are small, and the differences in the observed and predicted size compositions for this fishery should not significantly influence the size-specific removals from the population. A description of the size distribution of the catch for each fishery is given in Section 2.3.

The results presented in the following section are likely to change in future assessments because (1) future data may provide evidence contrary to these results, and (2) the assumptions and constraints used in the assessment model may change. Future changes are most likely to affect estimates of the biomass and recruitment in recent years.

4.2.1. Fishing mortality

There have been important changes in fishing mortality exerted by the fisheries that catch yellowfin tuna in the EPO (Figure 4.3). On average, the fishing mortality on yellowfin was greater during the 1975-1984 period than the 1985-1999 period. The low fishing mortality during the 1985-1999 period coincided with a period of high recruitment and biomass. On average, the fishing mortality for yellowfin is about the same for all fish that have been in the fishery for more than one year, but considerably less for the youngest yellowfin.

The fishing mortality rates vary because the amount of effort exerted by each fishery changes over time, because different fisheries catch yellowfin tuna of different ages (the effect of selectivity), and because the efficiencies of various fisheries change over time (the effect of catchability). The latter two effects are discussed in the following paragraphs; the first effect (changes in effort) was addressed in Section 2.2.1 (also see Figure 2.3).

Selectivity curves estimated for the 16 fisheries defined in the stock assessment of yellowfin tuna are shown in Figure 4.4. Purse-seine sets on floating objects select mostly yellowfin that are about 4 to 8 quarters old (Figure 4.4, Fisheries 1-4), with slightly older fish selected for in the southern offshore region (Fishery 1). Purse-seine sets on unassociated schools of yellowfin select fish older than those caught by sets on floating objects (about 5 to 10 quarters old, Figure 4.4, Fisheries 5 and 6). Purse-seine sets on yellowfin associated with dolphins in the northern and coastal regions select mainly mid-aged fish (8 to 15 quarters old, Fisheries 7 and 8). The dolphin-associated fishery in the south (Fishery 9) selects mainly older yellowfin (14 or more quarters). Longline fisheries for yellowfin also select mainly older individuals (about 11 or more quarters, Figure 4.4, Fisheries 11 and 12) with the southern fishery selecting slightly younger fish. Baitboats (Fishery 10) select yellowfin similar in size to those caught in purse-seine sets on floating objects (about 4 to 7 quarters old).

Discards resulting from sorting purse-seine catches of yellowfin tuna taken in association with floating objects are assumed to be composed only of yellowfin recruited to the fishery for 3 quarters or less (aged 2-4 quarters, Figure 4.4, Fisheries 13-16). (Additional information regarding the treatment of discards is given in Section 2.2.2.)

The ability of purse-seine vessels to capture yellowfin tuna in association with floating objects has generally declined over time (Figure 4.5a, Fisheries 1-4). These fisheries have also shown high temporal variation in catchability. Changes in fishing technology and the behavior of fishermen appear to have decreased the catchability of yellowfin during this time (Figure 4.5a, Fisheries 1-4, dashed line). Variations in SST anomalies do not explain the variation in catchability (Figure 4.5a, Fisheries 1-4, thin line).

The ability of purse-seine vessels to capture yellowfin tuna in unassociated schools has also been highly variable over time, and there has been a slight increasing trend in catchability (Figure 4.5a, Fisheries 5 and 6, bold line). Changes in fishing technology and the behavior of fishermen appear to have increased the catchability of yellowfin during this time (Figure 4.5a, Fisheries 5 and 6, dashed line). Variations in SST anomalies do not explain the variation in catchability (Figure 4.5a, Fisheries 5 and 6, thin line).

The ability of purse-seine vessels to capture yellowfin tuna in dolphin-associated sets has been less variable in the northern and coastal areas than in the other fisheries (Figure 4.5a, Fisheries 7 and 8, bold line). These fisheries also show a slight increasing trend over time. The catchability in the southern fishery is more variable, and has decreased over time. Environmental effects on catchability appear to be small for yellowfin caught in sets associated with dolphins.

The ability of baitboats to capture yellowfin tuna has been highly variable over time (Figure 4.5a, Fisheries 5 and 6, bold line). There are multiple periods of high and low catchability and a slight increase over time that is attributed to technological and behavioral changes. The environmental effects on catchability appear to be small for yellowfin caught by baitboats.

The ability of longline vessels to capture yellowfin tuna has also been highly variable over time, and the catchability appears to have been higher before than after 1985. The variation in catchability is smaller for Fishery 12, which is responsible for the majority of the catch of tunas by longliners. There also appears to be a good positive relationship between SST and catchability for this fishery (Figure 4.5a, Fisheries 12, thin line).

The catchabilities of small yellowfin tuna by the discard fisheries are shown in Figure 4.5b (Fisheries 13-16, bold lines). Neither technological and behavioral nor environmental effects on catchability were estimated for small, discarded yellowfin.

4.2.2. Recruitment

The abundance of yellowfin tuna being recruited to fisheries in the EPO appears to be correlated to SST anomalies at the time when these fish were hatched (Figure 4.6, left panel). High recruitment to the fishery is associated with higher SSTs at the time of spawning. However, SST does not explain all the variation in recruitment. It is possible that other oceanographic variables influence the recruitment, and the IATTC staff intends to consider other environmental indices as candidates for explaining the variation in recruitment. This will include trying to determine whether the environmental index should be based on conditions during the early juvenile phase, rather than solely during the larval phase. Identifying one or more environmental variables that are correlated with recruitment would be useful for making predictions about future recruitments.

Over the range of predicted biomasses shown in Figure 4.8, the abundance of yellowfin recruits appears to be related to the biomass of spawners at the time of spawning. (Spawners are defined as female yellowfin that are mature (Schaefer 1998); see section 3.1.2) (Figure 4.6, right panel). The apparent relationship between biomass and recruitment is due to what is thought to be a regime shift in productivity. The increased productivity caused an increase in recruitment, which, in turn, increased the biomass. Therefore, in the long term, high recruitment is related to high biomass and low recruitment to low biomass. The two regimes of recruitment can be seen as two clouds of points in Figure 4.6 (right panel). Given the current information, the hypothesis of two regimes in recruitment is at least as plausible as a relationship between population size and recruitment.

The estimated time series of yellowfin recruitment is shown in Figure 4.7, and the total recruitment estimated to occur in each year is presented in Table 4.1. The most conspicuous feature of this time series is the low recruitment to the fishery estimated to occur during the most recent quarters. Another characteristic of the recruitment is an apparent regime change in the recruitment levels, starting during the last quarter of 1983. The recruitment was, on average, greater after than before 1983. This change in recruitment levels produces a similar change in biomass (Figure 4.8). The confidence intervals for recruitment are relatively narrow, indicating that the estimates are fairly precise, except for the most recent year (Figure 4.7). The average coefficient of variation (CV) on the estimates of recruitment is 0.19.

The estimates of low recruitment to the fishery for the most recent quarters were derived from the 1999 length-frequency data for the floating-object fisheries (Figure 4.8). Yellowfin are recruited to these fisheries at the age of one year (4 quarters). Therefore, cohorts hatched during the third and fourth quarters of 1998 will appear in the floating-object fisheries length-frequency data for the third and fourth quarters of 1999, respectively. Despite the high catch rates (Figure 4.1), there were few one-year-old yellowfin caught in the floating-object fisheries during the third and fourth quarters of 1999, which apparently indicates that few yellowfin that were hatched during the third and fourth quarters of 1998 survived to enter the floating-object fishery. There is no information in the length-frequency data about the cohorts hatched during 1999, so the abundances of these cohorts, which will enter the floating-object fisheries in 2000, are unknown.

The estimates of the most recent recruitments are highly uncertain, due to the limited data available for these cohorts. In addition, the floating-object fisheries catch only a small portion of the total catch of yellowfin, and the catch during the last quarter of 1999 was low due to regulations that were imposed to prevent overfishing of yellowfin and bigeye. The shortage of small fish in the length-frequency data for 1999, which is assumed to be due to low recruitment, could also be due to biased length-frequency samples, changes in the growth rate of the fish, changes in the selectivity of the gear, or more discarding of small tuna. During 2000, when the fish recruited in 1999 enter the fisheries in unassociated schools, it will be possible to estimate the recruitment for that cohort with more confidence.

The uncertainty in the estimates of the recruitments for 1997, 1998, and 1999 also cause uncertainty in the estimates of the current biomass (Figure 4.9).

4.2.3. Biomass

Biomass is defined as the total weight of yellowfin tuna that are one and a half or more years old. The trends in the biomass of yellowfin in the EPO are shown in Figure 4.9, and estimates of the biomass at the beginning of each year in Table 4.1. During 1975-1983 the biomass of yellowfin decreased from about 315,500 to 151,000 mt. It then increased rapidly during 1983-1985, and reached about 351,000 mt in 1985. Since then it has been relatively constant. The confidence intervals for the biomass estimates are relatively narrow, indicating that the biomass is fairly well known. The average CV on the estimates of the biomass is 0.07.

The spawning biomass is defined as the total weight of mature female yellowfin. The estimated trend in spawning biomass is shown in Figure 4.9, and estimates of the spawning biomass at the beginning of each year in Table 4.1. The spawning biomass has generally followed a trend similar to that for biomass, described in the previous paragraph. The confidence intervals on the spawning biomass estimates indicate that the spawning biomass is also fairly well known. The average CV of the estimates of the spawning biomass is 0.08.

It appears that trends in the biomass of yellowfin tuna can be explained by the trends in both fishing mortality and recruitment. Simulation results suggest that the fishing mortality affects the total biomass. The growth (in biomass) of a population of yellowfin was simulated, starting with the population estimated to be present in the EPO at the beginning of 1975. The population was carried forward, without any fishing, using the time series of estimated recruitments shown in Figure 4.7. The simulated biomass trajectory and the biomass trajectory estimated from the stock assessment model are overlaid in Figure 4.10. The large difference in biomass indicates that fishing has a large impact on the biomass of yellowfin in the EPO. The decline in biomass estimated for the 1975-1983 period (Figure 4.9) was caused by the high levels of catch and less-than-average recruitment. The large increase in biomass during 1984-1985 was caused by an increase in average recruitment (Figure 4.7) and an increase in the average size of the fish caught (Anonymous, 1999), but increased fishing pressure prevented the biomass from increasing further during the 1986-1990 period. Fishing also limited the increase in biomass that occurred during 1998-1999.

4.2.4. Average weights of fish in the catch

The overall average weights of the yellowfin tuna caught in the EPO predicted by the analysis have been consistently around 10 kg for most of the period from 1975 to 1999, but have differed considerably among fisheries (Figures 4.10 and 5.2). The average weight was more than 10 kg between 1975 and 1977, declined to about 10 kg during the 1978-1983 period, increased to more than 10 kg during the 1984-1992 period, and has been declining gradually since 1993 (Figure 5.2). The average weight of yellowfin caught by the different gears varies widely, but remains fairly consistent over time within each fishery (Figure 4.10). The lowest average weights (about 1 kg) are produced by the discard fisheries, followed by the baitboat fishery (about 4-5 kg), the floating-object fisheries (about 4-5 kg for Fisheries 2-4 and 10 kg for Fishery 1), the unassociated fisheries (about 8-10 kg), the northern and coastal dolphin-associated fisheries (about 20-30 kg), and the southern dolphin-associated fishery and the longline fisheries (each about 40-50 kg). The yellowfin caught by the northern longline fishery (Fishery 11) are, on average, larger than those caught by the southern longline fishery (Fishery 12).

4.3. Comparisons to external data sources

No external data are available to compare with the results of this study.

4.4. Sensitivity to assumptions

No sensitivity analyses are presented for the yellowfin tuna stock assessment.

4.5. Summary of the results from the assessment model

The recruitment of yellowfin tuna to the fisheries in the EPO is variable, and appears to be related to the SSTs. High levels of recruitment to the fishery (at age 6 months) are related to high SSTs at the time of spawning 6 months earlier. The analysis indicates that the yellowfin population has experienced two different recruitment regimes (1975-1984 and 1985-1999), which are correlated with regimes in the SSTs, and that the population has been in the high-recruitment regime for approximately the last 15 years. The two recruitment regimes correspond to two regimes in biomass and fishing mortality, the higher recruitment regime producing greater biomass levels and lower fishing mortality levels.

The analysis indicates that a very strong cohort, which has provided increased biomass and increased catches during 1999, entered the fishery in 1998. There is also an indication the most recent recruitments are low, which may lead to lower biomass and catch levels. The SSTs corresponding to these recruitments were also low, which is a further indication that recent recruitment could be low. However, these estimates of recent recruitment are based on limited information, so they are very uncertain.

The average weights of yellowfin taken from the fishery have been fairly consistent over time, but vary substantially among the different fisheries. In general, the floating-object (Fisheries 1-4), unasociated (Fisheries 5 and 6), and baitboat (Fishery 10) fisheries capture younger, smaller yellowfin than do the dolphin (Fisheries 7-9) and longline (Fisheries 11 and 12) fisheries. The longline fisheries and the dolphin fishery in the southern region (Fishery 9) capture older, larger yellowfin than do the coastal (Fishery 8) and northern region (Fishery 7) dolphin fisheries.

5. STOCK STATUS

The status of the stock of yellowfin tuna in the EPO is assessed by considering calculations based on the spawning biomass, yield per recruit, and average maximum sustainable yield (AMSY).

Precautionary reference points, as described in the FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries and the United Nations Fish Stocks Agreement are being widely developed as guides for fisheries management. The IATTC has not adopted any target or limit reference points for the stocks it manages, but some possible reference points are described in the following three subsections.

5.1. Assessment of stock status based on spawning biomass

The ratio of spawning biomass during a period of harvest to that which might accumulate in the absence of fishing is useful for assessing the status of a stock. This ratio is termed the “spawning biomass ratio” (SBR). The equation defining the SBR is

$$\text{SBR}_t = \frac{S_t}{S_{F=0}}$$

where S_t is the spawning biomass at any time (t) during a period of exploitation, and $S_{F=0}$ is the spawning biomass that might be present if there were no fishing for a long period (*i.e.* the equilibrium spawning biomass if $F = 0$). The SBR has a lower bound of zero. If the SBR is zero, or slightly greater than that, the population has been severely depleted and is probably overexploited. If the SBR is one, or slightly less than that, the fishery has probably not reduced the spawning stock. If the SBR is greater than one, it is possible that the stock has entered a regime of increased production.

The SBR has been used to define reference points in many fisheries. Various studies (*e.g.* Clark 1991, Francis 1993, Thompson 1993, Mace 1994) suggest that some fish populations can produce the AMSY when the SBR is somewhere in the range 0.3 to 0.5, and that some fish populations are not able to produce the AMSY if the spawning biomass during a period of exploitation is less than about 0.2. Unfortunately, the types of population dynamics that characterize tuna populations have generally not been considered in these studies, and their conclusions are sensitive to assumptions about the relationship between adult biomass and recruitment, natural mortality, and growth rates. In the absence of simulation

studies that are designed specifically to determine appropriate SBR-based reference points for tunas, estimates of SBR_t can be compared to an estimate of SBR for a population that is producing the AMSY ($SBR_{AMSY} = S_{AMSY}/S_{F=0}$). S_{AMSY} is the spawning biomass at AMSY (see Section 5.3 for details regarding calculation of AMSY and related quantities).

Estimates of SBR_t for yellowfin in the EPO have been computed for every quarter represented in the stock assessment model (the first quarter of 1975 to the first quarter of 2000). Estimates of the spawning biomass during the period of harvest (S_t) are presented in Section 4.2.2. The equilibrium spawning biomass after a long period with no harvest ($S_{F=0}$) was estimated by assuming that recruitment occurs at an average level. The average level of recruitment used in this calculation is that estimated by the stock assessment model (Section 4.2.2). $S_{F=0}$ is estimated to be about 331,000 mt, with lower and upper 95-percent confidence limits of about 318,000 and 345,000 mt, respectively, and SBR_{AMSY} is estimated to be about 0.25.

At the beginning of 2000, the spawning stock of yellowfin tuna in the EPO was considerably reduced. The estimate of SBR at this time was about 0.38, with lower and upper 95 percent confidence limits of 0.29 and 0.47, respectively. It is important to note that the estimate of the lower confidence limit is greater than the estimate of SBR_{AMSY} (0.25), indicating that, at the beginning of 2000, the spawning stock of yellowfin in the EPO was probably greater than the level that might be expected if the stock was producing AMSY.

A time series of SBR estimates for yellowfin tuna in the EPO is shown in Figure 5.1. Between the beginning of 1975 and the beginning of 1983, the SBR declined from about 0.24 to about 0.12 (Figure 5.1, bold line). This is consistent with the fact that the stock of yellowfin in the EPO was being utilized before 1975. The SBR increased considerably during 1983-1986, and, by the beginning of 1986, the SBR was at about 0.33 (Figure 5.1, bold line). This increase can probably be attributed to the above-average levels of recruitment that are estimated to have occurred since 1983 (Figure 4.7). It is interesting to note that this increase in the spawning biomass was immediately followed by an increase in the catch (Figure 2.2). After 1986, the SBR has remained at about 0.35 (Figure 5.1, bold line). During this period, the spawning biomass of yellowfin in the EPO was above the level at which it might be expected to be if the stock were producing the AMSY (Figure 5.1). In 1999, the SBR for yellowfin in the EPO has increased (Figure 5.1, bold line). This increase can probably be attributed to the relatively high level of recruitment that is estimated to have occurred during 1998.

In general, the SBR estimates for yellowfin in the EPO are reasonably precise; the average CV of these estimates is about 0.07. The relatively narrow confidence intervals around the SBR estimates suggest that for most quarters during 1985-2000 the spawning biomass of yellowfin in the EPO was greater than the level that would be expected to occur if the population were producing the AMSY (see Section 5.3). This level is shown as the dashed horizontal line drawn at 0.25 in Figure 5.1. For most of the early period (1975-1984), however, the spawning biomass was estimated to be below the AMSY level.

5.2. Assessment of stock status based on yield per recruit

Yield-per-recruit calculations are also useful for assessing the status of a stock. Growth and natural mortality rates define how the total biomass of a cohort changes as the fish in that cohort become older. The total biomass of a cohort is usually a dome-shaped function of age. Just after the age at recruitment, the total biomass of a cohort increases because the gains due to growth exceed the losses due to natural mortality. Later, as the fish age, the losses due to natural mortality exceed the gains due to growth, and the total biomass of the cohort decreases. There is a point, however, when the gains due to growth exactly balance the losses due to natural mortality. This point is termed the “critical age.” If the fish are harvested when they reach this critical age, the fishery will, on average, obtain the maximum yield from each fish that was recruited to the cohort. The critical age can be converted to a “critical weight,” using a growth curve and a weight-length relationship. This conversion makes the concept of maximizing the yield per recruit more practical. If the average weight of the fish in the catch is close to

the critical weight, the fishery is probably close to maximizing the yield from each recruit. If the average weight of fish in the catch is less than the critical weight, the fishery is, on average, removing fish before potential gains from growth have been maximized. If the average weight of fish in the catch is greater than the critical weight, the fishery is, on average, losing yield from losses due to natural mortality.

For tuna fisheries, it is not practical for the average weight of fish in the catch to be equal to the critical weight, and, in general, one should consider that the objective of maximizing the yield per recruit is being satisfactorily achieved if the average weight is close to the critical weight. The yield per recruit is affected both by the amount of fishing effort that is exerted and by the age-specific pattern of selectivity. If the average weight of fish in the catch is not close to the critical weight, adjusting either of these controls can help to optimize the yield per recruit. If the fishing effort is less than an optimum level, the yield per recruit will not be maximized because many fish will die from natural mortality. If the fishing effort is greater than an optimum level, the yield per recruit will not be maximized because many fish will be caught before potential gains from growth have been realized. The previous two statements are based on the assumption that there is a fixed pattern of age-specific selectivity. In practice, it is difficult to control the age-specific pattern of selectivity. Nevertheless, the total age-specific pattern of selectivity for all fishing methods combined, and therefore the yield per recruit, can be modified by changing the distribution of effort among fishing methods with different patterns of age-specific selectivity. For example, if the average weight of fish in the catch is less than the critical weight, it would be possible to increase the yield per recruit by decreasing the amount of fishing effort exerted by the fisheries that catch young fish. It should be noted that controlling the age-specific pattern of selectivity so that only fish of the critical age are caught is not an appropriate strategy for optimizing the yield per recruit because this strategy implies that the level of fishing mortality should be infinitely high.

The critical weight for yellowfin tuna in the EPO has been estimated to be about 38.5 kg, under the assumption of constant recruitment, using the natural mortality and growth curves from the assessment model (Figures 3.1 and 4.12 respectively). In the following discussion, this weight is used as a reference point and compared to the average weight of fish in the combined catch from all 16 fisheries for yellowfin.

The average weight of yellowfin tuna in the combined catches of the fisheries operating in the EPO was only about 13 kg at the end of 1999 (Figure 5.2), which is considerably less than the critical weight. The average weight of yellowfin in the combined catches has, in fact, been substantially less than the critical weight since 1975 (Figure 5.2).

The various fisheries that catch yellowfin tuna in the EPO take fish of different average weights (Section 4.2.4). The longline fisheries (Fisheries 11 and 12) and the dolphin fishery in the southern region (Fishery 9) catch yellowfin with average weights close to the critical weight (Figure 4.11). Of the fisheries that catch the majority of yellowfin (unassociated and dolphin fisheries, Fisheries 5-8), the dolphin fisheries perform better under the critical weight criteria.

5.3. Assessment of stock status based on AMSY

Reference points based on AMSY are also useful for managing fish stocks, and maintaining stocks at levels capable of producing the AMSY is the management objective specified by the IATTC Convention. One definition of AMSY is the maximum, long-term yield that can be achieved under average conditions using the current, age-specific selectivity pattern of all fisheries combined. Theoretically, under average conditions, there is a fishing mortality rate that maximizes the yield from the combined fishery. If the fishing mortality rate remains at this level for a long time, the population size, under average conditions, will remain at a constant level. This population size is defined as the biomass at AMSY (B_{AMSY}). There is a similar definition for the spawning biomass at AMSY (S_{AMSY}). If the management objective is to achieve the AMSY, recent catch levels (C_{1999} , defined as the total catch in 1999) should be close to the AMSY and recent biomass levels, B_{2000} and S_{2000} (defined as the biomass levels at the start of 2000), should be close to B_{AMSY} and S_{AMSY} , respectively. Therefore, the ratios C_{1999}/AMSY , B_{2000}/B_{AMSY} ,

and S_{2000}/S_{AMSY} should be close to 1.0. It should be noted that even if the system is close to the levels that can produce the AMSY, fluctuations in the dynamics of the system (*e.g.* fluctuations in recruitment and catchability) may cause these ratios to differ from 1.0. Similarly, fluctuations in the dynamics of the system may also cause these ratios to be close to 1.0 when the system is not close to the levels capable of producing the AMSY.

The AMSY-based calculations for yellowfin tuna in the EPO are based on the assumption that there is no relationship between stock size and recruitment (Section 4.2.2). Therefore, the results presented in the following paragraphs will be equivalent to the results from yield-per-recruit analyses conducted in previous assessments of this stock (*e.g.* Anonymous 1999).

It should also be noted that the AMSY-based calculations were computed with the parameter estimates from the stock assessment model. Thus, the AMSY-based results are currently presented as point estimates, but it should be noted that there are uncertainties in these results. The IATTC staff considers quantifying the uncertainty in the AMSY-based results to be an important topic for future work.

At the start of 2000, the biomass of yellowfin tuna in the EPO appears to have been above the level that would be expected to produce the AMSY, and the recent catches have been above the AMSY level (Table 5.1).

If the fishing mortality is proportional to the fishing effort, and the current patterns of age-specific selectivity (see Figure 4.4) are maintained, the level of fishing effort that is estimated to produce the AMSY is about equal to the current level of effort, as the effort at AMSY is 99 percent of the current level of effort. It is important to note, however, that the curve relating the average sustainable yield to the long-term fishing mortality is very flat around the AMSY level, but the spawning stock biomass changes substantially with changes in the long-term fishing mortality (Figure 5.3). Therefore changes in the long-term levels of effort will only marginally change the catches while considerably changing the biomass. Decreasing the effort, which may also reduce the cost of fishing, would provide only a marginal decrease in the long-term average yield, with the benefit of a relatively large increase in the spawning biomass.

The apparent regime shift in productivity that began in 1985 may require a different approach to estimating the AMSY. Different regimes will give rise to different values for the AMSY. AMSY estimates and the associated values for the two regimes, using average recruitment over the 1975-1984 and 1985-1999 periods, are given in Table 5.1. The AMSY calculated from the current regime is 14 percent greater than the AMSY estimated for the whole period starting in 1975, and 45 percent greater than that estimated for the period ending in 1984.

The estimation of the AMSY, and its associated quantities, is sensitive to the age-specific pattern of selectivity that is used in the calculations. The AMSY-based quantities described previously were based on an average selectivity pattern for all fisheries combined that was calculated from the current allocation of effort among fisheries. Different allocations of fishing effort would change this combined selectivity pattern. It is possible to increase the AMSY if a fishery catches fish that are close to the critical weight (Section 5.2). To illustrate how AMSY might change if the effort is reallocated among the various fisheries (other than the discard fisheries) that catch yellowfin in the EPO, the previously-described calculations were repeated using the age-specific selectivity pattern estimated for each fishery. If an additional management objective is to maximize the AMSY, the longline fisheries (Fisheries 11 and 12) and the southern dolphin fishery (Fishery 9) will perform the best, followed by the northern and coastal dolphin fisheries (Fisheries 7 and 8), and then the unassociated fisheries (Table 5.2). The fisheries that catch yellowfin by making purse-seine sets on floating objects (except in the southern region, Fisheries 2-4) and the baitboat fishery (Fishery 10) will perform the worst (Table 5.2). If an additional management objective is to maximize the S_{AMSY} , the longline fisheries (Fisheries 11 and 12) and the southern dolphin fishery (Fishery 9) will again perform the best, followed by the northern and coastal dolphin fisheries (Fisheries 7 and 8), the unassociated fisheries, the fisheries that catch yellowfin by making purse-

seine sets on floating objects (except in the southern region, Fisheries 2-4), and the baitboat fishery (Fishery 10) (Table 5.2).

Of the fisheries that catch the majority of yellowfin tuna (unassociated and dolphin fisheries, Fisheries 5-8), the dolphin fisheries perform better under both the AMSY and S_{AMSY} objectives. Limiting fishing to dolphins only (based on the average of Fisheries 7 and 8) would increase the AMSY and S_{AMSY} by 26 and 13 percent, respectively, relative to that obtainable with the current effort allocation. Fishing on unassociated schools (based on the average of Fisheries 5 and 6) would produce only 62 and 40 percent of the AMSY and S_{AMSY} , respectively, obtainable by fishing solely on dolphins (based on the average of Fisheries 7 and 8). It is not known, however, whether the fisheries that would produce greater AMSYs would be efficient enough to catch the full AMSYs predicted.

5.4. Summary of stock status

Historically the SBR of yellowfin tuna in the EPO has been below the level that will support the AMSY, but above that level for about the last 15 years. The increase in the SBR is attributed to a regime change in the productivity of the population. The two different productivity regimes may support two different AMSY levels and associated SBR levels. The current SBR is also above the SBR level at AMSY based on the current productivity regime, and it is within the range that has been suggested as target levels for other species. The effort levels are estimated to be around those that will support the AMSY (based on the current distribution of effort among the different fisheries). However, due to the large number of recruits entering the fishery in 1998, the biomass and catch levels are much higher than the corresponding values at AMSY.

The current average weight of yellowfin in the catch is much less than the critical weight, and therefore, from the yield-per-recruit standpoint, yellowfin in the EPO are overfished. The AMSY calculations indicate that catches could be greatly increased if the fishing effort were directed toward longlining and purse-seine sets on yellowfin associated with dolphins. This would also increase the SBR levels.

6. SIMULATED EFFECTS OF FUTURE FISHING OPERATIONS

A simulation study was conducted to gain further understanding of how, in the future, hypothetical changes in the amount of fishing effort exerted by the surface fleet might simultaneously affect the stock of yellowfin tuna in the EPO and the catches of yellowfin by the various fisheries. Several scenarios were constructed to define how the various fisheries that take yellowfin in the EPO would operate in the future and also to define the future dynamics of the yellowfin stock. The assumptions that underlie these scenarios are outlined in Sections 6.1 and 6.2.

The results from simulation studies should be interpreted with caution because these studies were conducted under a set of assumptions that, in the future, may prove to be false. Readers should look for general patterns and trends in the results from a set of simulations, rather than the values predicted by a single simulation. For example, rather than considering the predicted level of future biomass from a single simulation, it is more appropriate to consider whether multiple simulations (*e.g.* conducted under multiple recruitment scenarios) tend to predict that future biomasses will be less than or greater than some level. One hundred simulations were conducted for each of the scenarios outlined in Sections 6.1 and 6.2. It is also appropriate to consider the results of a simulation study by comparing the relative outcomes of making different assumptions about the future.

It is generally best to conduct simulations that make predictions about the short-term future. Short-term simulations are appropriate because it is difficult to accurately predict how, given its past behavior, a system will behave in the future. For example, there has been so much variation in the catchabilities of yellowfin tuna taken by the fisheries of the EPO (Figure 4.5) that it is difficult to know how these parameters might change in the future. Short-term simulations can reduce the degree to which inappropriate assumptions about the future dynamics of the system affect predictions from the model.

The simulations discussed below were conducted for a time span of 5 years, covering the period of 2000 through 2004 (with quarterly time steps).

6.1. Assumptions about fishing operations

6.1.1. Fishing effort

The following scenarios have been specified to describe the hypothetical amount of fishing effort that might be exerted by the surface fleet during 2000-2004.

1. The surface fleet will exert an amount of effort that is equal to 75 percent of the average amount of effort it exerted during 1998-1999.
2. The surface fleet will exert an amount of effort that is equal to the average amount of effort it exerted during 1998-1999.
3. The surface fleet will exert an amount of effort that is equal to 125 percent of the average amount of effort it exerted during 1998-1999.

These scenarios are based on quarterly levels of fishing effort. For example, in the first scenario, the effort in the fourth quarters of 2000, 2001, 2002, 2003, and 2004 is equal to 75 percent of the average effort exerted during the fourth quarters of 1998 and 1999.

All of the simulations were conducted under the assumption that, from 2000 through 2004, the longline fleet will exert an amount of effort equal to the amount of effort it exerted during 1998 (again by quarter).

6.1.2. Selectivity and catchability

Two assumptions were made about selectivity (the age-specific component of fishing mortality). First, it was assumed that the selectivity curve for each fishery included in the simulation study does not change during the course of the simulation. Second, it was assumed that the selectivity curve for each fishery included in the simulation is same as that estimated by the stock assessment model (*i.e.* the selectivity curves are the same as those shown in Figure 4.4).

It was further assumed that the catchability of yellowfin tuna for each fishery included in the simulation study does not change during the course of the simulation. Future levels of catchability for each fishery were assumed to be equal to the average catchability for that fishery during 1998 and 1999. (These averages for fishing effort are computed on a quarterly basis.)

6.1.3. Discards

Two scenarios have been specified to describe the future status of discarded yellowfin. In the first scenario, it is assumed that all discarded yellowfin will die. In the second scenario, it is assumed that either there are no discards because the fish that are usually discarded will not be caught or, equivalently, that all discarded yellowfin survive. It is important to note that the assumption of no discards is not intended to represent a scenario in which small fish are retained in the catch. The retention of small fish that might normally be discarded has not been explicitly modeled in this simulation study. In most instances, assuming that small fish will be retained is equivalent to assuming that the discarded fish will die. Therefore, readers interested in the results of retaining fish that would normally be discarded should consider the simulations conducted under the first scenario for describing the status of discards. It should also be noted, however, that future retention of small fish would cause the simulated catches taken by the primary surface fleet (Fisheries 1-10) to be underestimated.

6.2. Assumptions about population dynamics

The simulation study was conducted under the assumption that, in the future, the biological and demographic parameters that govern the population dynamics of yellowfin tuna in the EPO would be similar to those that governed the dynamics of the stock during 1975-1999. In particular, the growth

function, weight-length relationship, maturity curve, and natural mortality were assumed to be the same as those used in the stock assessment model (Section 3). As for the assessment model, it was also assumed that movement of yellowfin around the EPO is rapid enough to ensure that the population is randomly mixed at the beginning of each quarter of the year (Section 3.1.3), and that there is a single stock of yellowfin in the EPO (Section 3.1.5). The recruitment during 2000 through 2004 was assumed to vary randomly around the same average level and to be as variable as the recruitment during 1975-1999. It should be noted that the estimates of recruitment from the stock assessment model appear to be autocorrelated (Figure 4.7), but in the simulation study the recruitment was not autocorrelated. Adding autocorrelation to the simulated time series of recruitment would cause the simulation results to be more variable.

6.3. Simulation results

The simulations were used to predict future levels of the SBR, the average weight of yellowfin tuna in the catch of all fisheries combined, the total catch taken by the primary surface fisheries that would presumably continue to operate in the EPO (Fisheries 1-10), and the total catch taken by the longline fleet (Fisheries 11 and 12). It is important to note that there is probably more uncertainty in the future levels of these outcome variables than suggested by the results presented in Figures 6.1-6.4 and Table 6.1. The amount of uncertainty is probably underestimated because the simulations were conducted under the assumption that the parameters estimated by the stock assessment model correctly describe the dynamics of the system. As mentioned in Section 4, this assumption is not likely to be fulfilled.

6.3.1. Predicted SBRs

Within the range of scenarios specified for the simulation study, future changes in the amount of fishing effort exerted by the surface fleet are predicted to have substantial effects on the SBR (Figure 6.1 and Table 6.1). Increasing the surface effort to 125 percent of its recent, average level is predicted to decrease the median estimate of the SBR by about 22 percent by the end of 2004 (Table 6.1; compare 50-percent quantiles for “average surface effort” to those for “125% surface effort”). Decreasing the surface effort to 75 percent of its recent average is predicted to increase the median estimate of the SBR by about 48 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles for “average surface effort” to those for “75% surface effort”). Under current effort levels, it is predicted that at the end of 2004 the SBR would be, on average, slightly less than $SBR_{AMS\ Y}$ (Table 6.1; compare the 20-percent quantiles for the SBR to the estimated $SBR_{AMS\ Y}$ of 0.25). This result is consistent with the previous estimate that, under average conditions, current levels of fishing effort should be reduced slightly to achieve the AMSY (Section 5.3).

If the surface fleet continues to exert an average amount of fishing effort, the SBR is predicted to be insensitive to assumptions about the status of discarded yellowfin tuna (Figure 6.1 and Table 6.1). If small yellowfin that are usually discarded are not captured, or if the discarded fish survive, the SBR is predicted to be about 4 percent greater than that predicted when the discarded yellowfin are assumed to die (Table 6.1; compare 50-percent quantiles for “average surface effort” to those for “average, no discards”). This is an important result because it suggests that preventing catches of unmarketable yellowfin around floating objects (or ensuring that the discarded fish will survive) would not significantly increase the spawning stock.

6.3.2. Predicted average weights of yellowfin tuna in the combined catch

Within the range of scenarios specified for the simulation study, future changes in the amount of fishing effort exerted by the surface fleet are predicted to have moderate effects on the average weight of yellowfin tuna caught by fisheries operating in the EPO (Figure 6.2 and Table 6.1). Increasing the surface effort to 125 percent of its recent average would, after 5 years, decrease the average weight of fish in the combined catch by about 12 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles for “average surface effort” to those for “125% surface effort”). Decreasing the surface effort to 75 percent of its recent average would increase the average weight of yellowfin in the catch by about 23 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles for “average surface effort” to those for “75% surface effort”). Under all of the simu-

lated effort scenarios, the average weight of fish in the combined catch taken during 2004 would be substantially less than the critical weight (compare the estimated critical weight of about 38.5 kg to the 80-percent quantiles in Table 6.1). Thus, it appears that it will not be possible to maximize the yield per recruit without substantially reducing the amount of fishing effort exerted by the surface fleet. This conclusion could change if, in the future, the surface fleet is able to catch larger (older) yellowfin.

If the fisheries that catch yellowfin tuna in association with floating objects continue to exert an average amount of effort, preventing discards (or ensuring that discarded fish survive) would moderately increase the average weight of fish in the combined catch during 2004 (Figure 6.1 and Table 6.1). This result is to be expected because the discard fisheries (Fisheries 13-16) catch large numbers of small fish, and this influences the estimates of the average weight.

6.3.3. Predicted catches taken by the primary surface fisheries

Since the simulation study was conducted under the assumptions that the catchability will remain constant for every fishery continuing to operate in the EPO (see Section 6.1.2) and that recruitment will vary randomly around the average, increases in future levels of surface fishing effort are expected to cause short-term increases in the catches taken by these fisheries (Fisheries 1-10). The reverse is also true; decreases in the future level of surface fishing effort are expected to cause a short-term decrease in the catch. It is also important to note that if the future level of effort increases (or decreases) by 25 percent, the catch will not necessarily increase (or decrease) by the same percentage. For example, if the future level of effort increases by 25 percent, the quarterly catches taken by the surface fleet during 2004 would be about 2 percent greater than those predicted under average levels of effort (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “125% surface effort”). Similarly, if the future level of effort decreases by 25 percent, the quarterly catches taken by the surface fleet during 2004 would decrease by less than 1 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “75% surface effort”). This lack of sensitivity of the future catch by the surface fishery to changes in the effort of the surface fishery is consistent with the facts that the curve relating average sustainable yield to fishing mortality is nearly flat at the top and that the current amount of fishing effort being exerted in the EPO produces an average yield that is very close to the AMSY (see Section 5.3 and Figure 5.3).

If the fisheries that catch yellowfin tuna in association with floating objects continue to exert an average amount of effort, preventing the capture of unmarketable fish (or ensuring that the discarded fish survive) would slightly increase the future catches of the surface fleet (Figure 6.3 and Table 6.1). Preventing the capture of unmarketable fish would increase the quarterly surface catch during 2004 by about 5 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “average, no discards”). Preventing the capture of unmarketable fish would increase the catch taken by the surface fleet because an increased number of small fish would survive and the total biomass of recruiting cohorts would increase from gains due to growth (Section 5.2).

6.3.4. Predicted catches taken by the longline fleet

The results from the simulation study suggest that future changes in the amount of effort exerted by the surface fleet would substantially affect the catches by the longline fleet (Figure 6.4 and Table 6.1). The quarterly longline catch during 2004 would increase by about 50 percent if the surface effort were reduced to 75 percent of its recent average for the next 5 years (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “75% surface effort”). Similarly, the quarterly longline catch during 2004 would decrease by about 28 percent if the surface fishing effort were increased to 125 percent of its recent average (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “125% surface effort”).

The future catch taken by longline vessels is predicted to be insensitive to whether the surface fleet continues to catch unmarketable yellowfin around floating objects (Figure 6.4 and Table 6.1). Pre-

venting catches of unmarketable yellowfin would increase the quarterly longline catch during 2004 by about 2 percent (Table 6.1; compare 50-percent quantiles from “average surface effort” to those from “average, no discards”). This result is consistent with prediction that the SBR would increase only slightly if the catches of unmarketable fish are prevented.

6.4. Summary of the simulation results

The strong cohort of yellowfin tuna that was apparently recruited to the fisheries in the EPO during 1998 (Figure 4.7) caused the SBR to increase during 1999. However, the following weak cohorts that entered the fishery in 1999 may reduce the SBR to levels that are, on average, slightly below the level that will support the AMSY.

It is predicted that future changes in the level of surface fishing effort would substantially affect the SBR, moderately affect the average weight of fish in the catch of all fisheries combined, have no effect on the total catch of the primary surface fleet (Fisheries 1-10), and substantially affect the total catch of the longline fleet (Fisheries 11 and 12) (Table 6.1). Increasing the level of surface fishing effort to 125 percent of its recent average would decrease the SBR (Figure 6.1), decrease the average weight of fish in the combined catch (Figure 6.2), and decrease the total catch taken by the longline fleet (Figure 6.4). Reducing the level of surface fishing effort to 75 percent of its recent average would have the opposite effects.

It is predicted that preventing the catches of unmarketable yellowfin tuna occurring around floating objects, particularly FADs (or ensuring that the discarded fish survive), would have insignificant effects on the SBRs and catches, but increase the average weight moderately.

The results from these simulations have been calculated using the average recruitment for the 1975-1999 period. As was mentioned in Section 4, it appears that yellowfin have been in a higher productivity regime for the last 15 years. If the simulations were repeated, using an average recruitment based on the 1985-1999 period, it is likely that the estimates of the SBRs and catches would be greater.

7. FUTURE DIRECTIONS

7.1. Collection of new and updated information

The IATTC staff intends to continue its collection of catch, effort, and size-composition data from the fisheries that catch yellowfin tuna in the EPO. New data collected during 2000 and updated data for 1999 will be incorporated into the next stock assessment.

The IATTC staff also intends to screen other types of environmental data for use in the stock assessment model.

7.2. Refinements to the assessment model and methods

The IATTC staff intends to continue to develop the A-SCALA method and further refine the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO. In particular, the staff plans to extend the model so that information obtained from the tagging studies that the IATTC staff has conducted over the years can be incorporated into the A-SCALA analyses. The staff also intends to reinvestigate indices of yellowfin abundance from the CPUEs of purse seiners fishing in the EPO. If this work is successful, the results will, as far as possible, be integrated into future stock assessments.

The IATTC staff also intends to develop methods for estimating uncertainty in AMSY-based quantities.

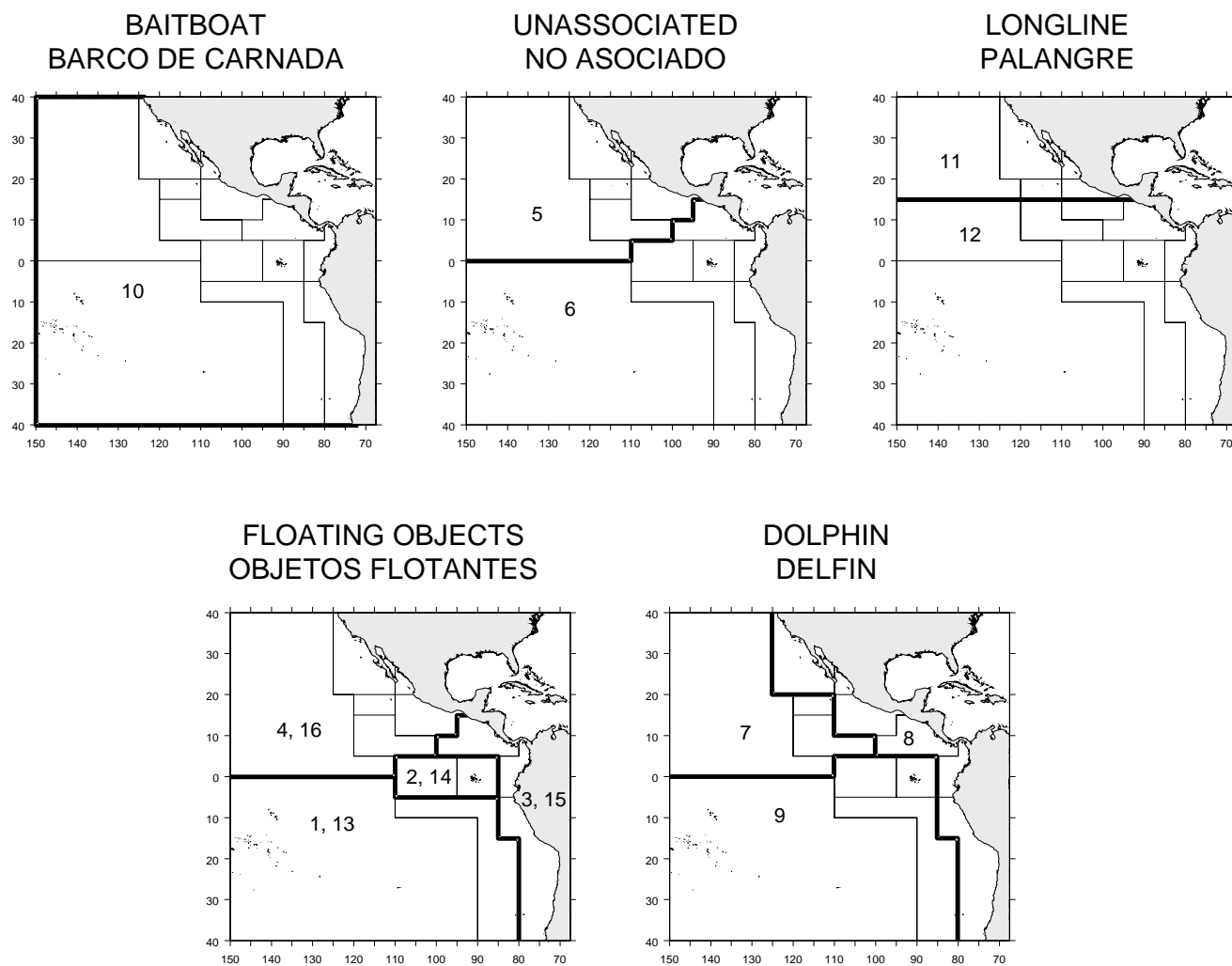


FIGURE 2.1. Spatial extents of the fisheries defined by the IATTC staff for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO. The thin lines indicate the boundaries of 13 length-frequency sampling areas, the bold lines the boundaries of each fishery defined for the stock assessment, and the bold numbers the fisheries to which the latter boundaries apply. The fisheries are described in Table 2.1.

FIGURA 2.1. Extensión espacial de las pesquerías definidas por el personal de la CIAT para la evaluación del atún aleta amarilla en el OPO. Las líneas delgadas indican los límites de 13 zonas de muestreo de frecuencia de tallas, las líneas gruesas los límites de cada pesquería definida para la evaluación del stock, y los números en negritas las pesquerías correspondientes a estos últimos límites. En la Tabla 2.1 se describen las pesquerías.

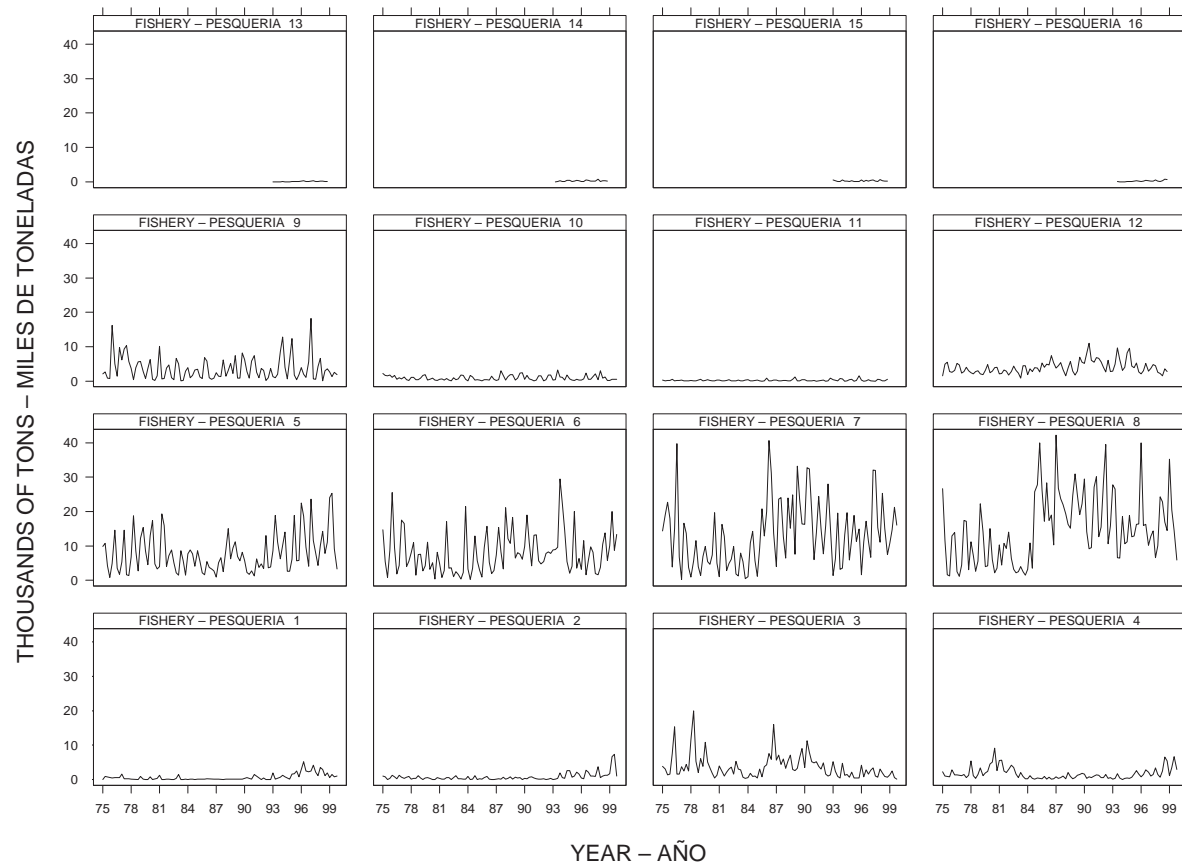


FIGURE 2.2. Catches by the fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO (Table 2.1). Since the data were analyzed on a quarterly basis, there are four observations of catch for each year. Although all the catches are displayed as weights, the stock assessment model uses catch in numbers for Fisheries 11 and 12. Catches in weight for Fisheries 11 and 12 are estimated by multiplying the catches in numbers of fish by estimates of the average weights.

FIGURA 2.2. Capturas de las pesquerías definidas para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO (Tabla 2.1). Ya que se analizaron los datos por trimestre, hay cuatro observaciones de captura para cada año. Se expresan todas las capturas en peso, pero el modelo de evaluación del stock usa captura en número de peces para las Pesquerías 11 y 12. Se estiman las capturas de las Pesquerías 11 y 12 en peso multiplicando las capturas en número de peces por estimaciones del peso promedio.

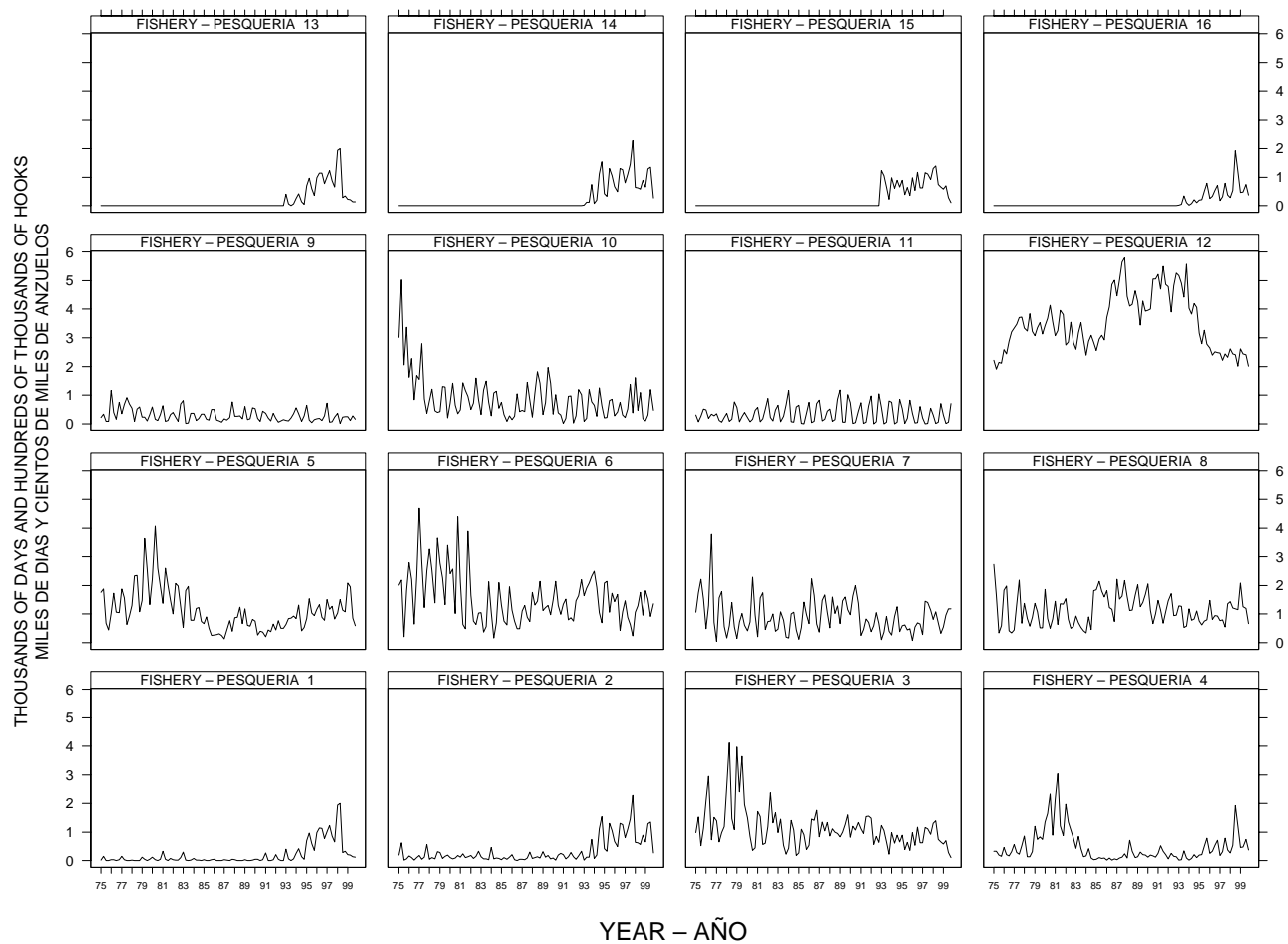


FIGURE 2.3. Fishing effort exerted by the fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO (Table 2.1). Since the data were summarized on a quarterly basis, there are four observations of effort for each year. The effort for Fisheries 1-10 and 13-16 is in days fished, and that for Fisheries 11 and 12 is in numbers of hooks.

FIGURA 2.3. Esfuerzo de pesca ejercido por las pesquerías definidas para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO (Tabla 2.1). Ya que se analizaron los datos por trimestre, hay cuatro observaciones de esfuerzo para cada año. Se expresa el esfuerzo de las Pesquerías 1-10 y 13-16 en días de pesca, y el de las Pesquerías 11 y 12 en número de anzuelos.

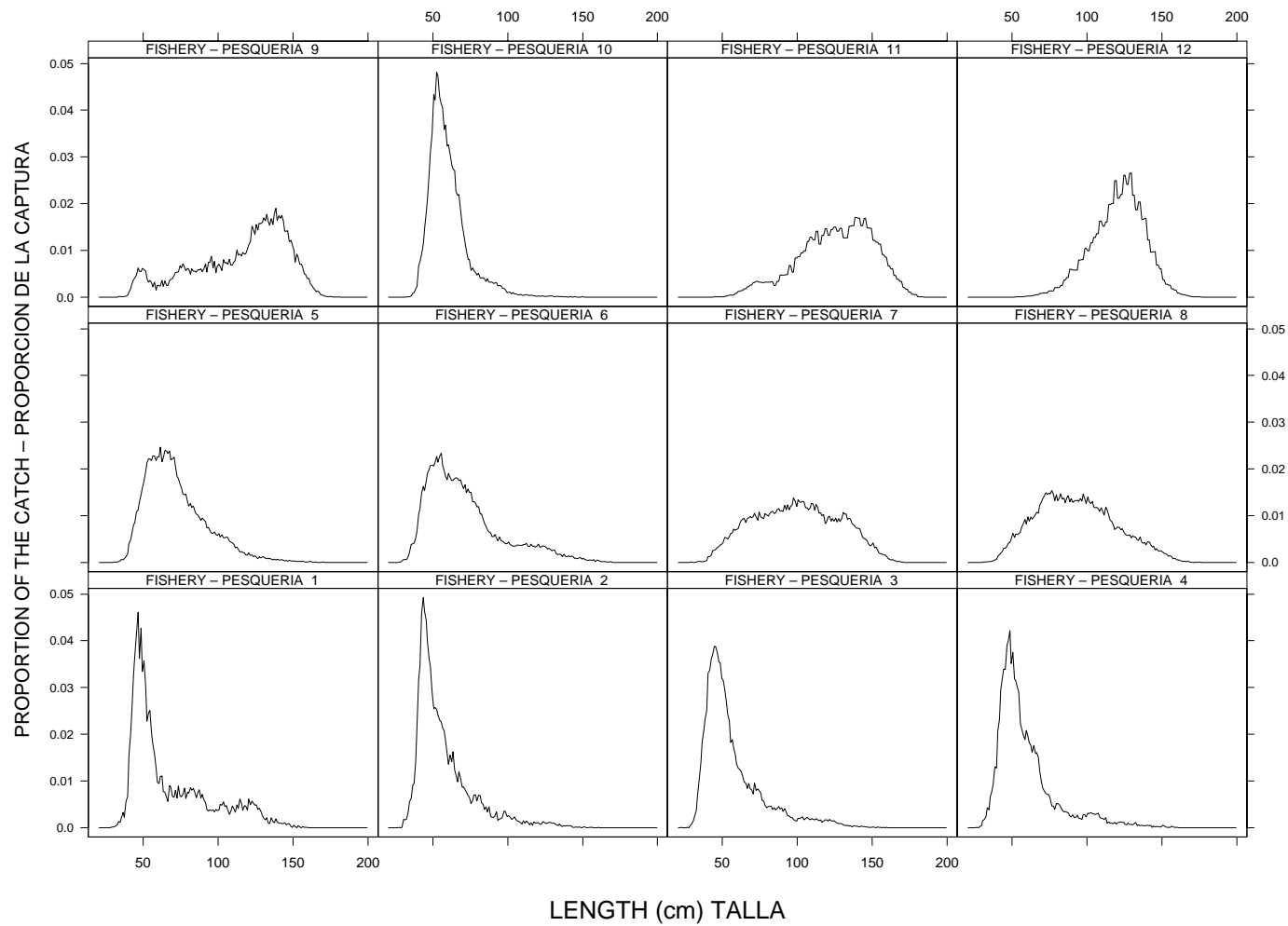


FIGURE 2.4. Average size compositions of the catches made by the fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO (Table 2.1). The data cover the period of January 1975 through December 1999.

FIGURA 2.4. Composición media por tamaño de las capturas realizadas por las pesquerías definidas para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO (Tabla 2.1). Los datos abarcan el período de enero de 1975 a diciembre de 1999.

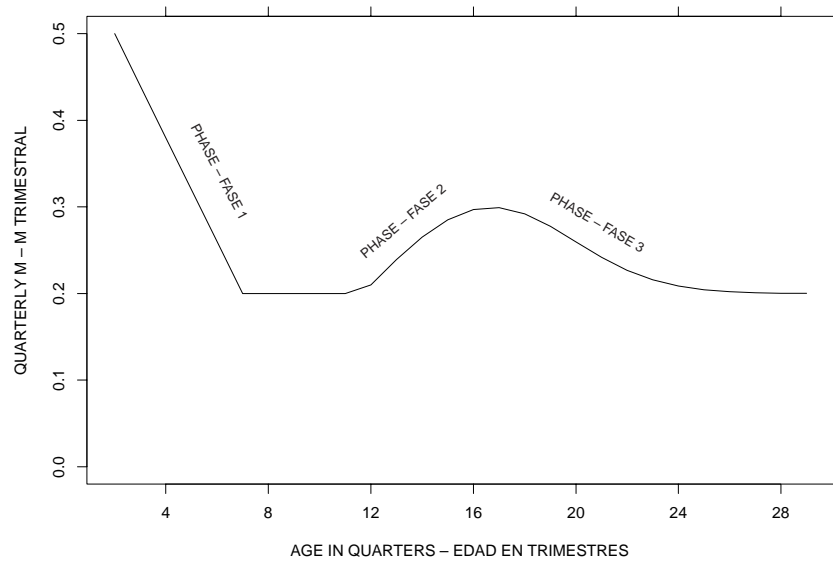


FIGURE 3.1. Natural mortality (M) rates, at quarterly intervals, used for the assessment of yellowfin tuna in the EPO. Descriptions of the three phases of the mortality curve are provided in Section 3.1.4.

FIGURA 3.1. Tasas de mortalidad natural (M), a intervalos trimestrales, usadas para la evaluación del atún aleta amarilla en el OPO. En la Sección 3.1.4 se describen las tres fases de la curva de mortalidad.

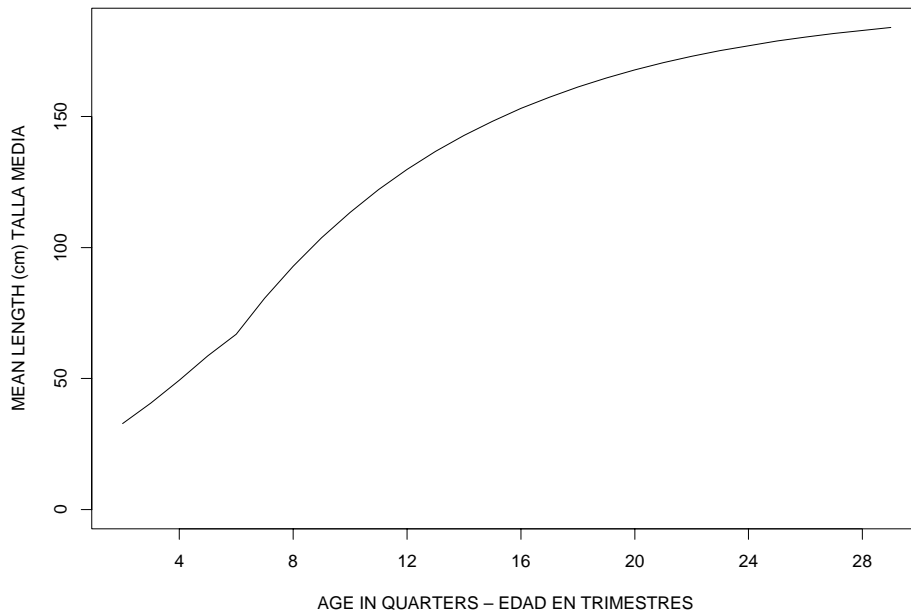


FIGURE 3.2. Growth curve used for the assessment of yellowfin tuna in the EPO.

FIGURA 3.2. Curva de crecimiento usada para la evaluación del atún aleta amarilla en el OPO.

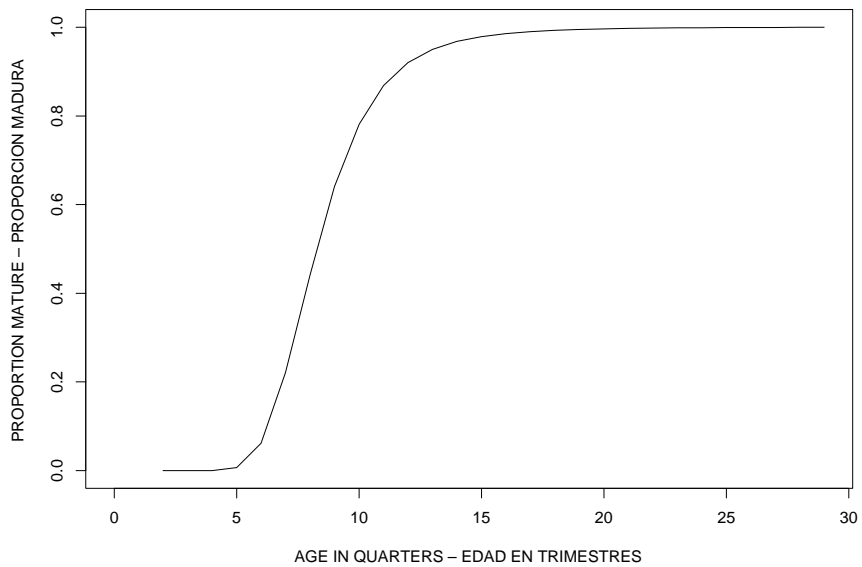


FIGURE 3.3. Maturity-at-age curve (from Schaefer 1998) used to estimate the spawning biomass of yellowfin tuna in the EPO.

FIGURA 3.3. Curva de madurez a edad (de Schaefer 1998) usada para estimar la biomasa reproductora de atún aleta amarilla en el OPO.

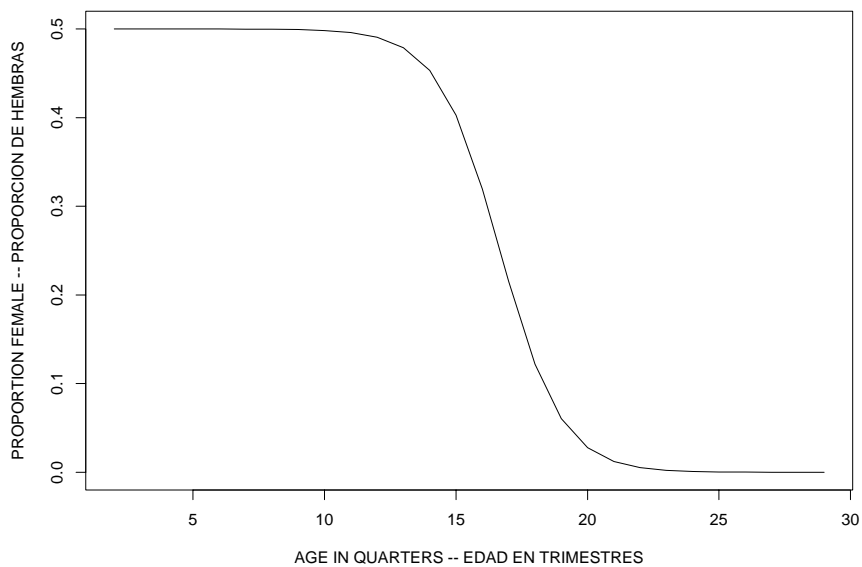


FIGURE 3.4. Sex ratio (from Schaefer 1998) curve used to estimate the spawning biomass of yellowfin tuna in the EPO.

FIGURA 3.4. Curva de proporciones de sexos (de Schaefer 1998) usada para estimar la biomasa reproductora de atún aleta amarilla en el OPO.

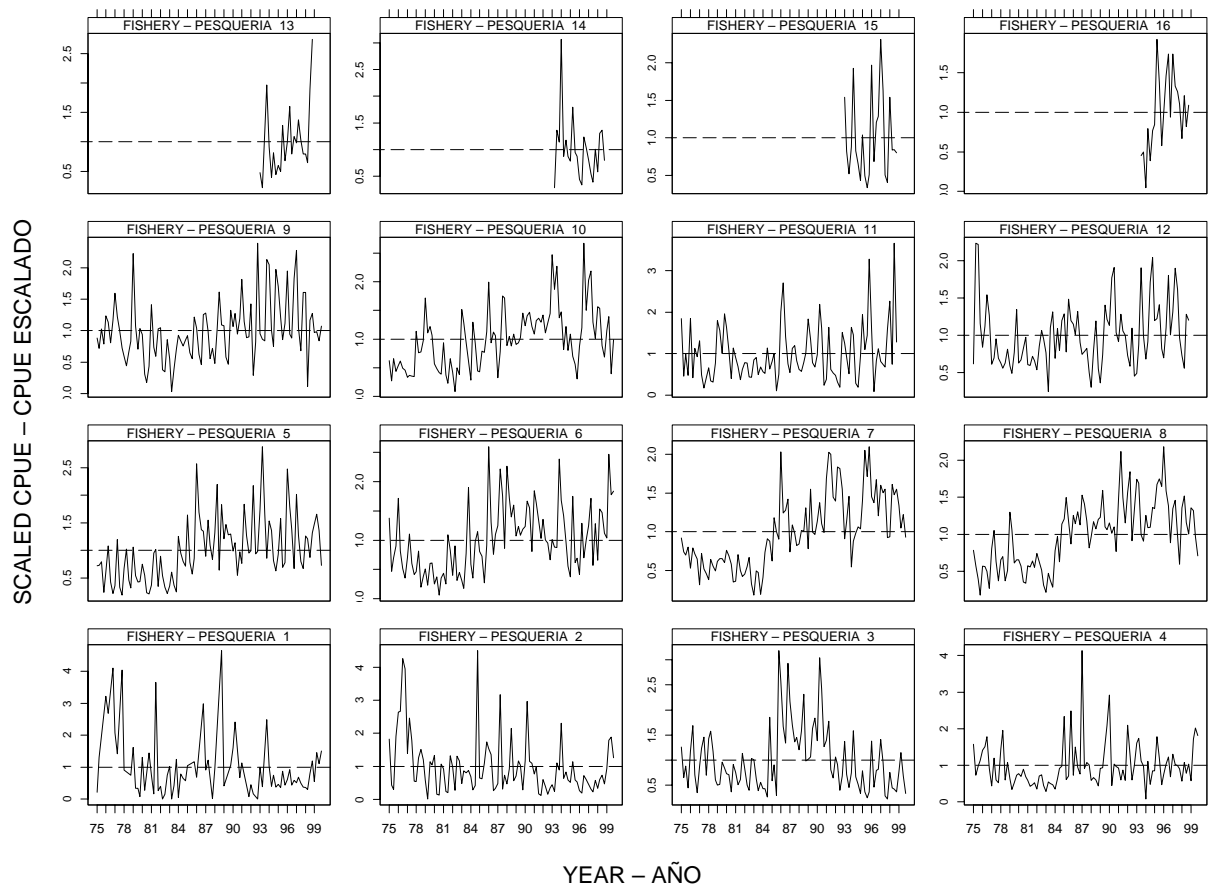


FIGURE 4.1. CPUEs for the fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO (Table 2.1). Since the data were summarized on a quarterly basis, there are four observations of CPUE for each year. The CPUEs for Fisheries 1-10 and 13-16 are in kilograms per day fished, and those for Fisheries 11 and 12 are in numbers of fish caught per number of hooks. The data are adjusted so that the mean of each time series is equal to 1.0. It should be noted that the vertical scales of the panels are different.

FIGURA 4.1. CPUE logradas por las pesquerías definidas para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO (Tabla 2.1). Ya que se resumieron los datos por trimestre, hay cuatro observaciones de CPUE para cada año. Se expresan las CPUE de las Pesquerías 1-10 y 13-16 en kilogramos por día de pesca, y las de las Pesquerías 11 y 12 en número de peces capturados por número de anzuelos. Se ajustaron los datos para que el promedio de cada serie de tiempo equivalga a 1,0. Nótese que las escalas verticales de los recuadros son diferentes.

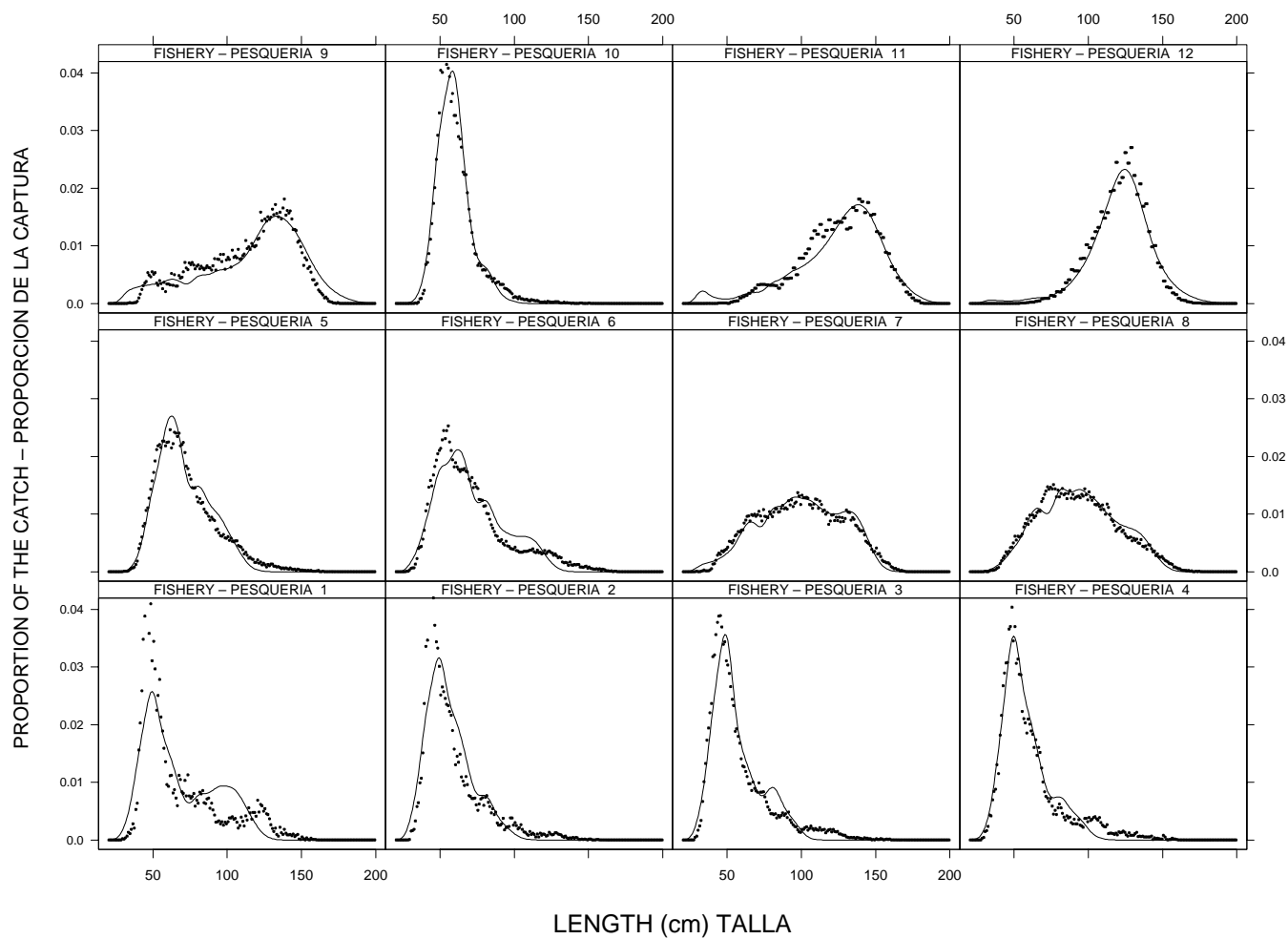


FIGURE 4.2. Average observed (solid circles) and predicted (curves) size compositions of the catches taken by the fisheries defined for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO.

FIGURA 4.2. Composición media por tamaño observada (círculos sólidos) y predicha (curvas) de las capturas realizadas por las pesquerías definidas para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO.

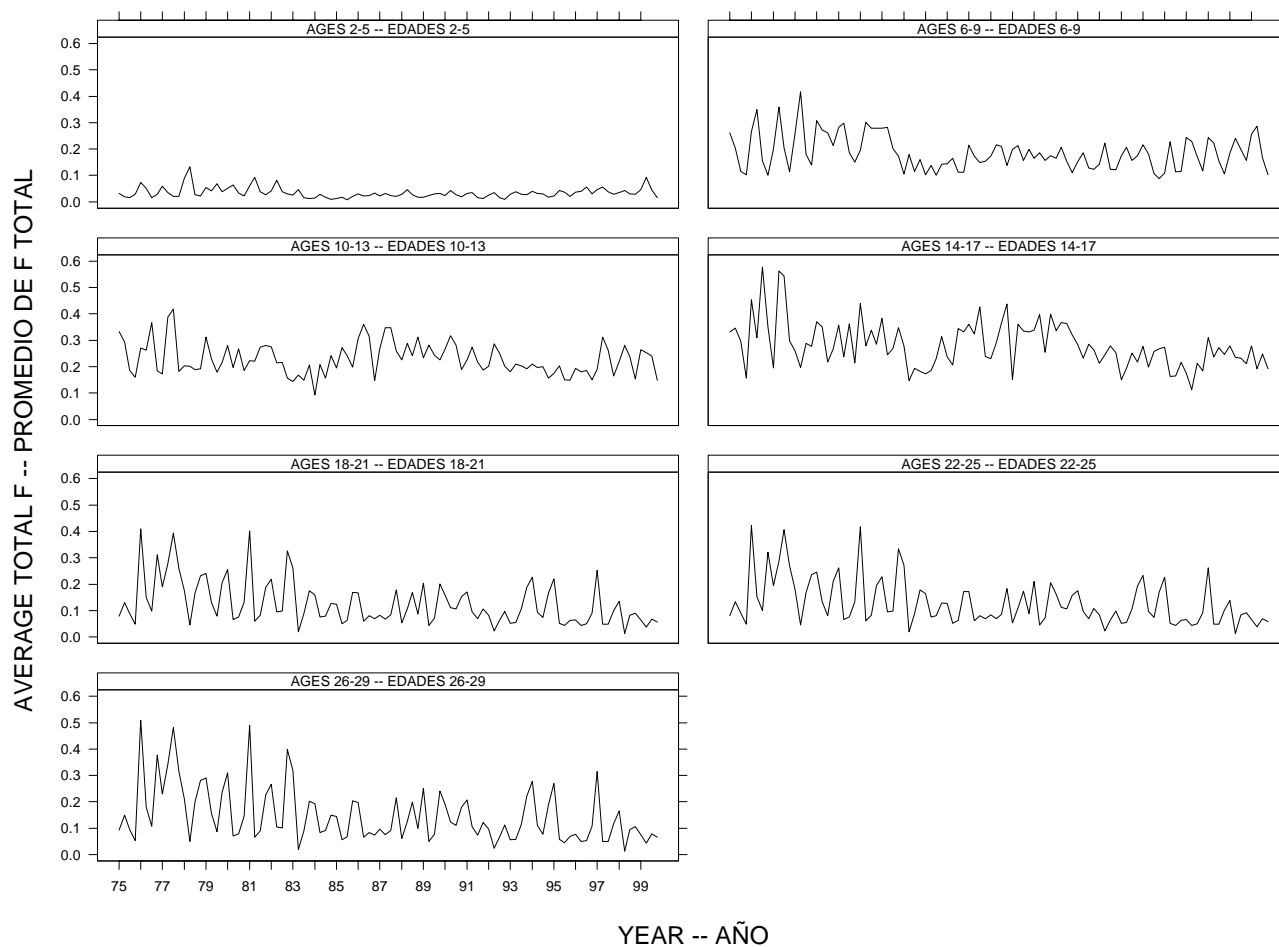


FIGURE 4.3. Time series of average total quarterly fishing mortality of yellowfin tuna that have been recruited to the fisheries of the EPO. Each panel illustrates an average of four quarterly fishing mortality vectors that affected the fish that were as old as the range of ages indicated in the title of each panel. For example, the trend illustrated in the upper-left panel is an average of the fishing mortalities that affected fish that were 2-5 quarters old.

FIGURA 4.3. Series de tiempo de la mortalidad por pesca trimestral total media de atún aleta amarilla reclutado a las pesquerías del OPO. Cada recuadro ilustra un promedio de cuatro vectores trimestrales de mortalidad por pesca que afectaron los peces de la edad indicada en el título de cada recuadro. Por ejemplo la tendencia ilustrada en el recuadro superior izquierdo es un promedio de las mortalidades por pesca que afectaron peces de entre 2 y 5 trimestres de edad.

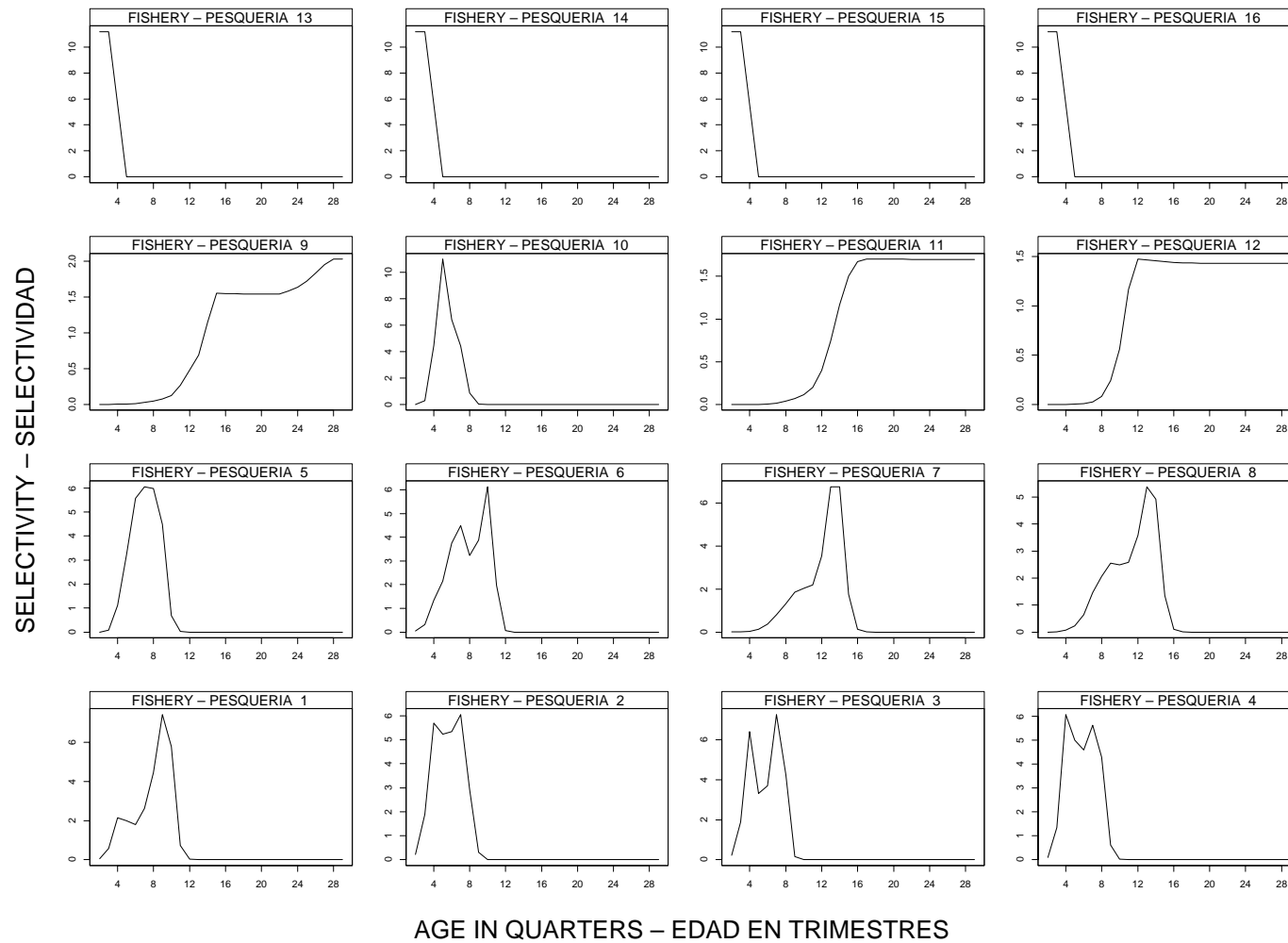


FIGURE 4.4. Selectivity curves for the 16 fisheries that take yellowfin tuna in the EPO. The curves for Fisheries 1-12 were estimated with the A-SCALA method. The curves for Fisheries 13-16 are based on assumptions.

FIGURA 4.4. Curvas de selectividad para las 16 pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO. Se estimaron las curvas de las Pesquerías 1 a 12 con el método A-SCALA; las de la Pesquerías 13-16 se basan en supuestos.

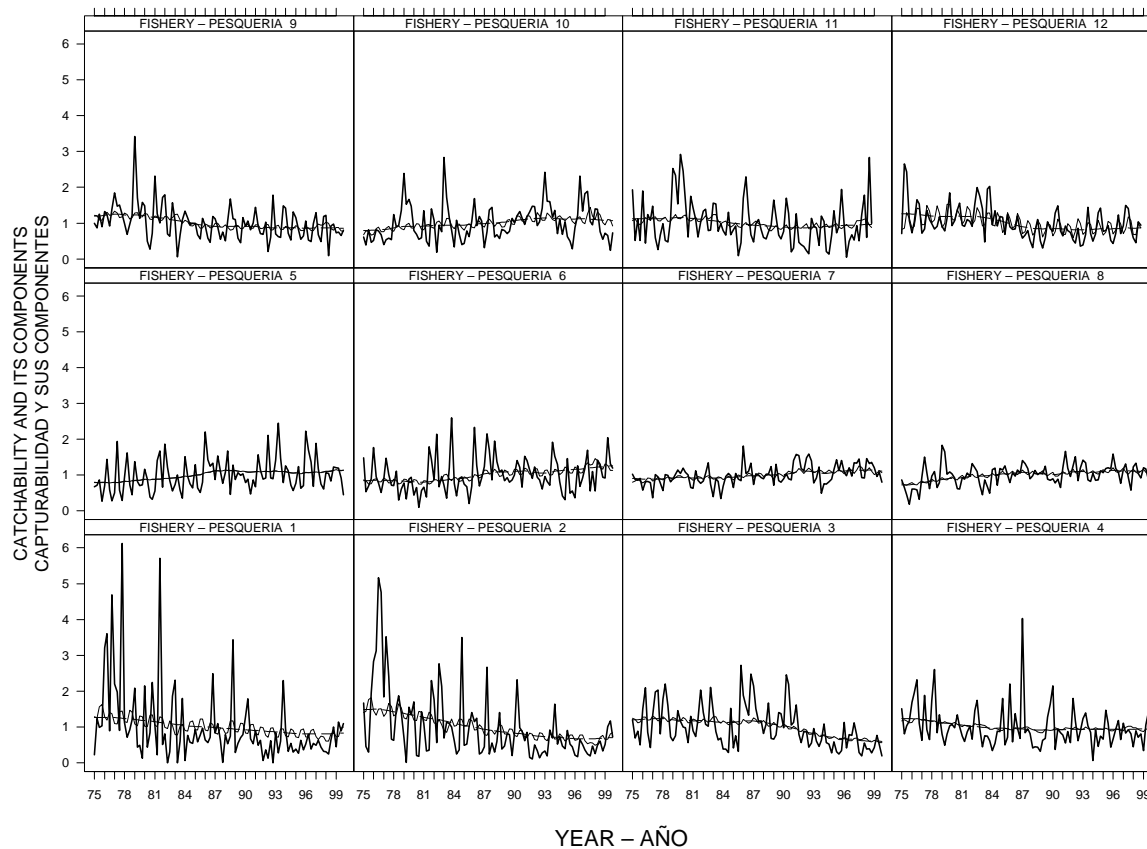


FIGURE 4.5a. Trends in catchability (q) for the 16 fisheries that take yellowfin tuna in the EPO. The estimates are scaled to the initial technological and behavioral components of q . The dashed lines illustrate trends caused by temporal changes in fishing technology and the behavior of fishermen. The thin lines illustrate how environmental effects alter the effects of technology and behavior. The bold lines include random effects, and illustrate the overall trends in catchability. When the thin lines and bold lines follow the same trend the environmental conditions may be considered to affect catchability.

FIGURA 4.5a. Tendencias en capturabilidad (q) para las 16 pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO. Se escalan las estimaciones a los componentes iniciales tecnológicos y de comportamiento de q . Las líneas de trazos ilustran tendencias causadas por cambios temporales en la tecnología de pesca y el comportamiento de los pescadores. Las líneas delgadas ilustran cómo los efectos ambientales cambian los efectos de tecnología y comportamiento. Las líneas gruesas incluyen efectos aleatorios, e ilustran las tendencias generales en capturabilidad. Cuando las líneas delgada y gruesa siguen la misma tendencia, se puede considerar que las condiciones ambientales afectan la capturabilidad.

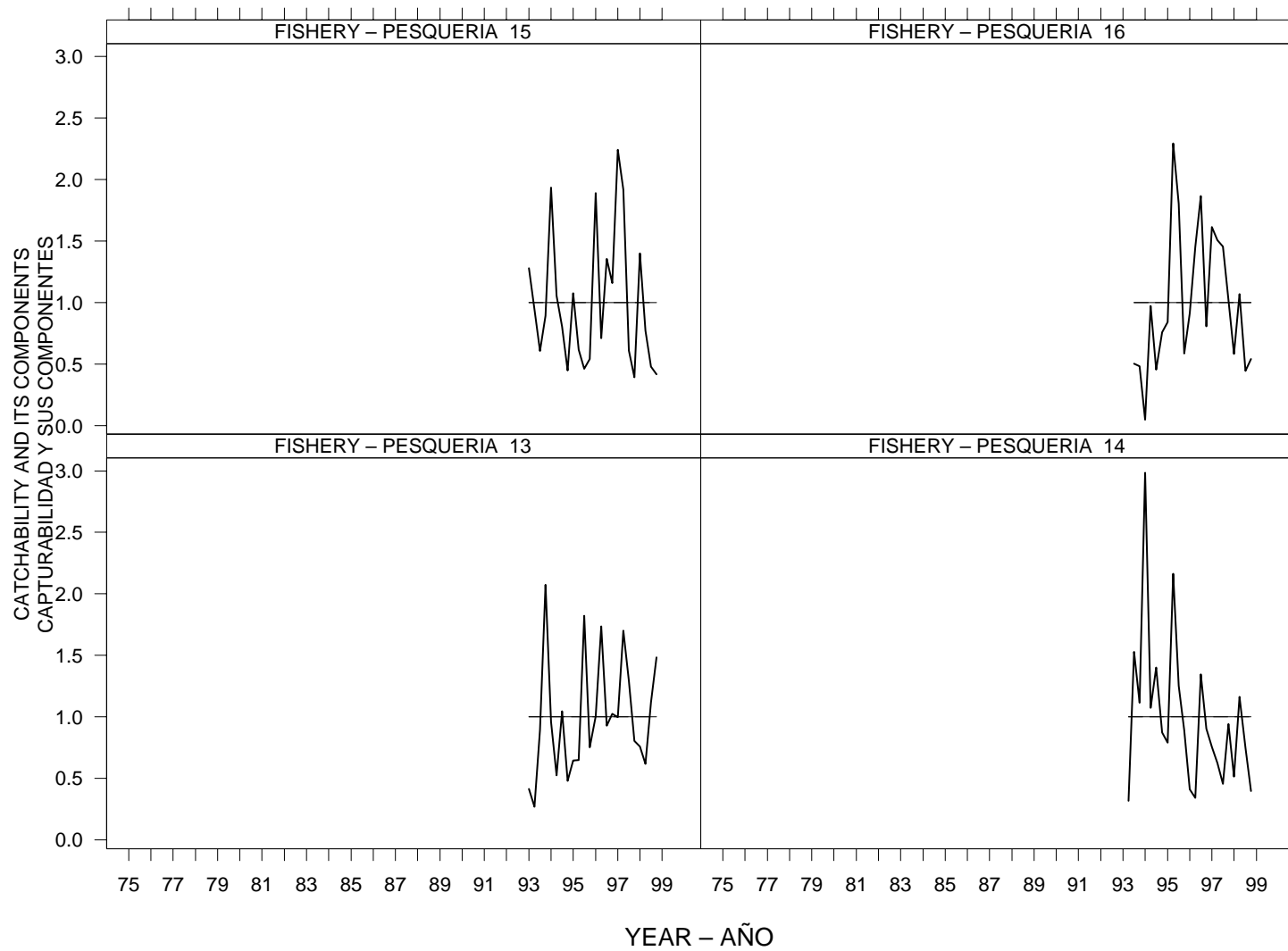


FIGURE 4.5b. Trends in catchability (q) for the 16 fisheries that take yellowfin tuna in the EPO. See Figure 4.5a for additional detail.
FIGURA 4.5b. Tendencias en capturabilidad (q) para las 16 pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO. Ver Figura 4.5a para mayor detalle.

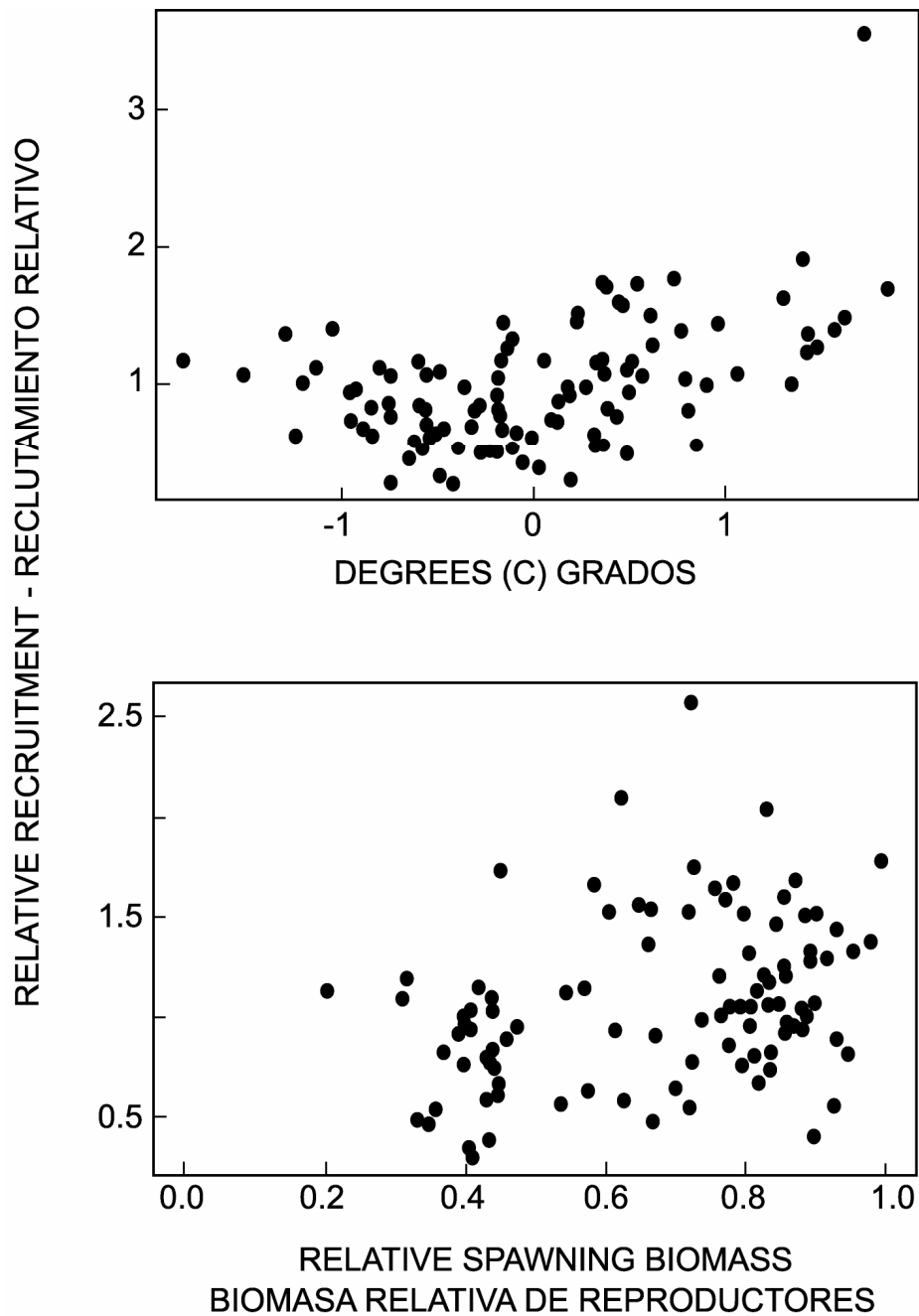


FIGURE 4.6. Estimated relationships between recruitment of yellowfin tuna and SST anomalies at the assumed time of hatching (upper panel) and between recruitment and spawning biomass (lower panel). The recruitment is scaled so that the average recruitment is equal to 1.0. The spawning biomass is scaled so that the maximum estimated spawning biomass is equal to 1.0. Environmental effects have been removed from the estimates of recruitment illustrated in the right panel.

FIGURA 4.6. Relaciones estimadas entre reclutamiento de atún aleta amarilla y anomalías de las TSM en es momento supuesto de cría (recuadro superior) y entre reclutamiento y biomasa reproductora (recuadro inferior). Se escala el reclutamiento para que el reclutamiento medio equivalga a 1,0, y la biomasa reproductora para que la biomasa reproductora máxima estimada equivalga a 1,0. Se eliminaron los efectos ambientales de las estimaciones de reclutamiento ilustradas en el recuadro derecho.

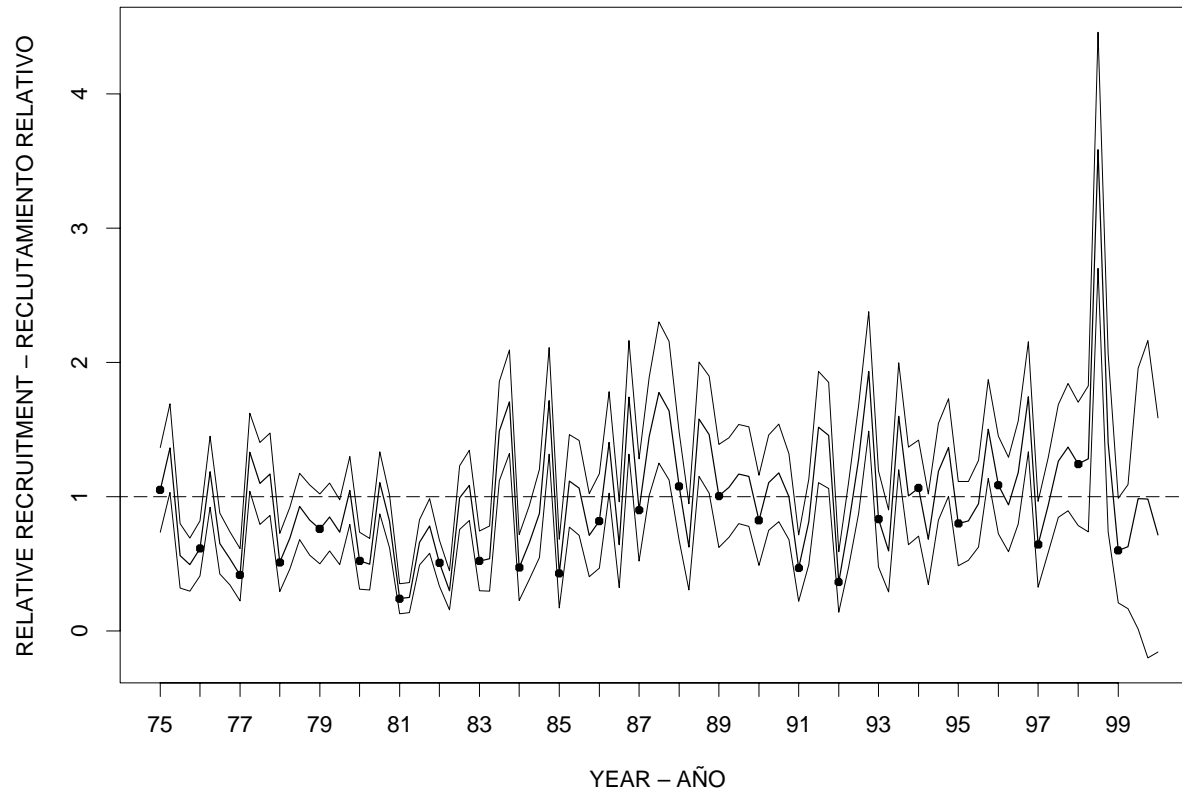


FIGURE 4.7. Estimated recruitment of yellowfin tuna to the fisheries of the EPO. The estimates are scaled so that the average recruitment is equal to 1.0. The bold line illustrates the maximum likelihood estimates of recruitment, and the thin lines indicate the approximate 95-percent confidence intervals around those estimates. The labels on the time axis are drawn at the start of each year, but, since the assessment model represents time on a quarterly basis, there are four estimates of recruitment for each year.

FIGURA 4.7. Reclutamiento estimado de atún aleta amarilla a las pesquerías del OPO. Se escalan las estimaciones para que el reclutamiento medio equivalga a 1,0. La línea gruesa ilustra las estimaciones de probabilidad máxima del reclutamiento, y las líneas delgadas los intervalos de confianza de 95% aproximados de las estimaciones. Se dibujan las leyendas en el eje de tiempo al principio de cada año, pero, ya que el modelo de evaluación representa el tiempo por trimestres, hay cuatro estimaciones de reclutamiento para cada año.

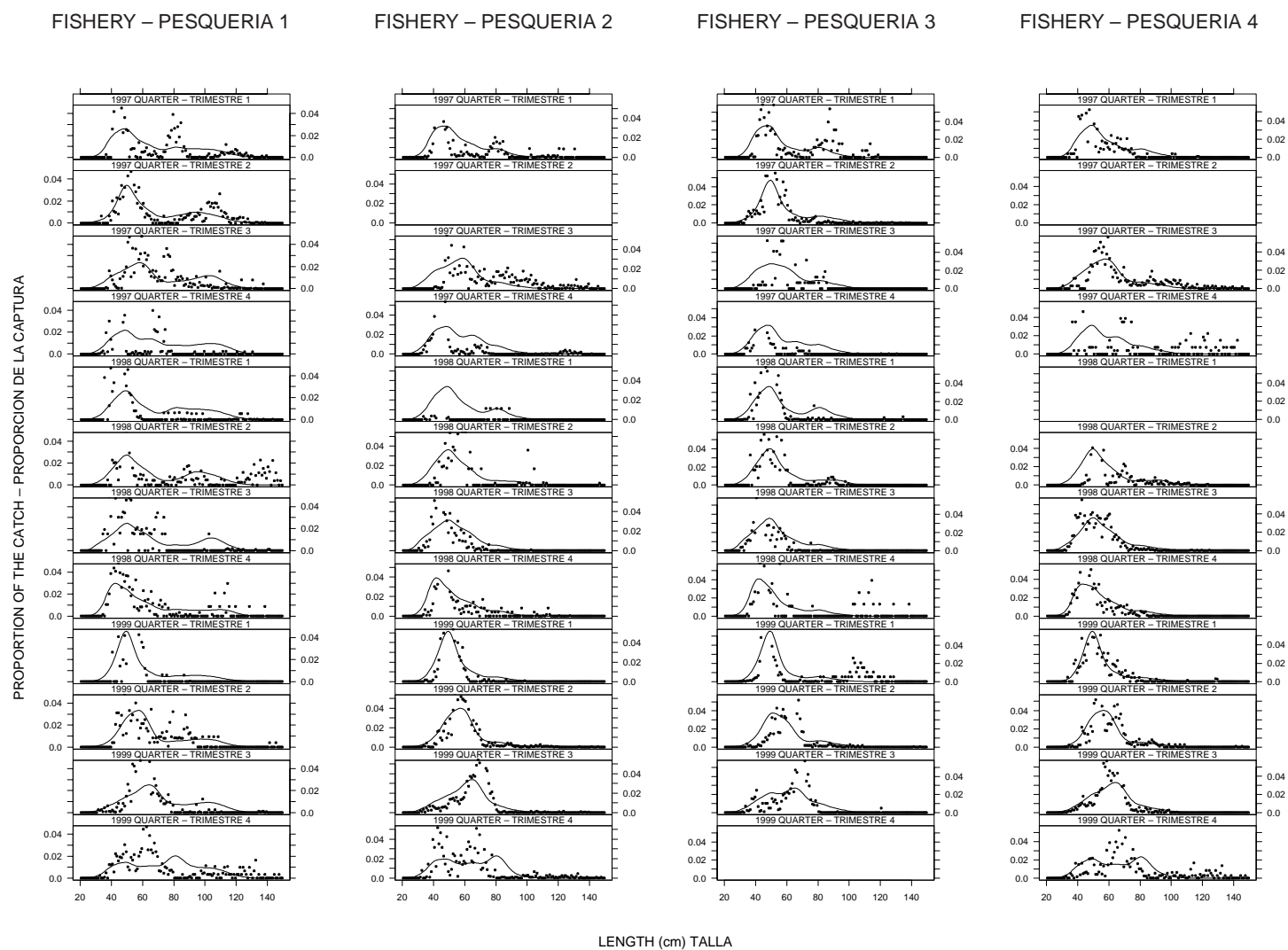


FIGURE 4.8. Observed (filled circles) and predicted (curves) size compositions of the catches recently taken by the fisheries that take yellowfin tuna in association with floating objects.

FIGURA 4.8. Composiciones por tamaño observadas (círculos sólidos) y predichas (curvas) de las capturas recientes de las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en asociación con objetos flotantes.

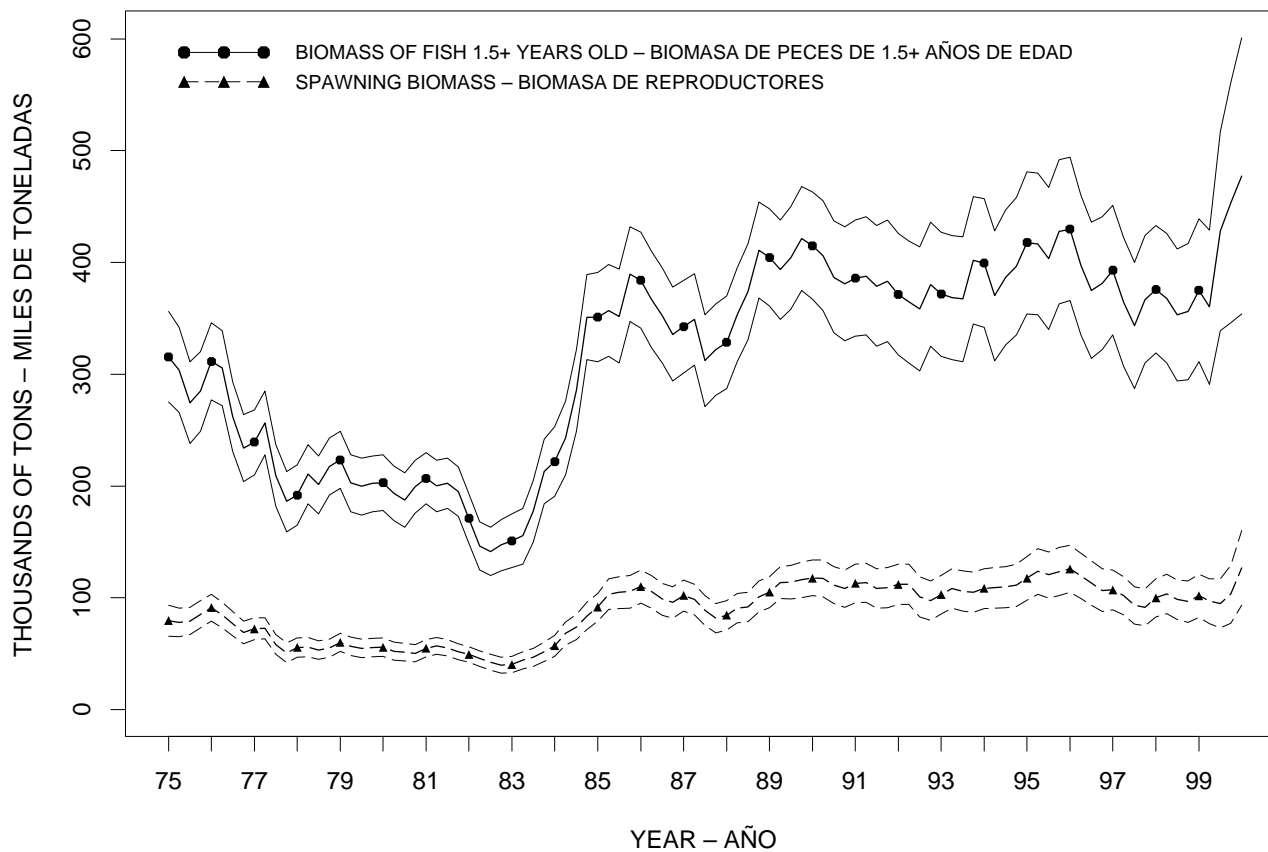


FIGURE 4.9. Estimated biomass and spawning biomass of yellowfin tuna in the EPO. The bold lines illustrate the maximum likelihood estimates of the biomass, and the thin lines the approximate 95-percent confidence intervals around those estimates. Since the assessment model represents time on a quarterly basis, there are four estimates of biomass for each year.

FIGURA 4.9. Biomasa estimada y biomasa reproductora de atún aleta amarilla en el OPO. Las líneas gruesas ilustran las estimaciones de probabilidad máxima de la biomasa, y las delgadas los límites de confianza de 95% aproximados de las estimaciones. Ya que el modelo de evaluación representa el tiempo por trimestres, hay cuatro estimaciones de biomasa para cada año.

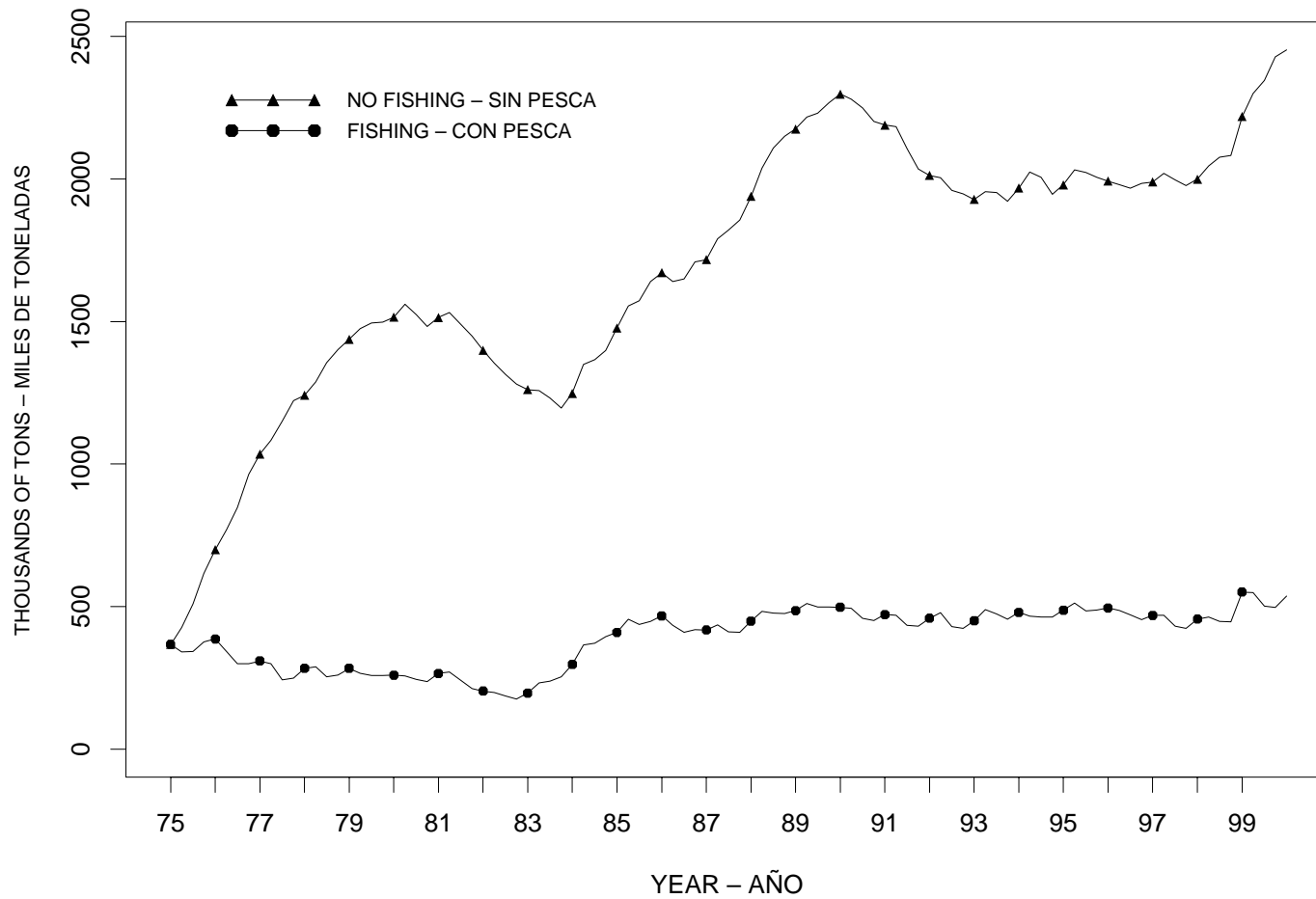


FIGURE 4.10. Biomass trajectory of a simulated population of yellowfin tuna that was not exploited during 1975-1999 (“no fishing”) and that predicted by the stock assessment model (“fishing”).

FIGURA 4.10. Trayectoria de biomasa de una población simulada de atún aleta amarilla no explotada durante 1975-1999 (“sin pesca”) y la predicha por el modelo de evaluación del stock (“con pesca”).

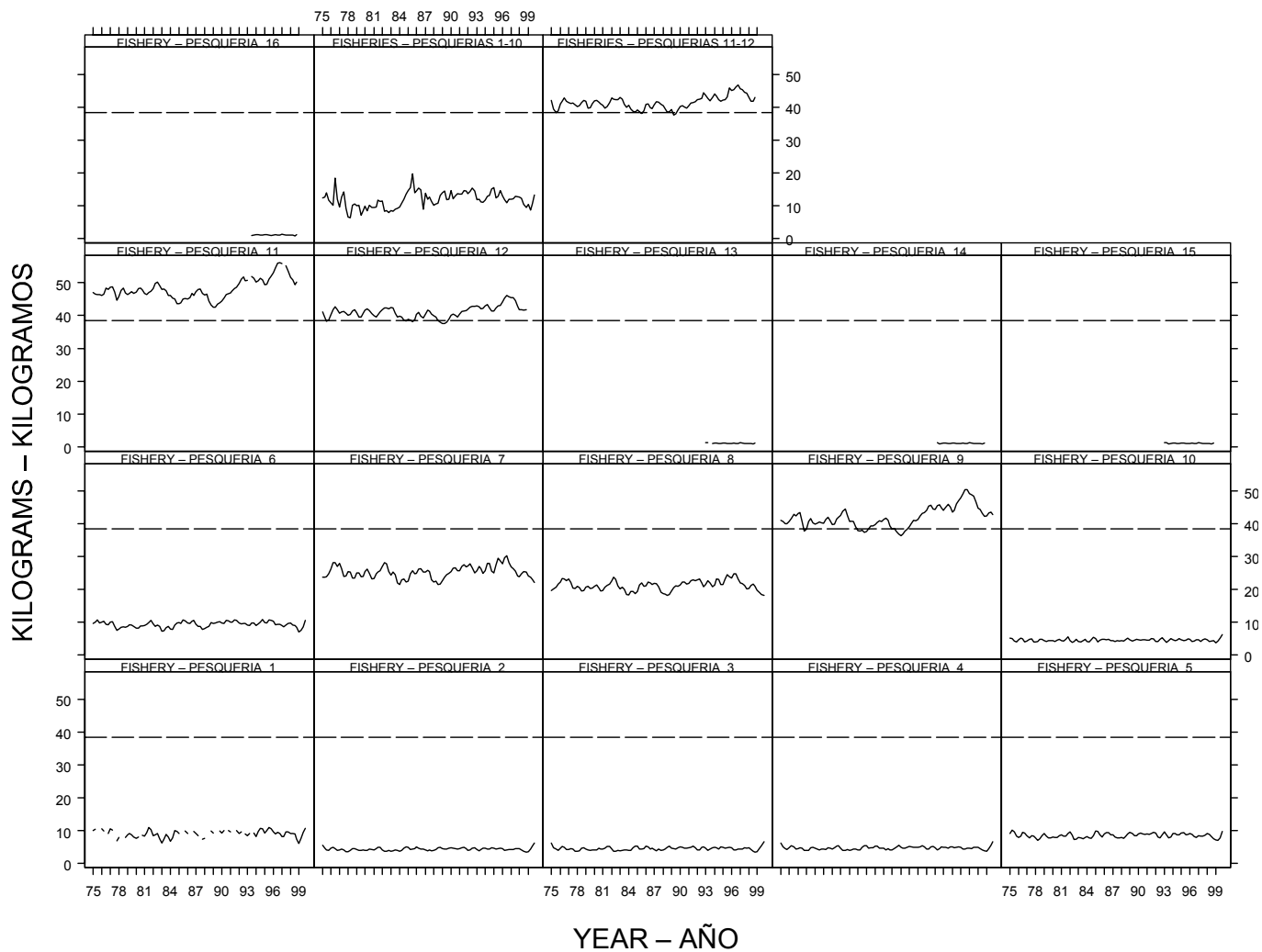


FIGURE 4.11. Estimated average weights of yellowfin tuna caught by the fisheries of the EPO. The time series for “Fisheries 1-10” is an average of Fisheries 1 through 7, and the time series for “Fisheries 8-9” is an average of Fisheries 11 and 12. The dashed line identifies the critical weight.
FIGURA 4.11. Peso medio estimado de atún aleta amarilla capturado en las pesquerías del OPO. La serie de tiempo de “Pesquerías 1-10” es un promedio de las Pesquerías 1 a 10, y la de “Pesquerías 11-12” un promedio de las Pesquerías 11 y 12. La línea de trazos señala el peso crítico.

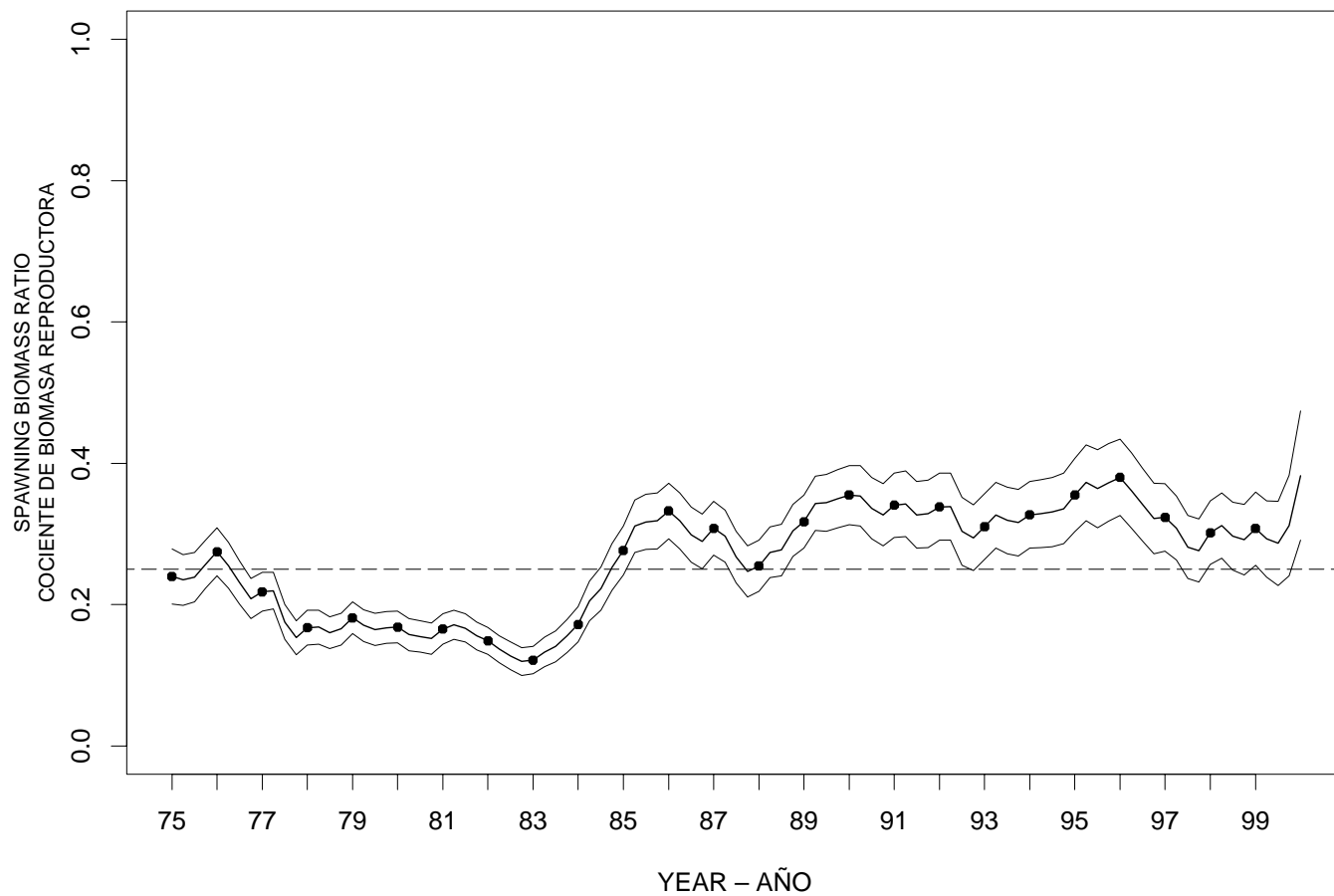


FIGURE 5.1. Estimated time series of spawning biomass ratios (SBRs) for yellowfin tuna in the EPO. The dashed horizontal line (at about 0.25) identifies the SBR at AMSY.

FIGURA 5.1. Series de tiempo estimadas de los cocientes de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla en el OPO. La línea de trazos horizontal (en aproximadamente 0,25) identifica el SBR en RPMS.

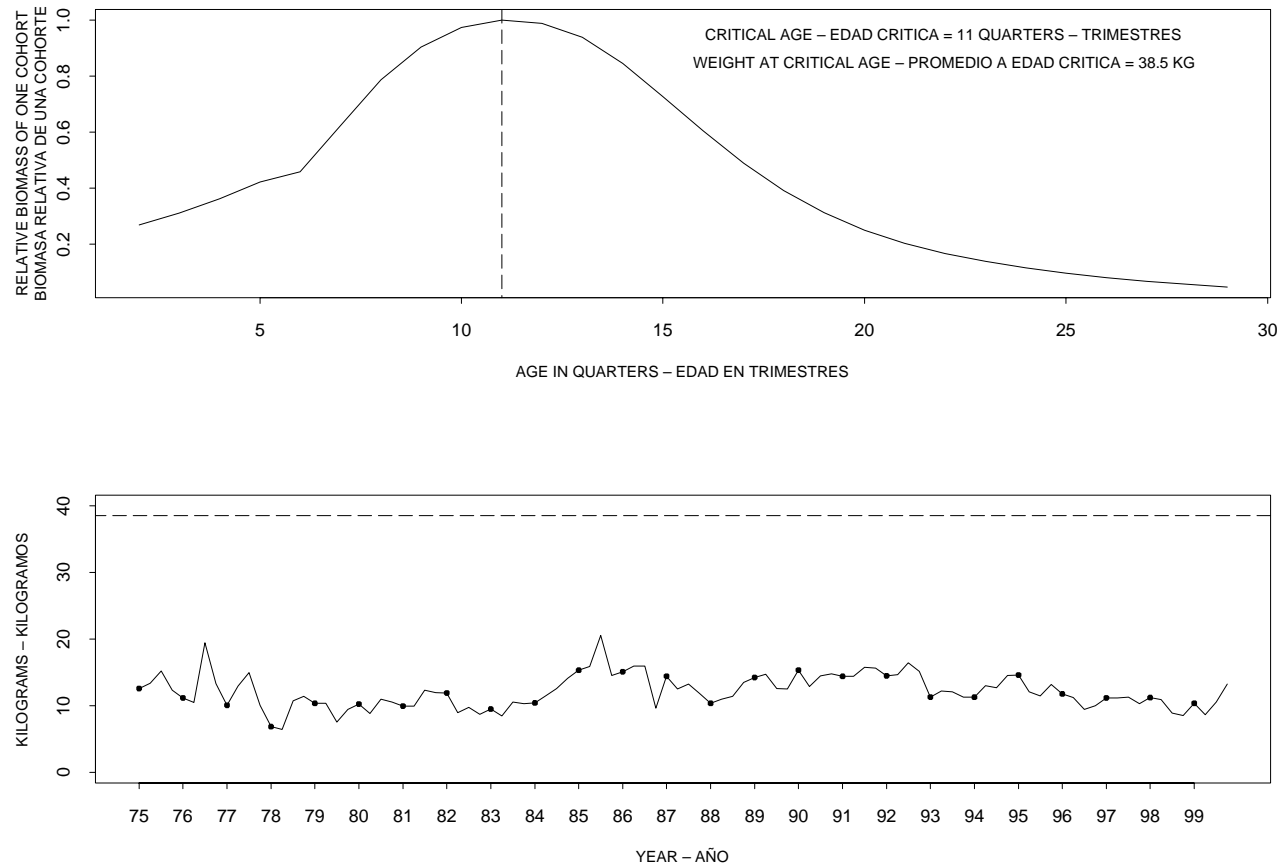


FIGURE 5.2. Combined performance of all fisheries that take yellowfin tuna in the EPO at achieving the maximum yield per recruit. The upper panel illustrates the growth (in weight) of a single cohort of yellowfin, and identifies the “critical age” and “critical weight” (Section 5). The critical weight is drawn as the horizontal dashed line in the lower panel, and is a possible reference point for determining whether the fleet has been close to maximizing the yield per recruit. **FIGURA 5.2.** Desempeño combinado de todas las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO con respecto al rendimiento por recluta máximo. El recuadro superior ilustra el crecimiento (en peso) de una sola cohorte de aleta amarilla, e identifica la “edad crítica” y el “peso crítico” (Sección 5). El peso crítico es representado por la línea de trazos horizontal en el recuadro inferior, y constituye un posible punto de referencia para determinar si la flota estuvo cerca de maximizar el rendimiento por recluta.

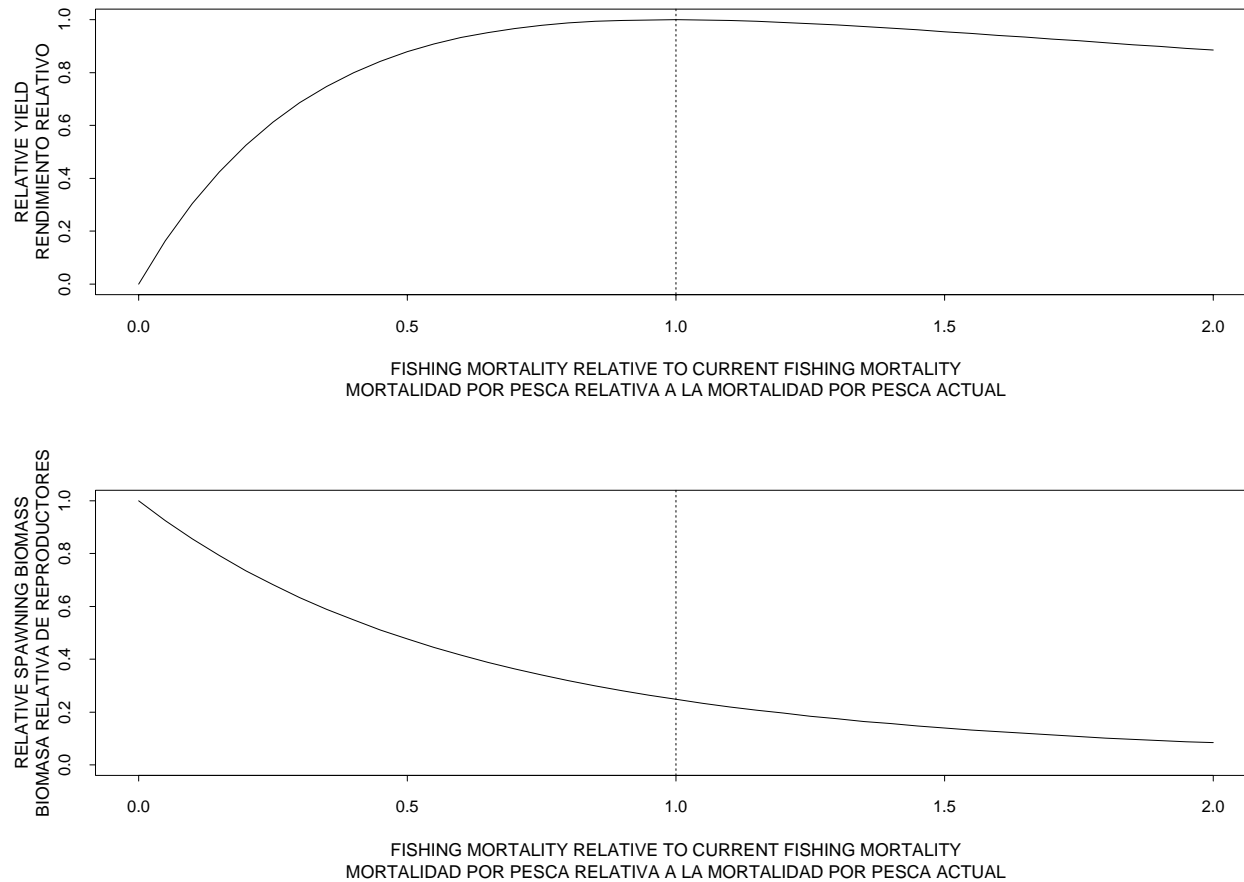


FIGURE 5.3. Predicted effects of long-term changes in fishing effort on the yield (upper panel) and spawning biomass (lower panel) of yellowfin tuna under average environmental conditions, constant recruitment, and the current age-specific selectivity pattern of all fisheries combined. The yield estimates are scaled so that the AMSY is at 1.0, and the spawning biomass estimates so that the spawning biomass is equal to 1.0 in the absence of exploitation.

FIGURA 5.3. Efectos predichos de cambios a largo plazo en el esfuerzo de pesca sobre el rendimiento (recuadro superior) y la biomasa reproductora (recuadro inferior) de atún aleta amarilla bajo condiciones ambientales medias, reclutamiento constante, y el patrón actual de selectividad por edad de todas las pesquerías combinadas. Se escalan las estimaciones de rendimiento para que el RPMS esté en 1,0, y las de biomasa reproductora para que ésta equivalga a 1,0 en ausencia de explotación.

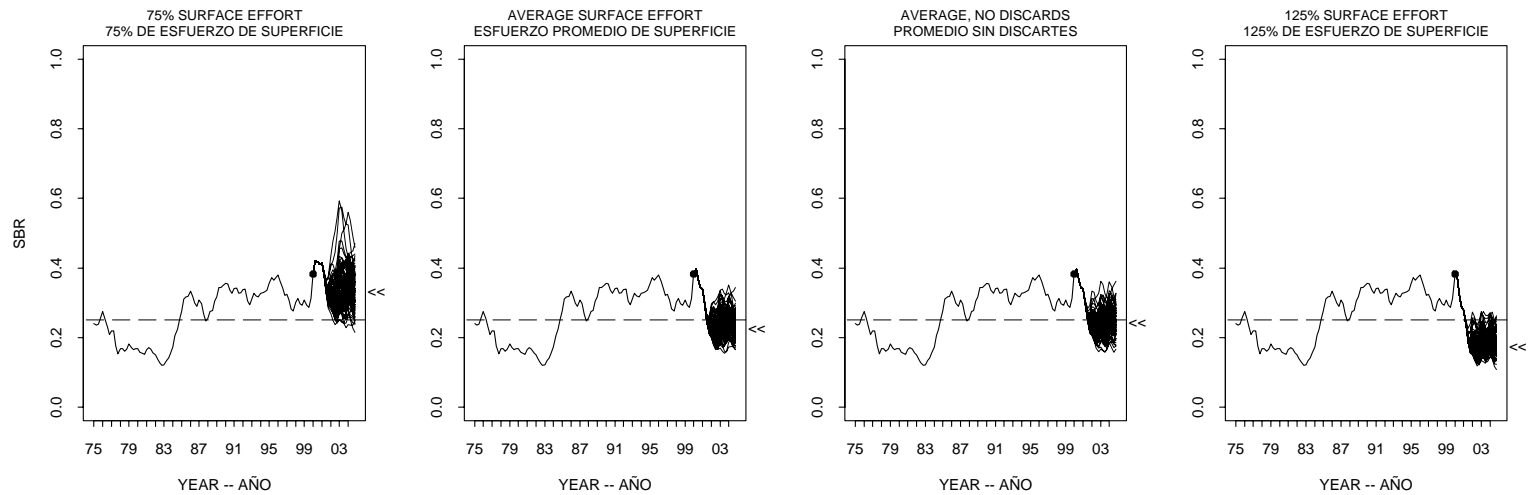


FIGURE 6.1. Simulated SBRs during 2000-2004 for yellowfin tuna in the EPO. Each panel illustrates the results of 100 simulations using different scenarios describing the future level of fishing effort exerted by the surface fleet and the status of discards (Sections 6.1 and 6.2). For the last quarter of 2004, 50 percent of the simulated SBRs are predicted to be greater than and less than the SBR indicated by the “<<” symbol at the right edge of each panel. The dashed horizontal lines (at 0.25) identify SBR_{AMSY} (Section 5.3).

FIGURA 6.1. SBR simulados durante 2000-2004 para el atún aleta amarilla en el OPO. Cada recuadro ilustra los resultados de 100 simulaciones usando distintos escenarios sobre el futuro nivel de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie y la situación de los descartes (Secciones 6.1 y 6.2). Para el último trimestre de 2004, se predice que el 50% de los SBR simulados serán mayores y menores que el SBR indicado por el símbolo de “<<” en el borde derecho de cada recuadro. Las líneas horizontales de trazos (en 0,25) indican el SBR_{RPMS} (Sección 5.3).

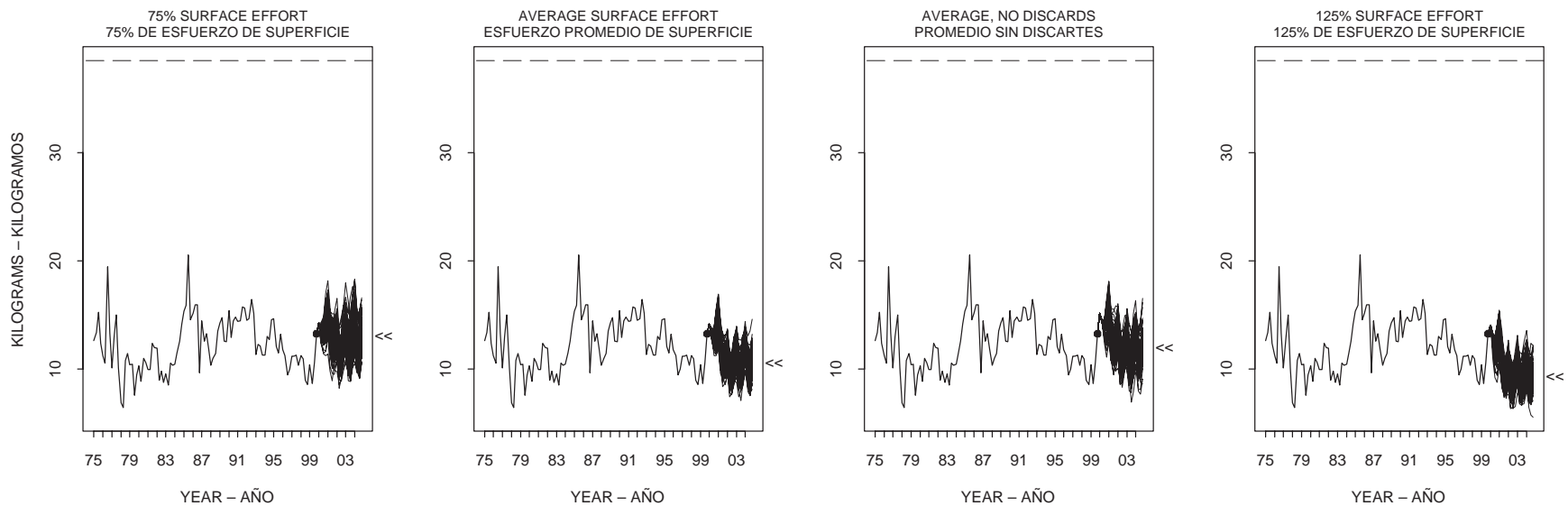


FIGURE 6.2. Simulated estimates of the average weight of yellowfin tuna in the combined catch during 2000-2004. Each panel illustrates the results of 100 simulations using different scenarios describing the future level of fishing effort exerted by the surface fleet and the status of discards (Sections 6.1 and 6.2). For the last quarter of 2004, 50 percent of the simulated average weights are projected to be greater than and less than the average weight indicated by the “<<” symbol at the right edge of each panel. The estimated critical weight is drawn as a horizontal dashed line in each panel.

FIGURA 6.2. Estimaciones simuladas del peso medio del atún aleta amarilla en la captura combinada durante 2000-2004. Cada recuadro ilustra los resultados de 100 simulaciones usando distintos escenarios sobre el futuro nivel de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie y la situación de los descartes (Secciones 6.1 y 6.2). Para el último trimestre de 2004, se proyecta que el 50% de los pesos medios simulados serán mayores y menores que el peso medio indicado por el símbolo de “<<” en el borde derecho de cada recuadro. La línea horizontal de trazos en cada recuadro indica el peso crítico estimado.

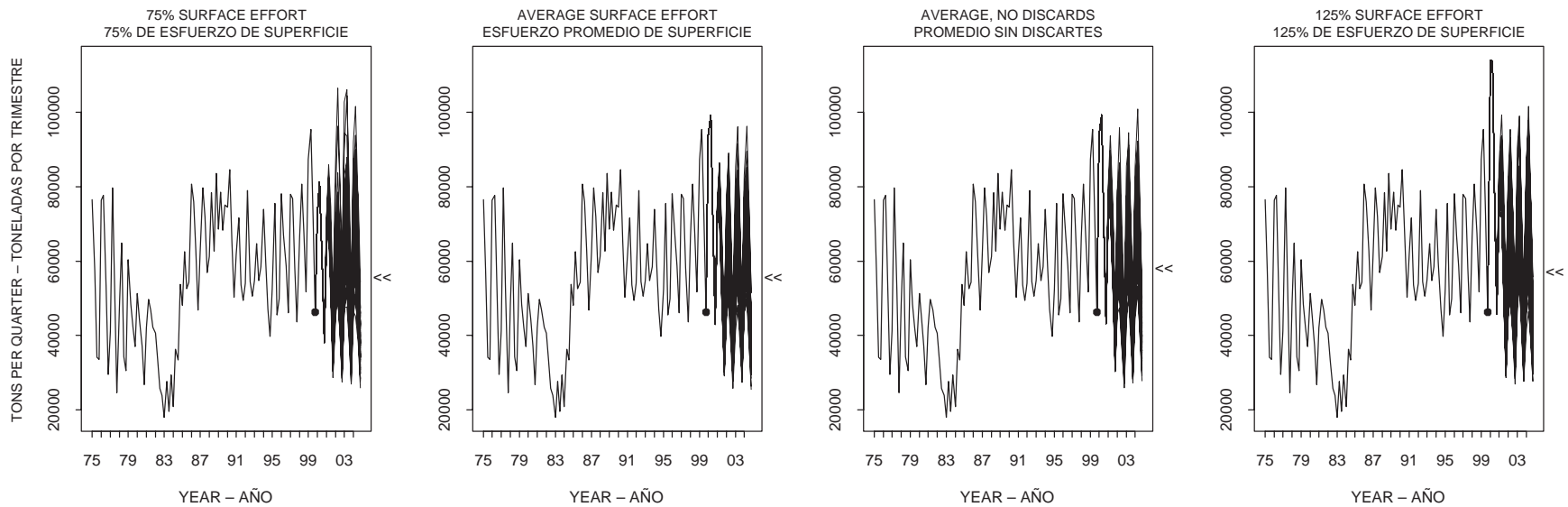


FIGURE 6.3. Simulated catches of yellowfin tuna taken by the primary surface fleet (Fisheries 1-10) during 2000-2004. Each panel illustrates the results of 100 simulations using different scenarios describing the future level of fishing effort exerted by the surface fleet and the status of discards (Sections 6.1 and 6.2). During 2004, 50 percent of the simulated quarterly catches are projected to be greater than and less than the catch indicated by the “<<” symbol at the right edge of each panel.

FIGURA 6.3. Capturas simuladas de atún aleta amarilla por la flota primaria de superficie (Pesquerías 1-10) durante 2000-2004. Cada recuadro ilustra los resultados de 100 simulaciones usando distintos escenarios sobre el futuro nivel de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie y la situación de los descartes (Secciones 6.1 y 6.2). Durante 2004, se proyecta que el 50% de las capturas trimestrales simuladas serán mayores y menores que la captura indicada por el símbolo de “<<” en el borde derecho de cada recuadro.

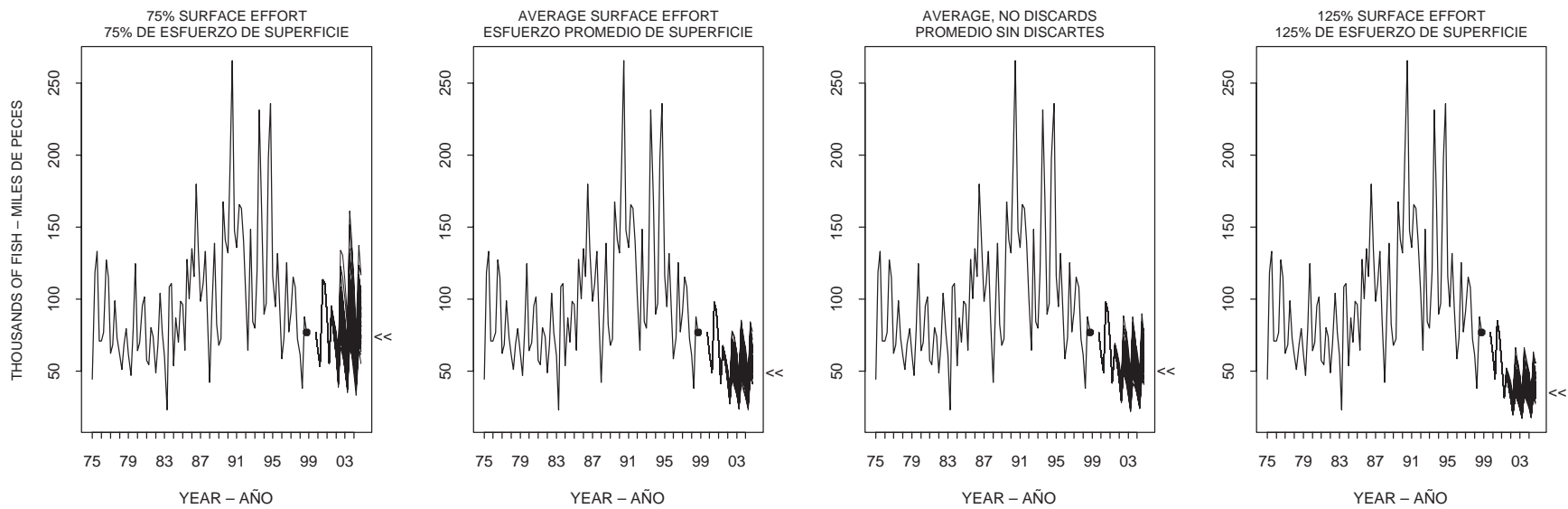


FIGURE 6.4. Simulated catches of yellowfin tuna taken by the longline fleet (Fisheries 11 and 12) during 2000-2004. Each panel illustrates the results of 100 simulations using different scenarios describing the future level of fishing effort exerted by the surface fleet and the status of discards (Sections 6.1 and 6.2). During 2004, 50 percent of the simulated quarterly catches are projected to be greater than and less than) the catch indicated by the “<<” symbol at he right edge of each panel.

FIGURA 6.4. Capturas simuladas de atún aleta amarilla por la flota palangrera (Pesquerías 11 y 12) durante 2000-2004. Cada recuadro ilustra los resultados de 100 simulaciones usando distintos escenarios sobre el futuro nivel de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie y la situación de los descartes (Secciones 6.1 y 6.2). Durante 2004, se proyecta que el 50% de las capturas trimestrales simuladas serán mayores y menores que la captura indicada por el símbolo de “<<” en el borde derecho de cada recuadro.

TABLE 2.1. Fisheries defined by the IATTC staff for the stock assessment of yellowfin tuna in the EPO. PS = purse seine; BB = baitboat; LL = longline; FLT = sets on floating objects; UNA = sets on unassociated fish; DOL = sets on dolphins. The sampling areas are shown in Figure 3.1, and descriptions of the discards are provided in Section 2.2.2.

TABLA 2.1. Pesquerías definidas por el personal de la CIAT para la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO. PS = red de cerco; BB = carnada; LL = palangre; FLT = lance sobre objeto flotante; UNA = lance sobre atunes no asociados; DOL = lances sobre delfines. En la Figura 3.1 se ilustran las zonas de muestreo, y en la Sección 2.2.2 se describen los descartes.

Fishery	Gear type	Set type	Years	Sampling areas	Catch data
Pesquería	Tipo de arte	Tipo de lance	Año	Zonas de muestreo	Datos de captura
1	PS	FLT	1975-1999	11-12	landings + discards from inefficiencies in fishing process – descargas + descartes de ineficacias en el proceso de pesca
2	PS	FLT	1975-1999	7, 9	
3	PS	FLT	1975-1999	5-6, 13	
4	PS	FLT	1975-1999	1-4, 8, 10	
5	PS	UNA	1993-1999	1-4, 8, 10	landings + discards – descargas + descartes
6	PS	UNA	1975-1989	5-7, 9, 11-13	
7	PS	DOL	1990-1999	2-3, 10	
8	PS	DOL	1975-1999	1, 4-6, 8, 13	
9	PS	DOL	1975-1999	7, 9, 11-12	
10	BB		1975-1999	1-13	landings only—descargas solamente
11	LL		1975-1999	N of-de 15°N	
12	LL		1975-1999	S of-de 15°N	
13	PS	FLT	1993-1999	11-12	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 1 – descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 1
14	PS	FLT	1993-1999	7, 9	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 2 – descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 2
15	PS	FLT	1993-1999	5-6, 13	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 3 – descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 3
16	PS	FLT	1993-1999	1-4, 8, 10	discards of small fish from size-sorting the catch by Fishery 4 – descartes de peces pequeños de clasificación por tamaño en la Pesquería 4

TABLE 3.1. Core areas for which temperature data were summarized and used in the stock assessment model to determine whether there are significant environmental influences on the efficiency of some surface fisheries for yellowfin tuna in the EPO.

TABLA 3.1. Zonas núcleo cuyos datos de temperatura fueron resumidos y usados en el modelo de evaluación del stock para determinar si existen influencias ambientales significativas sobre la eficacia de ciertas pesquerías de superficie de atún aleta amarilla en el OPO.

Fishery	Approximate boundary	
	Latitude range	Longitude range
Pesquería	Límites aproximados	
	Rango de latitud	Rango de longitud
1	5°S-14°S	84°W-131°W
2	5°N-5°S	84°W-111°W
3	5°N-14°S	81°W-86°W
4	11°N-1°N	111°W-150°W
5	30°N-14°N	99°W-116°W
6	5°N-14°S	75°W-101°W
7	20°N-5°N	114°W-141°W
8	26°N-14°N	96°W-116°W
	14°N-5°N	96°W-105°W
9	5°N-5°S	84°W-111°W
10	26°N-14°N	96°W-116°W
	5°N-5°S	84°W-96°W
11	14°N-11°S	84°W-150°W
12	30°N-14°N	120°W-150°W

TABLE 4.1. Estimated total annual recruitment to the fishery at the age of two quarters (thousands of fish), and initial biomass (metric tons present at the beginning of the year) of yellowfin tuna in the EPO. Biomass is defined as the total weight of yellowfin one and half years of age and older; spawning biomass is estimated with the maturity schedule and sex ratio data of Schaefer (1998).

TABLA 4.1. Reclutamiento anual total estimado a la pesquería a la edad de dos trimestres (en miles de peces) y biomasa inicial (toneladas métricas presentes al principio de año) de atún aleta amarilla en el OPO. Se define la biomasa como el peso total de aleta amarilla de año y medio o más de edad; se estima la biomasa reproductora con el calendario de madurez y datos de proporciones de sexos de Schaefer (1998).

Year	Total recruitment	Biomass of age-1.5+ fish	Spawning biomass
Año	Reclutamiento total	Biomasa de peces de edad 1.5+	Biomasa de peces reproductores
1975	135904	315496	79464
1976	117158	311393	91110
1977	157487	239191	72303
1978	115877	191784	55472
1979	132982	223346	60050
1980	115244	202970	55783
1981	75741	206831	54841
1982	113103	171012	49378
1983	166918	150940	40272
1984	145896	221858	57017
1985	130330	350954	91654
1986	180592	383958	110181
1987	226198	342654	102085
1988	186041	328514	84405
1989	172339	404488	105095
1990	161085	414984	117651
1991	166927	385846	112871
1992	171039	371364	112042
1993	158277	371891	102806
1994	168709	399379	108351
1995	159630	417776	117602
1996	194224	429828	125907
1997	165283	392930	107190
1998	294674	375711	99965
1999	125293	375054	101944
2000		477417	126738

TABLE 4.2. Estimates of the average sizes of yellowfin tuna. The ages are expressed in quarters after hatching.

TABLA 4.2. Estimaciones del tamaño medio de atún aleta amarilla. Se expresan las edades en trimestres desde la cría.

Age (quarters)	Average length (cm)	Average weight (kg)	Age (quarters)	Average length (cm)	Average weight (kg)
Edad (trimestres)	Talla media (cm)	Peso medio (kg)	Edad (trimestres)	Talla media (cm)	Peso medio (kg)
2	32.86	0.70	16	153.08	77.26
3	40.63	1.33	17	157.41	84.19
4	49.29	2.40	18	161.27	90.71
5	58.70	4.08	19	164.71	96.79
6	66.95	6.11	20	167.78	102.45
7	80.65	10.79	21	170.51	107.67
8	92.86	16.63	22	172.94	112.48
9	103.75	23.36	23	175.11	116.88
10	113.44	30.74	24	177.05	120.90
11	122.09	38.52	25	178.77	124.56
12	129.79	46.50	26	180.31	127.88
13	136.65	54.48	27	181.67	130.89
14	142.77	62.34	28	182.89	133.62
15	148.22	69.96	29	183.98	136.08

TABLE 5.1. AMSY and related quantities during three different periods, used to calculate average recruitment.

TABLA 5.1. RPMS y cantidades relacionadas durante tres períodos distintos, usados para calcular el reclutamiento medio

		1975-1999	1975-1984	1985-1999
AMSY	(mt-tm)	235,685	186,120	269,730
B_{MSY}	(mt-tm)	306,047	241,684	350,255
S_{MSY}	(mt-tm)	83,464	65,911	95,520
$C_{1999}/AMSY$		1.43	1.80	1.25
B_{2000}/B_{AMSY}		1.56	1.98	1.36
S_{2000}/S_{AMSY}		1.52	1.92	1.33

TABLE 5.2. Estimates of the AMSY, and its associated quantities, obtained by assuming that each fishery maintains its current pattern of age-specific selectivity (Figure 4.4) and that each fishery is the only fishery operating in the EPO. The estimates of the AMSY, B_{AMSY} , and S_{AMSY} are in metric tons.

TABLA 5.2. Estimaciones del RPMS, y sus cantidades asociadas, obtenidas suponiendo que cada pesquería mantiene su patrón actual de selectividad por edad (Figure 4.4) y que cada pesquería es la única operando en el OPO. Se expresan las estimaciones de RPMS, B_{RPMS} , y S_{RPMS} en toneladas métricas.

Fishery	AMSY	B_{AMSY}	S_{AMSY}	$B_{\text{AMSY}}/B_{F=0}$	$S_{\text{AMSY}}/S_{F=0}$
Pesquería	RPMS	B_{RPMS}	S_{RPMS}	$B_{\text{RPMS}}/B_{F=0}$	$S_{\text{RPMS}}/S_{F=0}$
1	202,022	212,068	48,166	0.18	0.15
2	133,169	91,045	22,302	0.08	0.07
3	136,623	103,285	24,727	0.09	0.07
4	137,599	95,275	23,020	0.08	0.07
5	175,728	140,608	29,431	0.12	0.09
6	194,436	200,326	45,597	0.17	0.14
7	308,073	379,376	103,009	0.33	0.31
8	288,154	334,341	86,234	0.29	0.26
9	336,621	473,649	140,527	0.41	0.42
10	137,735	33,844	8,300	0.03	0.03
11	343,832	472,886	138,692	0.41	0.42
12	351,000	428,893	118,021	0.37	0.36

TABLE 6.1. Summary of the outcomes from 100 simulations using the scenarios described in Sections 6.1 and 6.2. “Quantiles” identify the levels at which 20%, 50%, and 80% of the predicted outcomes are less than or equal to the value provided in the table. The 50% quantile is equal to the median.

TABLA 6.1. Resumen de los resultados de 100 simulaciones usando los escenarios descritos en las Secciones 6.1 y 6.2. Los “cuantiles” identifican los niveles a los cuales el 20%, 50%, y 80% de los resultados predichos son menores o iguales al valor en la tabla. El cuantil de 50% equivale a la mediana.

Quantile	75% surface effort	Average surface effort	Average surface effort, no discards	125% surface effort
Cuantil	75% del esfuerzo de superficie	Esfuerzo de superficie medio	Esfuerzo de superficie medio, sin descartes	125% del esfuerzo de superficie
SBR for fourth quarter of 2004 – SBR para el cuarto trimestre de 2004				
20%	0.29	0.21	0.22	0.16
50%	0.34	0.23	0.24	0.18
80%	0.38	0.26	0.28	0.20
Average weight (kg) of fish in the combined catch during the fourth quarter of 2004 – Peso medio (kg) de los peces en la captura combinada durante el cuarto trimestre de 2004				
20%	12.0	9.6	11.3	8.5
50%	13.2	10.7	12.1	9.4
80%	14.5	11.8	13.2	10.3
Median of quarterly catches (mt) by the primary surface fleet (Fisheries 1-10) during 2004 – Mediana de las capturas trimestrales (tm) por la flota primaria de superficie (Pesquerías 1-10) durante 2004				
20%	41807	40850	42206	40855
50%	55974	56040	58559	57314
80%	68568	66881	70208	69175
Median of quarterly catches, in thousands of fish, by the longline fleet (Fisheries 11 and 12) during 2004 – Mediana de las capturas trimestrales, en miles de peces, por la flota palangrera (Pesquerías 11 y 12) durante 2004				
20%	55	37	37	27
50%	75	50	51	36
80%	93	60	63	43

CONDICION DEL ATUN ALETA AMARILLA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL

por

Mark N. Maunder y George M. Watters

INDICE

1. Resumen ejecutivo	60
2. Datos	61
3. Supuestos y parámetros.....	65
4. Evaluación del stock	68
5. Condición del stock.....	76
6. Efectos simulados de operaciones de pesca futuras.....	80
7. Direcciones futuras	84
Figuras	29
Tablas.....	54
Referencias.....	85

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este documento presenta la evaluación más actual del stock de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental. Se usa un análisis con estructura de edades y captura a talla para realizar esta evaluación. Se describe el método analítico en Maunder y Watters (2000), y se refiere a los lectores a dicho manuscrito para los detalles técnicos.

La evaluación de stocks requiere una cantidad sustancial de información. Se analizaron datos de descargas, descartes, esfuerzo de pesca, y composición por tamaño de las capturas de varias pesquerías distintas. Se hicieron también varios supuestos sobre procesos tales como crecimiento, reclutamiento, desplazamiento, mortalidad natural, mortalidad por pesca, y estructura de stocks. Se consideraron también en la evaluación influencias ambientales sobre el reclutamiento y la eficacia de la pesca.

El reclutamiento de atún aleta amarilla a las pesquerías en el OPO es variable, y parece estar relacionado con la temperatura superficial del mar (TSM). Los niveles de reclutamiento a la pesquería, a la edad de 6 meses, están correlacionados positivamente con la TSM en el momento de cría 6 meses antes. Parece que la población de aleta amarilla ha experimentado dos regímenes de reclutamiento distintos (1975-1984 y 1985-1999), con el segundo más alto que el primero. Estos dos regímenes en el reclutamiento están también correlacionados con regímenes en las TSM, y corresponden a dos regímenes en biomasa y mortalidad por pesca; el régimen más alto produjo biomasa mayor y mortalidad por pesca más baja. El cociente de biomasa reproductora (SBR) de atún aleta amarilla en el OPO estuvo por debajo del nivel que soportaría los rendimientos promedio máximos sostenibles (RPMS) durante el régimen de reclutamiento bajo, pero por encima de dicho nivel durante el régimen de reclutamiento alto. Es posible que los dos regímenes de productividad soporten dos niveles distintos de RPMS y de SBR asociados. El SBR actual está por encima del nivel de SBR en RPMS, basado en el régimen actual (1985-1999) de productividad, y también dentro del rango propuesto de niveles objetivo para otras especies. Se estima que los niveles de esfuerzo están alrededor de los niveles que soportarán el RPMS (con base en la distribución actual de esfuerzo entre las varias pesquerías). Sin embargo, debido al reclutamiento grande que ingresa a la pesquería, los niveles de biomasa y captura son mucho mayores que los valores correspondientes en RPMS. Proyecciones a futuro con los niveles actuales de esfuerzo y reclutamiento medio indican que la población disminuirá a un nivel de SBR ligeramente inferior al que soportaría el RPMS. Se realizaron estas simulaciones usando el reclutamiento medio del período de 1975-1999. De haberse usado el reclutamiento medio de 1985-1999, es probable que las estimaciones de SBR y capturas serían mayores.

El análisis indica que una cohorte muy fuerte ingresó a la pesquería en 1998 y que esta cohorte incrementó el SBR y las capturas durante 1999. Existen también indicios de que los reclutamientos más

recientes fueron bajos, llevando posiblemente a SBR y capturas menores, tal como indican las proyecciones al futuro con el nivel actual de esfuerzo. Las TSM más bajas podrían también indicar que los reclutamientos más recientes resultarán ser menores. No obstante, estas estimaciones de reclutamiento bajo se basan en información limitada, y son por lo tanto muy inciertas.

El peso medio actual del aleta amarilla en la captura ha sido siempre inferior al peso crítico, indicando que, del punto de vista de rendimiento por recluta, la pesca del aleta amarilla en el OPO es excesiva. La variabilidad en el peso promedio del aleta amarilla capturado por distintas pesquerías es sustancial. En general, las pesquerías sobre objetos flotantes (Pesquerías 1-4), no asociadas (Pesquerías 5 y 6), y de carnada (Pesquería 10) capturan peces más jóvenes y pequeños que las pesquerías sobre delfines (Pesquerías 7-9) y palangreras (Pesquerías 11 y 12). Las pesquerías palangreras y la pesquería sobre delfines en la región del sur (Pesquería 9) capturan aletas amarillas de mayor edad y tamaño que las pesquerías sobre delfines costera (Pesquería 8) y del norte (Pesquería 7). Los cálculos de RPMS indican que se podrían incrementar mucho los niveles de rendimiento si se dirigiera el esfuerzo de pesca hacia las pesquerías que capturan los aletas amarillas más cercanos al peso crítico (pesca con palangre y cerquera sobre delfines). Esta aumentaría también los niveles de SBR.

Se predice que cambios moderados en el nivel de esfuerzo de pesca de superficie no ejercerán ningún efecto sobre la captura total de la flota primaria de superficie, pero afectaría sustancialmente el SBR, la captura total de la flota palangrera, y el peso medio del pescado en la captura de todas las pesquerías combinadas. Aumentar el nivel de esfuerzo de pesca al 125% de su promedio reciente reduciría el SBR, el peso medio del pescado en la captura combinada, y la captura total de la flota palangrera. Reducir el nivel de esfuerzo de pesca de superficie al 75% de su promedio reciente ejercería los efectos contrarios. Evitar la captura de atún aleta amarilla sin valor comercial sobre objetos flotantes, particularmente plantados, no afectaría de forma significativa los SBR y las capturas, pero incrementaría moderadamente el peso medio.

2. DATOS

Se usaron datos de captura, esfuerzo, y composición por tamaño de enero de 1975 a diciembre de 1999 para llevar a cabo la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO. Los datos de 1999, de carácter preliminar, incluyen registros incorporados en la base de datos de la CIAT el 17 de abril de 2000. Se resumen y analizan los datos por trimestre.

2.1. Definiciones de las pesquerías

Se definen 16 pesquerías para la evaluación del stock de atún aleta amarilla. Se definen sobre la base de tipo de arte (red de cerco, carnada, y palangre), tipo de lance cerquero (sobre objetos flotantes, cardúmenes no asociados, y delfines), y zona de la CIAT de muestreo de frecuencia de tallas o latitud. En la Tabla 2.1 se definen las pesquerías de aleta amarilla, y en la Figura 2.1 se ilustra la extensión espacial de cada pesquería y también los límites de las zonas de muestreo de frecuencia de tallas.

En general, se definen las pesquerías de tal forma que, con el tiempo, ocurren pocos cambios en la composición por tamaño de la captura. Se estratifican además las definiciones de las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes para distinguir de forma gruesa entre lances realizados principalmente sobre dispositivos agregadores de peces (DAP, o plantados) (Pesquerías 1-2, 4, 13-14, y 16) y lances sobre una mezcla de objetos flotantes naturales (que también incluyen desperdicios y otros objetos artificiales) y DAP (Pesquerías 3 y 15).

2.2. Datos de captura y esfuerzo

Para realizar la evaluación del stock de aleta amarilla, se estratifican los datos de captura y esfuerzo en la base de datos de la CIAT conforme a las definiciones de pesquerías en la Sección 2.1 y la Tabla 2.1.

El personal de la CIAT ha adoptado las tres definiciones siguientes para datos de captura; se usan

estos términos en este informe.

Descargas – la cantidad de pescado (peso o número) extraída de la población en un momento dado y transportado posteriormente a una instalación de descarga. (Las descargas no son necesariamente llevadas a la instalación de descarga durante el mismo período en el que fueron extraídas de la población.)

Descartes – la cantidad de pescado (peso o número) extraída de la población en un momento dado y NO transportado posteriormente a una instalación de descarga. (Este pescado normalmente es tirado al mar.)

Captura – la cantidad total de pescado (peso o número) extraída de la población en un momento dado (captura = descargas + descartes).

Se usan los tres tipos de datos para evaluar el stock de atún aleta amarilla. Las extracciones por las Pesquerías 10-12 son simplemente descargas (Tabla 2.1). Las extracciones por las Pesquerías 1-4 son descargas, más algunos descartes que resultan de ineficacias en el proceso de pesca (Sección 2.2.2) (Tabla 2.1). Las extracciones por las Pesquerías 5-9 son descargas, más algunos descartes que resultan de ineficacias en el proceso de pesca y de clasificación de la captura. Las extracciones por las Pesquerías 13-16 son solamente descartes que resultan de la clasificación de la captura de las Pesquerías 1-4 (Sección 2.2.2) (Tabla 2.1).

2.2.1. Captura

En la Figura 2.2 se ilustran las tendencias en la captura de atún aleta amarilla en el OPO durante cada trimestre entre enero de 1975 y diciembre de 1999. La mayoría de la captura proviene de lances cerqueros sobre aletas amarillas asociados con delfines o en cardúmenes no asociados. Cabe destacar que la evaluación presentada en este informe usa datos correspondientes al período desde el 1 de enero de 1975, y que antes de esa fecha se estaba ya pescando cantidades sustanciales de aleta amarilla en el OPO.

Hubo variaciones anuales y trimestrales sustanciales en las capturas de atún aleta amarilla por la flota de superficie (Figura 2.2, Pesquerías 1-10 y 13-16). La variación ocurre en la cantidad total capturada, la distribución espacial de la captura, y en el tipo de lance. En general, en las capturas de aleta amarilla predominan los lances sobre delfines y atunes no asociados, con predominio de los primeros desde 1985. La captura de la especie sobre objetos flotantes presenta un patrón cíclico, con capturas altas a fines de los años 1970 y principios de los 1980, fines de los 1980 a principios de los 1990, y fines de los 1990. Para las Pesquerías 3 y 4, que incluyen la mayoría del aleta amarilla capturado sobre objetos flotantes antes de 1993, parece existir una relación negativa entre la captura en estas dos zonas, señalando diferencias interanuales en las tasas de captura y/o los desplazamientos de buques entre las mismas (Figura 2.2). Desde aproximadamente 1993, cuando se amplió el uso de los DAP, las capturas de aleta amarilla asociado con objetos flotantes aumentó sustancialmente en las Pesquerías 1 y 2, y en la Pesquería 4 también aumentó a alrededor de los niveles observados a principios de la década de los 1980 (Figura 2.2). La Pesquería 3 ha experimentado una disminución en la captura de aleta amarilla en los 10 últimos años (Figura 2.2). Las capturas totales anuales de atún aleta amarilla en cardúmenes no asociados han sido bastante consistentes desde aproximadamente 1975, pero con variaciones trimestrales elevadas (Figura 2.2, Pesquerías 5 y 6). La captura total de atún aleta amarilla en cardúmenes no asociados mostró picos notorios en 1988, 1993, y 1999. Las capturas sobre delfines disminuyeron entre 1975 y 1984, pero aumentaron mucho en 1985, disminuyeron hasta 1993, y desde entonces han aumentado ligeramente. Se observa esta tendencia en las Pesquerías 7 y 8, pero no en la Pesquería 9. Desde 1975, las capturas por barcos de carnada han formado solamente una proporción muy pequeña de la captura total de aleta amarilla.

Hubo también variaciones anuales y trimestrales sustanciales en las capturas de atún aleta amarilla por la flota palangrera (Figura 2.2). Las capturas palangreras de la zona al norte de 15°N varían mucho con la época del año, y generalmente se logran las mayores capturas durante el primer trimestre del año (Figura 2.2, Pesquería 11). Las capturas palangreras de la zona al sur de 15°N también muestran una va-

riación estacional elevada, y generalmente se consiguen las capturas máximas durante el tercer trimestre (Figura 2.2, Pesquería 12). Parece existir una relación negativa entre la captura por temporada en estas dos zonas, señalando diferencias interanuales en las tasas de captura y/o los desplazamientos de buques entre las mismas (Figura 2.2). En la zona sur las capturas palangreras alcanzaron una máxima a principios de la década de los 1990, y desde entonces han disminuido. La base de datos de la CIAT no contiene ahora información sobre capturas palangreras durante 1999 (en la Sección 2.2.2 se explica cómo se tratan datos de esfuerzo para palangreros que pescaron durante 1999). Aunque los datos de captura en la Figura 2.2 están expresados en pesos, se usan capturas en número de peces para tomar en cuenta las extracciones palangreras de atún aleta amarilla en la evaluación de stocks.

2.2.2. Esfuerzo

Se usa un método complicado para estimar la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por buques cerqueros. Se presenta aquí una breve descripción del mismo, pero Maunder y Watters (2000) contiene mayor detalle. Se estima el esfuerzo de pesca de buques cerqueros mediante un proceso de cinco pasos. En el Paso 1, se usa información de la base de datos de bitácora de la CIAT para computar la captura por día de pesca (CPDP) de las tres especies principales (aleta amarilla, patudo, y barrilete) y los tres tipos de lance (objeto flotante, delfín, y no asociado) combinados. Se realiza este cálculo para cada mes y zona de muestreo (Figura 2.1). En el Paso 2, se dividen las estimaciones de la CPDP en estimaciones de las descargas totales (por mes y zona de muestreo para las tres especies combinadas) de la base de datos de descargas de la CIAT (pesos estimados en el mar y estadísticas de enlatadoras). Esta división amplía el esfuerzo de los datos de bitácora para incluir esfuerzo no reportado en las bitácoras y arroja una estimación del número total de días de pesca para los tres tipos de lance combinados en cada mes y zona de muestreo. En el Paso 3, se usan modelos de regresión lineal (un modelo para cada año) para determinar el número medio de días de pesca necesario para hacer un solo lance de cada tipo. Para 1990, por ejemplo, se estimó que en promedio se realizó un lance sobre objeto flotante, delfines, y cardumen no asociado cada 1,3, 0,9, y 0,7 días, respectivamente. En el Paso 4, se usan los resultados de los análisis de regresión en conjunto con el número de lances (por tipo) registrados en la base de datos de bitácora para predecir la proporción de días de pesca por tipo de lance. Por último, en el Paso 5, se multiplica el total de días de pesca del Paso 2 por las proporciones del Paso 4 para obtener estimaciones del total de días de pesca por tipo de lance en cada estrato de tiempo-zona.

Se estima el esfuerzo de pesca para barcos de carnada (días de pesca totales) computando la CPDP a partir de la información en la base de datos de bitácoras de la CIAT y dividiendo la CPDP en las descargas totales tomadas de la base de datos de descargas de la CIAT. Se hacen estas estimaciones para cada mes y zona de muestreo (Figura 2.1).

Se obtienen los datos de esfuerzo palangrero sobre atún aleta amarilla de la base de datos de descargas de la CIAT. Estas descargas incluyen datos proporcionados al personal de la CIAT por Japón, la República de Corea, Polinesia Francesa, y Taiwan.

En la Figura 2.3 se ilustran las tendencias en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por las 16 pesquerías definidas para la evaluación de stock de atún aleta amarilla en el OPO. Se expresa el esfuerzo de pesca de artes de superficie (Pesquerías 1-10 y 13-16) en días de pesca, y aquél de palangreros (Pesquerías 11 y 12) en número de anzuelos.

Ha ocurrido una variación sustancial en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por las artes de superficie. El esfuerzo de pesca dirigido hacia atunes asociados con objetos flotantes estuvo a un nivel elevado entre 1978 y 1982 (Figura 2.3, Pesquerías 1-4), y fue relativamente estable durante 1983-1993 (Figura 2.3, Pesquerías 1-4), pero ha aumentado sustancialmente desde 1993 (Figura 2.3, Pesquerías 1-4). Recientemente, el esfuerzo total de este tipo ha estado a un nivel similar a aquél de fines de los años 1970 y principios de los 1980 (Figura 2.3, Pesquerías 1-4). El esfuerzo de pesca dirigido hacia atunes en cardúmenes no asociados alcanzó su máxima entre 1977 y 1981 (Figura 2.3, Pesquerías 5 y 6), desde cuando ha seguido relativamente estable (Figura 2.3, Pesquerías 5 y 6). Se supone que el esfuerzo de pesca en las

Pesquerías 13-16 es igual a aquél en las Pesquerías 1-4 (Figura 2.3), porque las capturas en las Pesquerías 13-16 se derivan de las capturas en las Pesquerías 1-4 (Sección 2.2.3).

Ha tenido lugar también una variación sustancial en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por los palangreros operando en el OPO. En la zona al norte de 15°N (Pesquería 11) hubo siempre grandes variaciones estacionales en el esfuerzo de pesca pero, a escala anual, el esfuerzo fue máximo a principios y mediados de la década de los 1990. En la zona al sur de 15°N hubo mucho menos variación trimestral en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por palangreros (Figura 2.3, Pesquería 12). El esfuerzo palangrero en esta zona aumentó entre 1975 y 1978, permaneció relativamente estable hasta mediados de la década siguiente, pero luego aumentó bruscamente entre 1985 y 1987 (Figura 2.3, Pesquería 12). El esfuerzo palangrero en la zona sur permaneció bastante constante hasta 1993, pero luego disminuyó (Figura 2.3, Pesquería 12). Las bases de datos de la CIAT no contienen información de captura y esfuerzo de operaciones palangreras realizadas en el OPO durante 1999. Para llevar a cabo la evaluación del stock de atún aleta amarilla, se supuso que la cantidad de esfuerzo palangrero ejercido durante cada trimestre de 1999 fue igual al esfuerzo del trimestre correspondiente de 1998.

Las grandes variaciones entre trimestres en el esfuerzo de pesca ilustradas en la Figura 2.3 resultan parcialmente de cómo se definieron las pesquerías para la evaluación de stocks. Los buques pesqueros suelen faenar en distintas zonas en distintas épocas del año y, si estas zonas están muy separadas, esto puede incrementar la variabilidad del esfuerzo de pesca en una pesquería en particular.

2.2.3. Descartes

Para los propósitos de la evaluación de stocks, se supone que los buques cerqueros descartan aleta amarilla de sus capturas por uno de dos motivos: ineficacias en el proceso de pesca (por ejemplo, si la captura de un lance no cabe en las bodegas disponibles del buque), o porque los pescadores seleccionan solamente el pescado de más de un cierto tamaño. En ambos casos se estima la cantidad de aleta amarilla descartado con información reunida por observadores de la CIAT, aplicando métodos descritos por Maunder y Watters (2000). Sin considerar el motivo por el descarte, se supone que muere todo el pescado descartado.

Las estimaciones de descartes que resultan de ineficacias en el proceso de pesca son sumadas a las capturas de los buques cerqueros. No se dispone de datos de observadores para estimar los descartes en las pesquerías de superficie antes de 1993 (Pesquerías 1 y 6), y se supone que no hubo descartes durante ese período. Para las pesquerías de superficie, aparte de barcos de carnada, que operan desde 1993 (Pesquerías 2-5 y 7), hay períodos para los cuales los datos de los observadores son inadecuados para estimar los descartes. Para estos períodos se supone que la tasa de descarte (descartes/descargas) es igual a la tasa de descarte del período más cercano para el cual los datos de observadores fueron adecuados para estimar los descartes. En evaluaciones previas del atún aleta amarilla en el OPO no se añadieron los descartes a las capturas de la flota cerquera. No se dispone de datos de observadores para estimar los descartes en la pesca con carnada (Pesquería 10), y se supone que no hay descartes en esa pesquería.

Se tratan los descartes que resultan del proceso de clasificar la captura en la pesca sobre objetos flotantes (Pesquerías 1-4) como pesquerías separadas (Pesquerías 13-16). Es importante tratar estos descartes por separado porque los datos de composición por tamaño obtenidos del muestreo en puerto (Sección 2.3) no pueden proveer información sobre el tamaño de estos pescados descartados. Los descartes que resultan de clasificar la captura representan por lo tanto extracciones cuyas composiciones por tamaño necesitan ser obtenidas en el mar. Los observadores de la CIAT recolectan información limitada sobre los tamaños de atunes descartados: todo lo que se sabe sobre los peces descartados durante la clasificación es que son principalmente pequeños y pesan menos de unos 2,5 kg (ver Sección 2.3 para una estimación del tamaño máximo de estos peces). Mediante la creación de pesquerías cuya captura consiste exclusivamente de peces pequeños descartados, es posible realizar una evaluación del stock sin datos detallados sobre la composición por tamaño de los descartes. Es posible porque es probable que los peces pequeños descartados durante la clasificación pertenezcan a solamente unas pocas clases de edad. Las capturas de

las Pesquerías 13-16 (Figura 2.2) son actualmente las mejores estimaciones de la cantidad de pescado descartado por clasificación de las capturas de las Pesquerías 1-4. Se calculan estimaciones de las cantidades de pescado descartado durante la clasificación solamente para las pesquerías que capturan aletas amarillas asociados con objetos flotantes (Pesquerías 1-4) porque es infrecuente la clasificación en otras pesquerías cerqueras.

Se supone que no se descarta aleta amarilla en las pesquerías palangreras (Pesquerías 11 y 12).

2.3. Datos de composición por tamaño

Las pesquerías del OPO capturan atún aleta amarilla de varios tamaños. En la Figura 2.4 se ilustra la composición por tamaño media de la captura de cada pesquería definida en la Tabla 2.1. Los tamaños de los aletas amarillos capturados sobre objetos flotantes (Pesquerías 1-4) son menores que los que se capturan en otras pesquerías. La mayoría de los aletas amarillos capturados en asociación con objetos flotantes miden entre 30 y 75 cm de largo.

El tamaño de los aletas amarillos capturados en cardúmenes no asociados (Pesquerías 5 y 6) es, en promedio, mayor que el de aquéllos capturados en las pesquerías sobre objetos flotantes. La mayoría de los aletas amarillos capturados en cardúmenes no asociados miden entre 30 y 100 cm de largo.

El tamaño de los aletas amarillos capturados en asociación con delfines (Pesquerías 7-9) es mayor que el de aquéllos capturados en las otras pesquerías de superficie. La mayoría del aleta amarilla capturado en asociación con delfines mide entre 50 y 150 cm de largo.

El tamaño de los aletas amarillos capturados por la pesquería con carnada (Pesquería 10) es similar al de aquéllos capturados por las pesquerías sobre objetos flotantes. La mayoría del aleta amarillo capturado por la pesquería con carnada mide entre 35 y 75 cm de largo.

Las composiciones por tamaño de los aletas amarillos capturados por las dos pesquerías palangreras (Pesquerías 11 y 12) son diferentes. En la zona norte, los palangreros capturan un rango mayor de tamaños, de mediano a grande, con altos niveles para todas tallas entre 100 y 150 cm (Figura 2.4, Pesquería 11). En la zona sur capturan principalmente aletas amarillos grandes, con una moda en los 125 cm (Figura 2.4, Pesquería 12). Las composiciones por tamaño de las capturas en estas dos pesquerías palangreras han cambiado relativamente poco con el tiempo.

Los datos sobre la composición por tamaño de los descartes de pesquerías que capturan aleta amarilla en asociación con objetos flotantes (Pesquerías 13-16) son limitados. Observadores de la CIAT toman datos sobre la composición por tamaño de los descartes, pero no miden los peces. Clasifican los peces en las siguientes categorías: grandes (más de 15 kg), medianos (2,5-15 kg), y pequeños (menos de 2,5 kg). Se supone que las capturas en las Pesquerías 13-16 consisten exclusivamente de peces de la categoría pequeña, por lo cual, usando la relación peso-talla presentada en la Sección 3.1.1, este supuesto implica que las capturas en las Pesquerías 13-16 consisten exclusivamente de peces de menos de unos 51 cm (de menos de aproximadamente un año de edad, de acuerdo a la curva de crecimiento de Wild (1986)). Se supone que los aletas amarillos son reclutados a las pesquerías de descarte cuando tienen unos 6 meses y miden unos 33 cm.

2.4. Datos auxiliares

No se usaron datos auxiliares (de estudios de marcado, por ejemplo) en esta evaluación del atún aleta amarilla del OPO.

3. SUPUESTOS Y PARÁMETROS

3.1. Información biológica y demográfica

3.1.1. Crecimiento

El crecimiento del atún aleta amarilla fue estimado por Wild (1986), usando la ecuación de cre-

cimiento de Richards y conteos de los incrementos diarios en los otolitos de la especie ($L_{\infty} = 188,2$, k anual = $0,724$, $t_0 = 1,825$ años, $m = 1,434$). En la evaluación del aleta amarilla, el personal de la CIAT aproxima la curva de crecimiento de Richards usando valores individuales para talla media a edad para edades de 2 a 5 trimestres y una curva de crecimiento de von Bertalanffy para edades de 6 trimestres en adelante (Figura 3.2, Tabla 4.2). Se usó la curva bifásica en la evaluación porque la curva de von Bertalanffy no se ajusta bien a los datos de crecimiento para el rango entero de edades del atún aleta amarilla (Wild 1986, Bayliff 1988).

Se usó la siguiente relación peso-talla, de Wild (1986), para convertir tallas a pesos en la presente evaluación:

$$w = 1.387 \times 10^{-5} \cdot l^{3.086}$$

donde w = peso en kilogramos y l = talla en centímetros.

3.1.2. Reclutamiento y reproducción

Se supone que el atún aleta amarilla puede ser reclutado a la población pescable durante cada trimestre del año. Cabe destacar que este supuesto es diferente a uno hecho en evaluaciones previas del atún aleta amarilla en el OPO (por ejemplo, Anónimo, 1999), en las que se supuso que los aletas amarillos eran reclutados a la pesquería solamente dos veces al año. Es posible que el reclutamiento ocurra más de dos veces al año porque peces individuales pueden desovar casi cada día si la temperatura del agua es adecuada (Schaefer 1998).

No se hacen supuestos fuertes acerca de la relación entre biomasa de adultos (o abundancia) y reclutamiento en la evaluación del stock de aleta amarilla. Sin embargo, sí se hace un supuesto acerca de cómo el reclutamiento puede variar alrededor de su nivel promedio. Se supone que el reclutamiento no debería ser más de un 25% inferior a, ni más de cuatro veces mayor que, su nivel promedio más de aproximadamente el 1% del tiempo. Estas limitaciones implican que, con pasos trimestrales, reclutamientos extremadamente grandes o pequeños no deberían ocurrir más de una vez cada 25 años, aproximadamente.

Se supone que el aleta amarilla es reclutado a las pesquerías de descarte en el OPO a los 33 cm (aproximadamente 2 trimestres de edad) (Sección 2.3). A este tamaño (edad), los peces son vulnerables a ser descartados de pesquerías que capturan peces en asociación con objetos flotantes (es decir, son reclutados a las Pesquerías 13-16).

Se usa la proporción madura de hembras en cada clase de edad para estimar la biomasa reproductora del stock. Se estima la proporción de hembras maduras a edad a partir de la talla media a edad (Figura 3.2), las proporciones maduras a edad (Schaefer 1998) (Figura 3.3), y la proporción de sexos a edad (Schaefer 1998) (Figura 3.4).

3.1.3. Desplazamientos

Blunt y Messersmith (1960), Schaefer *et al.* (1961), Fink y Bayliff (1970), Bayliff y Rothschild (1974), Bayliff (1979), Ishii (1979), Hunter *et al.* (1986), y Deriso *et al.* (1991) presentan información sobre experimentos de marcado realizados con atunes aleta amarilla en el OPO usando marcas convencionales. Los datos obtenidos de estos experimentos son de valor limitado porque se obtiene información solamente para lugares y fechas de liberación y de recaptura, y ninguna sobre dónde estuvo el pez durante el período entre los dos. La mayoría de estos informes incluyen resultados basados en el número de recapturas por unidad de esfuerzo de pesca en los estratos espaciotemporales de recaptura, y no en el número de recapturas en esos estratos. Esto elimina parte del sesgo debido a cantidades desiguales de esfuerzo de pesca en los distintos estratos, pero no se intentó hacer conjeturas sobre cuáles estratos ocuparon los peces durante el período entre su liberación y recaptura e incorporar estos datos en los análisis. No obstante, se obtuvieron cantidades considerables de información valiosa. Por ejemplo, se descubrió que: (1) ocurre poco intercambio de peces entre el OPO y el Pacífico central y occidental; (2) ocurre poco inter-

cambio de peces entre puntos distantes dentro del OPO; (3) los desplazamientos de peces marcados en los mismos estratos espaciotemporales en años distintos no son siempre similares; (4) ocurre poco intercambio entre los peces las zonas de Baja California-Islas Revillagigedo y zonas contiguas; (5) peces marcados cerca del Golfo de Guayaquil, zona de alta productividad, son recapturados frecuentemente en el mismo, pero peces marcados en dicho Golfo rara vez son recapturados en otras zonas. No obstante, para los propósitos de la presente evaluación se supone que las tasas de desplazamiento del aleta amarilla en el OPO son lo suficientemente rápidas como para asegurar que la población esté mezclada al azar al principio de cada trimestre del año.

3.1.4. Mortalidad natural

En gran parte del Pacífico, la proporción de aleta amarilla macho a hembra en la captura cambia a favor de los machos a medida que aumenta el tamaño de los peces en la captura (Schaefer 1998). Se puede interpretar esta tendencia de al menos tres maneras. La primera es que las hembras grandes sean menos vulnerables a la pesca que los machos grandes (tal vez porque las hembras grandes no ocurran en las zonas principales de pesca). La segunda es que las hembras crezcan más lentamente que los machos, y la tercera es que la tasa de mortalidad de hembras grandes sea mayor que la de machos grandes (tal vez porque los costos fisiológicos de la reproducción sean mayores para las hembras). Se usó la tercera interpretación en la presente evaluación del stock de aleta amarilla del OPO.

Para la presente evaluación del stock, se supone que, a medida que envejece el aleta amarilla, la tasa de mortalidad natural (M) cambia. Este supuesto es similar al que hizo el personal de la CIAT en evaluaciones previas, para las cuales se supuso que la tasa de mortalidad natural de las hembras aumenta después de que alcanzan la edad de 30 meses (por ejemplo, Anónimo 1999). No se tratan por separado los machos y las hembras en la presente evaluación, y se trata la tasa de mortalidad natural como una sola tasa para ambos sexos combinados.

Una curva de mortalidad natural combinada que cambia con la edad es biológicamente justificable. Se supone que la curva de mortalidad está compuesta de tres fases (Figura 3.1). Al principio del ciclo vital, en la primera fase de la curva de mortalidad, se supone que M es alta porque los aletas amarillos de ambos sexos son pequeños y vulnerables a depredación por otros peces. A medida que crecen los peces por la primera fase, se hacen menos vulnerables a la depredación, y se supone que la tasa de mortalidad natural disminuye (Figura 3.1). Datos de aletas amarillas marcados y recapturados en el Pacífico occidental y central (Hampton, 2000) y estimaciones para la especie en esas mismas zonas basadas en modelos de evaluación de stocks (Hampton y Fournier 2000) sugieren que la tendencia arriba descrita es razonable.

Después del comienzo de la madurez sexual, en la segunda fase de la curva de mortalidad natural, se supone que la M combinada aumenta con la edad (Figura 3.1). Este aumento es consistente con la tercera interpretación de cambios en las proporciones de sexos por tamaño descritas en el primer párrafo de esta sección. Se supone que la tasa anual de mortalidad natural de los machos maduros es constante en 0,8 (tasa trimestral de 0,2).

Más tarde, en la tercera fase de la curva de mortalidad, se supone que la tasa combinada de mortalidad natural disminuye (Figura 3.1). Esta disminución ocurre porque la alta tasa de las hembras durante la segunda fase de la curva de mortalidad habría extraído la mayoría de las hembras de la población. Bajo estas condiciones, la tasa combinada de mortalidad natural disminuye y finalmente acaba igual a la tasa supuesta para machos (M anual = 0,8; M trimestral = 0,2) cuando todas las hembras han muerto.

En la Figura 3.1 se grafican los valores de M trimestral usados en la presente evaluación del stock. Se obtuvieron estos valores aplicando los supuestos arriba descritos, ajustando los datos de proporción de sexos (Schaefer 1998), y comparando los valores con aquéllos estimados para el aleta amarilla en el Pacífico occidental y central (Hampton 2000; Hampton y Fournier 2000).

3.1.5. Estructura del stock

Se ha estudiado el intercambio de aleta amarilla entre el OPO y el Pacífico central y occidental mediante el análisis de datos sobre marcado, características morfométricas, capturas por unidad de esfuerzo, tamaño del pescado capturado, *etc.*, y parece que la mezcla de peces entre el OPO y las zonas más al oeste no es extensa. Por lo tanto, para los propósitos de la presente evaluación de stocks, se supone que existen dos stocks, uno en el OPO y el otro en el Pacífico central y occidental.

3.2. Influencias ambientales

La presente evaluación del stock incluye el supuesto de que condiciones oceanográficas podrían afectar el reclutamiento de atún aleta amarilla en el OPO. Este supuesto es apoyado por observaciones de que el desove del aleta amarilla depende de la temperatura (Schaefer 1998). A fin de incorporar la posibilidad de un efecto ambiental sobre el reclutamiento de aleta amarilla en el OPO, se incorpora una variable de temperatura en el modelo de evaluación del stock, y se determina si existe una relación estadísticamente significativa entre dicha variable y las estimaciones de reclutamiento. Para la presente evaluación, se usan anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en una zona compuesta de dos cuadrángulos, uno delimitado por latitud 20°N-11°S y longitud 99°O-150°O y el otro por latitud 11°N-11°S y longitud 84°O-101°O, como candidato de variable ambiental para afectar el reclutamiento. Se incluyeron estos datos en el modelo con base en el trimestre durante el cual fueron criados los peces. Se obtuvieron los datos de TSM del *Climate Diagnostics Center* de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU. en <http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/Timeseries/timeseries1.pl> (Kalnay *et al.* 1996).

Se supone también que las condiciones oceanográficas afectan la eficacia de las distintas pesquerías descritas en la Sección 2.1. Se reconoce generalmente que dichas condiciones afectan el comportamiento de las artes de pesca. Por ejemplo, la fuerza de las corrientes cambia la forma de los palangres atuneros y afecta la profundidad de pesca efectiva de esta arte (Mizuno *et al.* 1997). En la presente evaluación del aleta amarilla en el OPO, se supone que las condiciones ambientales podrían afectar la eficacia de las pesquerías de superficie y palangreras que capturan aleta amarilla (Pesquerías 1-12). Aunque hay muchas variables oceanográficas que podrían afectar el desempeño de estas pesquerías (la profundidad de la termoclina o la presión del viento), se supone que se pueden usar datos de TSM para aproximar los efectos de estas variables. A fin de incorporar la posibilidad de influencias ambientales sobre el desempeño de la pesquería, se incluyen datos de temperatura en la evaluación, y se determina si existen relaciones estadísticamente significativas entre estos datos y estimaciones de la eficacia de varias pesquerías. Para la presente evaluación, se incluyeron anomalías de las TSM de “zonas núcleo” dentro de los límites de la pesquería (ilustradas en la Figura 2.1) como candidatos de variable ambiental. Se detallan los límites de estas zonas núcleo en la Tabla 3.1, y se obtuvieron los datos de temperatura de Kalnay *et al.* (1996).

Cabe destacar que se supuso que las condiciones ambientales no afectan la eficacia de las pesquerías de descartes (Pesquerías 13-16). Se hizo este supuesto en el caso de estas pesquerías porque se supone que los datos de captura y esfuerzo de esas pesquerías son tan variables que no pueden proporcionar la información necesaria para determinar si existe un efecto ambiental significativo (Sección 4).

4. EVALUACIÓN DEL STOCK

Se usan un modelo de dinámica de población estructurado por edades e información contenida en datos de captura, esfuerzo, y composición de tamaños para evaluar la condición del stock de atún aleta amarilla en el OPO. El modelo es descrito por Maunder y Watters (2000), y se refiere al lector a dicho manuscrito para los detalles técnicos. El modelo de evaluación de stocks, denominado A-SCALA (del inglés *age-structured statistical catch-at-length analysis*, o análisis estadístico estructurado por edad de captura a talla), se basa en el método descrito por Fournier *et al.* (1998). El término “estadístico” indica que el método reconoce implícitamente que los datos provenientes de pesquerías no representan perfectamente la población; hay incertidumbre en los conocimientos de la dinámica del sistema y de la relación entre los datos observados y la población real. El modelo de evaluación usa etapas temporales trimestra-

les para describir la dinámica de la población. Se estiman los parámetros del modelo de evaluación del stock comparando las capturas y composiciones por tamaño predichas con datos obtenidos de la pesquería. Una vez estimados los parámetros del modelo, se usa el modelo para estimar cantidades útiles para la ordenación del stock.

El método A-SCALA incluye varios aspectos que incrementan la capacidad del modelo de evaluación de arrojar predicciones que concuerdan con los datos observados (es decir, proporcionan un buen ajuste). El método A-SCALA reconoce que, de trimestre a trimestre, ocurren cambios aleatorios a corto plazo en la relación entre esfuerzo de pesca y mortalidad por pesca, y que existen también tendencias a largo plazo en la eficacia de distintas pesquerías. Reconoce también que ocurre variación temporal en el reclutamiento, que el ambiente puede afectar el reclutamiento y la eficacia de distintas artes de pesca, y que distintos métodos de pescan suelen capturar peces de distintas edades.

El método A-SCALA incluye el supuesto de que las tasas de mortalidad por pesca pueden ser separadas en un efecto específico a la edad (selectividad) y un efecto temporal (capturabilidad). Se supone que el efecto específico a la edad no cambia con el tiempo. En este sentido el método A-SCALA es diferente del método de análisis de cohortes usado para realizar las evaluaciones previas del atún aleta amarilla en el OPO (por ejemplo, Anónimo 1999). El análisis de cohortes permite al componente específico a la edad de la mortalidad por pesca variar con el tiempo. En el método A-SCALA, si hay indicios de que la selectividad debería cambiar con el tiempo, se definen dos pesquerías a partir de los datos para que haya curvas de selectividad diferentes para los dos períodos. En la evaluación de atún patudo, por ejemplo, hay dos pesquerías que capturan atún patudo de cardúmenes no asociados. Estas pesquerías están separadas temporalmente porque la composición por tamaño de las capturas para este tipo de lance ha cambiado con el tiempo, pero para la evaluación del atún aleta amarilla no se separan las pesquerías a escala temporal. Se supone que la capturabilidad (el efecto temporal sobre la mortalidad por pesca) consiste de tres componentes: (1) el efecto combinado de la tecnología de pesca y el comportamiento de los pescadores, (2) el efecto ambiental, y (3) un efecto aleatorio que cambia la relación entre el esfuerzo de pesca y la mortalidad por pesca de trimestre a trimestre. Se multiplican juntos estos tres componentes para obtener estimaciones generales de capturabilidad para una sola pesquería.

A diferencia del análisis de cohortes, el método A-SCALA no requiere datos de composición por tamaño de cada pesquería en cada período. Usa un modelo de dinámica de población para predecir la composición por tamaño de la población durante períodos para los que no hay datos. Este método reconoce que los datos de composición por tamaño obtenidos para una sola pesquería no representan los tamaños de los peces en la captura de esa pesquería. Este supuesto es consistente con el hecho que el personal de la CIAT obtiene los datos de composición por tamaño de una proporción muy pequeña de los peces capturados. Concretamente, se toman solamente unas pocas muestras de cada estrato de zona-tiempo-método de pesca, y la muestra típica consiste de solamente 50 peces. Ya que los datos de composición por tamaño provienen de muestras pequeñas de la captura, habrá ocasiones cuando los datos de composición por tamaño observados serán considerablemente diferentes de los que predice el modelo de evaluación.

Ya que los datos de pesquerías son complejos, se constriñen las formas en las que se permite al modelo de evaluación ajustarse a los datos observados. Se ajusta el modelo a los datos observados con un conjunto de parámetros de dinámica de población y de pesca que aumentan al máximo la probabilidad de haber observado los datos de captura y de composición por tamaño, dada la cantidad de esfuerzo de pesca ejercida por cada pesquería. Se calcula esta probabilidad bajo un conjunto de constreñimientos. Muchos de éstos son identificados como supuestos en la Sección 3, pero a continuación se identifican otros constreñimientos importantes usados para ajustar el modelo de evaluación a los datos observados sobre el atún aleta amarilla:

1. Las pesquerías de descarte (Pesquerías 13-16) capturan solamente peces de las primeras pocas clases de edad.

2. Si una pesquería puede capturar peces de una edad particular, debería ser capaz de capturar peces de edades algo mayores y menores.
3. El atún aleta amarilla es más vulnerable a los palangres y a lances cerqueros sobre delfines a medida que envejece, y los peces de mayor edad son los más vulnerables a estas artes.
4. La eficacia de los pescadores en la captura de pescado suele cambiar con el tiempo. Cabe destacar que su eficacia en capturar una especie podría disminuir si dirigieran su esfuerzo hacia otra especie.
5. Hay eventos aleatorios que pueden causar que la relación entre esfuerzo de pesca y mortalidad por pesca cambie ligeramente entre trimestres. En promedio, los eventos que causan que la mortalidad por pesca sea un poco más alta o más baja se cancelan.
6. Los datos de pesquerías cuya captura consiste de descartes de clasificación (Pesquerías 13-16) brindan relativamente poca información sobre niveles de biomasa.

Es importante notar que el modelo de evaluación puede hacer predicciones que no se atienen estrictamente a estos constreñimientos ni a aquéllos detallados en la Sección 3. Los constreñimientos están diseñados de tal forma que pueden ser violados si los datos observados brindan buena evidencia en contra de ellos.

Se estimaron los parámetros siguientes en la evaluación actual del stock de atún aleta amarilla del OPO:

1. reclutamiento a la pesquería en cada trimestre desde el primer trimestre de 1975 hasta el primer trimestre de 2000 (incluye estimación del reclutamiento medio, anomalías del reclutamiento, y un efecto ambiental);
2. coeficientes trimestrales de capturabilidad para las 16 pesquerías que capturan aleta amarilla del OPO (incluye estimación de efectos tecnológicos y de comportamiento, ambientales, y aleatorios);
3. curvas de selectividad para 12 de las 16 pesquerías (las Pesquerías 13-16 tienen curvas de selectividad supuestas);
4. tamaño y estructura por edad iniciales de la población.

Se supone que se conocen los parámetros siguientes para la evaluación actual del stock de atún aleta amarilla en el OPO:

1. mortalidad natural a edad (Figura 3.1);
2. talla media a edad (Figura 3.2);
3. madurez de hembras a edad (Figura 3.3);
4. proporción de sexos a edad (Figura 3.4);
5. grado de variación en la talla a edad;
6. curvas de selectividad para las pesquerías de descarte (Pesquerías 13-16).

Es importante reconocer que hay incertidumbre en los resultados de la evaluación del stock. Esta incertidumbre resulta de que, tal como se comentó, los datos provenientes de pesquerías no representan perfectamente la población de atún aleta amarilla en el OPO. Además, es posible que el modelo de evaluación del stock no represente perfectamente la dinámica de la población de aleta amarilla ni de las pesquerías que operan en el OPO. En la evaluación actual se expresa incertidumbre en la forma de (1) intervalos de confianza alrededor de estimaciones de reclutamiento (Sección 4.2.2), biomasa (Sección 4.2.3), y un valor denominado el cociente de biomasa reproductora (SBR; Sección 5.1), y (2) coeficientes de varia-

ción (CV). Los intervalos de confianza son estimaciones de los límites inferior y superior que se espera rodeen los valores reales de resultados tales como reclutamiento y biomasa en un 95% de los casos. Intervalos de confianza relativamente estrechos indican que hay relativamente menos incertidumbre en un resultado estimado, e intervalos de confianza relativamente anchos que hay relativamente más incertidumbre en un resultado estimado. El CV es útil para cuantificar la incertidumbre en un resultado estimado. Una estimación con un CV grande contiene incertidumbre. El límite inferior del CV es cero; si una estimación tiene un CV de cero, no contiene incertidumbre. Se pueden usar los CV para comparar el grado de incertidumbre en una estimación con la de otra. Se estimaron los intervalos de confianza y CV bajo el supuesto que el modelo de evaluación del stock representa perfectamente la dinámica del sistema. Ya que, tal como se mencionó, es poco probable que se satisfaga este supuesto, es posible que estos valores subestimen el grado de incertidumbre en los resultados la evaluación actual del stock.

4.1. Índices de abundancia

Se han usado las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) como índices de abundancia en evaluaciones anteriores del atún aleta amarilla del OPO (por ejemplo, Anónimo 1999). Sin embargo, es importante notar que las tendencias en la CPUE no siempre siguen las tendencias en biomasa o abundancia. Hay muchas razones por esto; por ejemplo, si la eficacia de captura de pescado de los pescadores aumenta mientras que la biomasa no cambia, las CPUE se incrementarán a pesar de la falta de tendencia en la biomasa. En la Figura 4.1 se ilustran las CPUE de las 16 pesquerías definidas en esta evaluación del aleta amarilla en el OPO, pero se deben interpretar las tendencias en la CPUE con cautela. En la Sección 4.2.3 se comentan las tendencias en la biomasa estimada.

Las CPUE de aleta amarilla de la flota de superficie han variado sustancialmente (Figura 4.1, Pesquerías 1-10). Antes de 1993, las CPUE de lances sobre objetos flotantes fueron generalmente superiores al promedio a principios y mediados de la década de los 1970, inferiores al mismo hasta mediados de la década siguiente, de nuevo superiores al promedio hasta principios de la década de los 1990, y luego inferiores al mismo hasta 1999 (Figura 4.1, Pesquerías 1-4). Las CPUE de aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados (Figura 4.1, Pesquerías 5 y 6) generalmente presentan dos niveles, inferior al promedio hasta mediados de los años 1980 y posteriormente superior al mismo. Las CPUE de aleta amarilla capturado en asociación con delfines (Figura 4.1, Pesquerías 7-9) presentan generalmente los dos mismos niveles de CPUE observados en las pesquerías sobre atunes no asociados. Debido al corto período de las pesquerías que descartan aleta amarilla durante la clasificación de las capturas de las Pesquerías 1-4 (Figura 4.1, Pesquerías 13-16), no es posible determinar tendencias en CPUE para las mismas.

Las CPUE de la flota palangrera también variaron sustancialmente (Figura 4.1, Pesquerías 11 y 12). Las CPUE de aleta amarilla capturado con palangre al norte de 15°N no presentan tendencias claras, con la excepción de un posible aumento ligero con el tiempo (Figura 4.1, Pesquería 11), y al sur de 15°N disminuyeron hasta mediados de los años 1970 y luego se incrementaron (Figura 4.1, Pesquería 12).

4.2. Resultados de la evaluación

El ajuste del método A-SCALA a los datos de captura y de composición por tamaño para las 16 pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO es bastante bueno. Se constriñe el modelo de evaluación para ajustarlo a las series de tiempo de capturas realizadas por cada pesquería casi perfectamente, y las 16 series de tiempo de capturas de aleta amarilla predichas con el método A-SCALA son casi idénticas a aquellas graficadas en la Figura 2.2. Es importante predecir los datos de captura con exactitud, porque es difícil estimar la biomasa si no se sabe bien la cantidad total de pescado extraído del stock.

Es asimismo importante predecir los datos de composición por tamaño con la mayor precisión posible, pero en la práctica es más difícil predecir la composición por tamaño que la captura total. Es importante predecir estos datos con precisión porque contienen la mayor parte de la información necesaria para modelar el reclutamiento y el crecimiento, y por ende para estimar el impacto de la pesca sobre el

stock. En la Figura 4.2 se resumen los pronósticos de las composiciones por tamaño de atún aleta amarilla capturado por las Pesquerías 1-12. Esta figura ilustra simultáneamente las composiciones por tamaño medias observadas y las composiciones por tamaño medias predichas de las capturas de estas doce pesquerías. (No se dispone de datos de composición por tamaño para peces descartados, por lo que se excluye a las Pesquerías 13-16 de esta discusión.) Las predicciones de la composición por tamaño para 11 de las 12 pesquerías con datos de composición por tamaño (Pesquerías 2-12) son buenas (Figura 4.2); la de la pesquería restante muestra un pico más alto que la composición por tamaño observada (Pesquería 1, Figura 4.2). Las capturas en esta pesquería son pequeñas, y las diferencias entre la composición por tamaño observada y predicha no debería afectar de forma significativa las extracciones de la población por tamaño. En la Sección 2.3 se describen las distribuciones por tamaño de la captura de cada pesquería.

Es probable que los resultados presentados en las secciones siguientes cambien en evaluaciones futuras porque (1) datos futuros podrían proporcionar evidencias contrarias a estos resultados, y (2) es posible que cambien los supuestos y constreñimientos usados en el modelo de evaluación. Cambios futuros afectarán más probablemente las estimaciones absolutas de la biomasa y del reclutamiento en los últimos años.

4.2.1. Mortalidad por pesca

Han ocurrido cambios importantes en la cantidad de mortalidad por pesca causada por las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO (Figura 4.3). En promedio, la mortalidad por pesca de aleta amarilla fue mayor durante 1975-1984 que durante 1985-1999. La mortalidad por pesca baja durante 1985-1999 coincidió con un período de reclutamiento y biomasa altas. En promedio, la mortalidad por pesca de aleta amarilla es aproximadamente igual para todos los peces que están en la pesquería más de un año, pero considerablemente menor para los peces más jóvenes.

Las tasas de mortalidad por pesca varían porque la cantidad de esfuerzo ejercido por cada pesquería cambia con el tiempo, porque distintas pesquerías capturan aleta amarilla de distintas edades (el efecto de selectividad), y porque la eficacia de varias pesquerías cambia con el tiempo (el efecto de capturabilidad). En lo siguiente se comentan estos dos últimos efectos; se trata el primero (cambios en el esfuerzo) en la Sección 2.2.1 (ver también Figura 2.3).

En la Figura 4.4 se ilustran las curvas de selectividad estimadas para las 16 pesquerías definidas en la evaluación del stock de aleta amarilla. Lances cerqueros sobre objetos flotantes seleccionan principalmente aleta amarilla de unos 4 a 8 trimestres de edad (Figura 4.4, Pesquerías 1-4), con peces ligeramente mayores seleccionados en la región de altura del sur (Pesquería 1). Lances cerqueros sobre aletas amarillas en cardúmenes no asociados seleccionan peces mayores que los que se capturan en lances sobre objetos flotantes (5-10 trimestres, Figura 4.4, Pesquerías 5 y 6). Lances cerqueros sobre aletas amarillas asociados con delfines en las regiones norte y costera seleccionan principalmente peces de edad mediana (8-15 trimestres, Pesquerías 7 y 8). La pesquería asociada con delfines en el sur (Pesquería 9) selecciona principalmente aleta amarilla mayor (14 trimestres o más). Las pesquerías palangreras de aleta amarilla también seleccionan principalmente ejemplares mayores (unos 11 trimestres o más, Figura 4.4, Pesquerías 11 y 12), y la pesquería del sur selecciona aletas amarillas ligeramente menores. Los barcos de carnada (Pesquería 10) seleccionan aletas amarillas de tamaño similar a los que se capturan en lances cerqueros sobre objetos flotantes (unos 4-7 trimestres).

Se supone que los descartes que resultan de la clasificación de capturas cerqueras de aleta amarilla capturado en asociación con objetos flotantes están compuestos únicamente de aletas amarillas reclutados a la pesquería 3 trimestres o menos (de 2-4 trimestres de edad, Figura 4.4, Pesquerías 13-16). (En la Sección 2.2.2 se presenta información adicional sobre cómo se tratan los descartes.)

La capacidad de los buques cerqueros de capturar atún aleta amarilla en asociación con objetos flotantes ha disminuido generalmente con el tiempo (Figura 4.5a, Pesquerías 1-4). Estas pesquerías demuestran también una variación temporal elevada en la capturabilidad. Cambios en la tecnología de pes-

ca y el comportamiento de los pescadores parecen haber reducido la capturabilidad del aleta amarilla durante este período (Figura 4.5a, Pesquerías 1-4, línea de trazos). Variaciones en las anomalías de las TSM no explican la variación en la capturabilidad (Figura 4.5a, Pesquerías 1-4, línea delgada).

La capacidad de los buques cerqueros de capturar atún aleta amarilla en cardúmenes no asociados también fue altamente variable, con una ligera tendencia ascendiente en la capturabilidad (Figura 4.5a, Pesquerías 5 y 6, línea gruesa). Cambios en la tecnología de pesca y el comportamiento de los pescadores parecen haber incrementado la capturabilidad del aleta amarilla durante este período (Figura 4.5a, Pesquerías 5 y 6, línea de trazos). Variaciones en las anomalías de las TSM no explican la variación en la capturabilidad (Figura 4.5a, Pesquerías 5 y 6, línea delgada).

La capacidad de los buques cerqueros de capturar atún aleta amarilla en lances sobre delfines fue menos variable en las zonas norte y costera que en las otras pesquerías (Figura 4.5a, Pesquerías 7 y 8, línea gruesa). Estas pesquerías también presentan una ligera tendencia ascendiente con el tiempo. La capturabilidad en la pesquería del sur es más variable, y ha disminuido con el tiempo. Los efectos ambientales sobre la capturabilidad parecen ser menores para aletas amarillas capturados en asociación con delfines.

La capacidad de barcos de carnada de capturar atún aleta amarilla ha sido altamente variable (Figura 4.5a, Pesquerías 5 y 6, línea gruesa). Hay múltiples períodos de capturabilidad alta y baja y una ligera tendencia con el tiempo que se atribuye a cambios tecnológicos y de comportamiento. Los efectos ambientales sobre la capturabilidad parecen ser menores para aletas amarillas capturados por barcos de carnada.

La capacidad de barcos palangreros de capturar atún aleta amarilla ha sido asimismo altamente variable, y parece que la capturabilidad fue mayor antes de 1985 que después. La variación en la capturabilidad es menor para la Pesquería 12, responsable de la mayor parte de la captura palangrera de atunes. Parece también existir una buena relación positiva entre TSM y capturabilidad para esta pesquería (Figura 4.5a, Pesquerías 12, línea delgada).

En la Figura 4.5b se ilustra la capturabilidad de atún aleta amarilla pequeño por las pesquerías de descarte (Pesquerías 13-16, líneas gruesas). No se estimaron efectos tecnológicos y de comportamiento ni ambientales sobre la capturabilidad para aletas amarillas pequeños descartados.

4.2.2. Reclutamiento

La abundancia del atún aleta amarilla reclutado a las pesquerías en el OPO parece estar correlacionada con las anomalías de las TSM en el momento de cría de esos peces (Figura 4.6, recuadro izquierdo). Reclutamiento elevado a la pesquería está asociado con TSM más elevadas en el momento de desove. No obstante, las TSM no explican toda la variación en el reclutamiento. Es posible que otras variables oceanográficas influyan sobre el reclutamiento, y el personal de la CIAT piensa considerar otros índices ambientales como candidatos para explicar la variación en el reclutamiento. Esto incluirá intentar determinar si el índice ambiental debería estar basado en condiciones durante la fase juvenil temprana, y no solamente durante la fase larval. Identificar una o más variables ambientales correlacionadas con el reclutamiento sería útil al hacer predicciones sobre el reclutamiento futuro.

Dentro del rango de biomasa predichas ilustradas en la Figura 4.8, la abundancia de reclutas de aleta amarilla parece estar relacionada con la biomasa de reproductores en el momento de desove. (Se definen los reproductores como hembras maduras (Schaefer 1998); ver Sección 3.1.2) (Figura 4.6, recuadro derecho). La relación aparente entre biomasa y reclutamiento se debe a lo que se cree ser un cambio de régimen en la productividad. El aumento en la productividad causó un aumento en el reclutamiento, que a su vez aumentó la biomasa. Por tanto, a largo plazo, reclutamiento alto está relacionado con biomasa alta y reclutamiento bajo con biomasa baja. Se pueden observar los dos regímenes de reclutamiento como dos nubes de puntos en la Figura 4.6 (recuadro derecho). Dada la información actual, la hipótesis de dos regímenes en el reclutamiento es al menos igual de verosímil que una relación entre tamaño de

población y reclutamiento.

En la Figura 4.7 se ilustra la serie de tiempo estimada del reclutamiento de aleta amarilla, y en la Tabla 4.1 el reclutamiento total que se estima ocurre durante cada año. La característica más conspicua de esta serie de tiempo es el reclutamiento bajo a la pesquería que se estima ocurrió durante los trimestres más recientes. Otra característica del reclutamiento es un cambio aparente de régimen en los niveles de reclutamiento, a partir del último trimestre de 1983. El reclutamiento fue, en promedio, mayor después de 1983 que antes. Este cambio en el nivel de reclutamiento produce un cambio similar en biomasa (Figura 4.8). Los intervalos de confianza para el reclutamiento son relativamente estrechos, indicando que las estimaciones son bastante precisas, excepto para el año más reciente (Figura 4.7). El coeficiente de variación (CV) medio de las estimaciones de reclutamiento es 0,19.

Las estimaciones de reclutamiento bajo a la pesquería para los trimestres más recientes fueron derivadas de los datos de frecuencia de talla de 1999 para las pesquerías sobre objetos flotantes (Figura 4.8). Los aletas amarillas son reclutados a estas pesquerías a un año (4 trimestres) de edad. Por lo tanto, cohortes criadas durante los trimestres tercero y cuarto de 1998 aparecerán en los datos de frecuencia de talla de las pesquerías sobre objetos flotantes de los trimestres tercero y cuarto, respectivamente, de 1999. A pesar de las altas tasas de captura (Figura 4.1), se capturaron pocos aletas amarillas de un año de edad en esas pesquerías en esos dos trimestres de 1999, lo cual indica aparentemente que pocos de los aletas amarillos criados durante los trimestres tercero y cuarto de 1998 sobrevivieron hasta ingresar a la pesquería sobre objetos flotantes. No hay información en los datos de frecuencia de talla sobre las cohortes criadas durante 1999, y se ignora la abundancia de las mismas, que ingresarán a las pesquerías sobre objetos flotantes en 2000.

Las estimaciones de los reclutamientos más recientes son altamente inciertas, debido a los datos limitados disponibles para estas cohortes. Además, las pesquerías sobre objetos flotantes capturan solamente una pequeña porción de la captura total de aleta amarilla, y la captura durante el último trimestre de 1999 fue baja debido a la reglamentación impuesta para evitar la pesca excesiva de aleta amarilla y patudo. La escasez de peces pequeños en los datos de frecuencia de talla de 1999, que se supone ser debida a reclutamiento bajo, podría también deberse a muestras de frecuencia de talla sesgadas, cambios en las tasas de crecimiento de los peces, cambios en la selectividad de las artes de pesca, o a mayor descarte de atunes pequeños. Durante 2000, cuando los peces reclutados en 1999 ingresen a la pesquería en cardúmenes no asociados, será posible estimar el reclutamiento de esa cohorte con mayor confianza.

La incertidumbre en las estimaciones de los reclutamientos de 1997, 1998, y 1999 causa también incertidumbre en las estimaciones de la biomasa actual (Figura 4.9).

4.2.3. Biomasa

Se define la biomasa como el peso total de atún aleta amarilla de un año y medio o más de edad. En la Figura 4.9 se ilustran las tendencias en la biomasa de aleta amarilla en el OPO, y en la Tabla 4.1 estimaciones de la biomasa al principio de cada año. Durante 1975-1983 la biomasa disminuyó de unas 315.500 a 151.000 toneladas. Luego aumentó rápidamente durante 1983-1985, alcanzando unas 351.000 toneladas en 1985, desde cuando ha permanecido relativamente constante. Los intervalos de confianza de las estimaciones de biomasa son relativamente estrechos, indicando que las estimaciones son bastante precisas. El CV medio de las estimaciones de biomasa es 0,07.

Se define la biomasa reproductora como el peso total de aleta amarilla hembra madura. En la Figura 4.9 se ilustra la tendencia estimada en biomasa reproductora, y en la Tabla 4.1 estimaciones de la biomasa reproductora al principio de cada año. Generalmente, la biomasa reproductora ha seguido tendencias similares a las de la biomasa, descritas en el párrafo anterior. Los intervalos de confianza de las estimaciones de biomasa reproductora indican asimismo que las estimaciones son bastante precisas. El CV medio de las estimaciones de biomasa reproductora es 0,08.

Parece que las tendencias en la biomasa de atún aleta amarilla pueden ser explicadas por las ten-

dencias en mortalidad por pesca y reclutamiento. Los resultados de simulaciones sugieren que la mortalidad por pesca afecta la biomasa total. Se simuló el crecimiento (en biomasa) de una población de aleta amarilla, comenzando con la población que se estima estuvo presente en el OPO al principio de 1975. Se proyectó la población, sin pesca, usando la serie de tiempo de reclutamientos estimados en la Figura 4.7. En la Figura 4.10 se sobreponen las trayectorias de biomasa simulada y de biomasa estimada con el modelo de evaluación del stock. La gran diferencia en biomasa indica que la pesca ejerce un efecto importante sobre la biomasa de aleta amarilla en el OPO. La reducción en la biomasa estimada para 1975-1983 (Figura 4.9) fue causada por niveles de captura altos y reclutamiento inferior al promedio. El gran aumento en biomasa durante 1984-1985 fue causado por un aumento en el reclutamiento medio (Figura 4.7) y un aumento en el tamaño medio de los peces capturados (Anónimo, 1999), pero una presión de pesca incrementada impidió a la biomasa aumentar más durante 1986-1990. La pesca también limitó el aumento en biomasa ocurrido durante 1998-1999.

4.2.4. Peso promedio de peces en la captura

El peso medio general del atún aleta amarilla capturado en el OPO predicho por el análisis ha permanecido consistente alrededor de los 10 kg durante la mayor parte del período de 1975-1999, pero ha variado considerablemente entre pesquerías (Figuras 4.10 y 5.2). El peso medio fue más de 10 kg entre 1975 y 1977, disminuyó a unos 10 kg durante 1978-1983, aumentó a más de 10 kg durante 1984-1992, y viene disminuyendo paulatinamente desde 1993 (Figura 5.2). El peso medio de los aletas amarillas capturados por las distintas artes varía mucho, pero permanece bastante consistente dentro de cada pesquería (Figura 4.10). El peso medio más bajo (alrededor de 1 kg) es producido por las pesquerías de descarte, seguidas por la pesquería de carnada (unos 4-5 kg), las pesquerías sobre objetos flotantes (unos 4-5 kg para las Pesquerías 2-4 y 10 kg para la Pesquería 1), las pesquerías no asociadas (unos 8-10 kg), las pesquerías sobre delfines del norte y costera (unos 20-30 kg), y la pesquería sobre delfines del sur y las pesquerías palangreras (unos 40-50 kg en cada caso). Los aleta amarilla capturados por la pesquería palangrera del norte (Pesquería 11) son, en promedio, más grandes que los que captura la pesquería palangrera del sur (Pesquería 12).

4.3. Comparaciones con fuentes externas de datos

No se dispone de datos externos para comparar con los resultados de este estudio.

4.4. Sensibilidad a supuestos

No se presentan análisis de sensibilidad para la evaluación del stock de atún aleta amarilla.

4.5. Resumen de los resultados del modelo de evaluación

El reclutamiento de atún aleta amarilla a las pesquerías en el OPO es variable, y parece estar relacionado con las TSM. Niveles altos de reclutamiento a la pesquería (a la edad de 6 meses) están relacionados con TSM altas en el momento de desove 6 meses antes. El análisis indica que la población de aleta amarilla ha vivido dos regímenes distintos de reclutamiento (1975-1984 y 1985-1999), correlacionados con regímenes en las TSM, y que la población lleva actualmente unos 15 años en un régimen de reclutamiento alto. Los dos regímenes de reclutamiento corresponden a dos regímenes en biomasa y mortalidad por pesca: el régimen de reclutamiento alto produce niveles de biomasa mayores y niveles de mortalidad por pesca menores.

El análisis indica que una cohorte muy fuerte ingresó a la pesquería en 1998, y ha aumentado la biomasa y las capturas durante 1999. Existen también indicios de que los reclutamientos más recientes fueron bajos, lo cual podría llevar a niveles de biomasa y captura más bajos. Las TSM correspondientes a estos reclutamientos fueron también bajas, otra indicación de que el reclutamiento reciente podría ser bajo. Sin embargo, estas estimaciones del reclutamiento reciente se basan en información limitada, y son muy inciertas.

El peso medio del aleta amarilla capturado en la pesquería ha sido bastante consistente, pero va-

ría sustancialmente entre las distintas pesquerías. En general, las pesquerías sobre objetos flotantes (Pesquerías 1-4), no asociadas (Pesquerías 5 y 6), y de carnada (Pesquería 10) capturan aletas amarillas de menor edad y tamaño que las pesquerías sobre delfines (Pesquerías 7-9) y palangreras (Pesquerías 11 y 12). Las pesquerías palangreras y sobre delfines en la región del sur (Pesquería 9) capturan aletas amarillas de mayor edad y tamaño que las pesquerías sobre delfines costera (Pesquería 8) y del norte (Pesquería 7).

5. CONDICIÓN DEL STOCK

Se evalúa la condición del stock de atún aleta amarilla en el OPO considerando cálculos basados en la biomasa reproductora, rendimiento por recluta, y rendimiento promedio máximo sostenible (RPMS).

Se están desarrollando ampliamente como lineamientos para la ordenación de pesquerías puntos de referencia precautorios del tipo contemplado en el Código de Conducta de FAO para la Pesca Responsable y el Acuerdo de Naciones Unidas sobre Poblaciones de Peces. La CIAT no ha adoptado puntos de referencia objetivo ni límite para los stocks de los que responde, pero en las tres subsecciones siguientes se describen unos puntos de referencia posibles.

5.1. Evaluación de la condición del stock basada en biomasa reproductora

El cociente de la biomasa reproductora durante un período con pesca a la que se podría acumular en ausencia de pesca es útil para evaluar la condición de un stock. Se denomina este cociente el cociente de biomasa reproductora, o SBR (*spawning biomass ratio*), y se define con la siguiente ecuación:

$$SBR_t = \frac{S_t}{S_{F=0}}$$

donde S_t es la biomasa reproductora en cualquier momento (t) durante un período de explotación y $S_{F=0}$ es la biomasa reproductora que estaría presente si no se pescase durante un período largo (es decir, la biomasa reproductora de equilibrio si $F = 0$). El límite inferior del SBR es cero. Si el SBR es cero, o un poco más que cero, la población ha sido severamente reducida y se encuentra probablemente sobreexplotada. Si el SBR es 1, o un poco menos que 1, la pesquería probablemente no ha reducido el stock de reproductores. Si el SBR es más que 1, es posible que el stock haya emprendido un régimen de producción incrementada.

Se ha usado el SBR para definir puntos de referencia en muchas pesquerías. Varios estudios (por ejemplo, Clark 1991, Francis 1993, Thompson 1993, Mace 1994) sugieren que algunas poblaciones de peces pueden producir el RPMS con un SBR entre 0,3 y 0,5, y que otras no lo pueden producir si el SBR es menos de 0,2. Desgraciadamente, los tipos de dinámica de poblaciones que caracterizan las poblaciones de atunes generalmente no han sido consideradas en estos estudios, y sus conclusiones son sensibles a supuestos sobre la relación entre biomasa adulta y tasas de reclutamiento, mortalidad natural, y crecimiento. A falta de estudios de simulación diseñados específicamente para determinar puntos de referencia apropiados para atunes basados en SBR, se pueden comparar estimaciones de SBR_t con una estimación de SBR para una población que está produciendo el RPMS ($SBR_{RPMS} = S_{RPMS}/S_{F=0}$). S_{RPMS} es la biomasa reproductora en RPMS (ver Sección 5.3 para detalles del cálculo del RPMS y valores relacionados).

Se computaron estimaciones de SBR_t para el aleta amarilla en el OPO para cada trimestre representado en el modelo de evaluación del stock (del primer trimestre de 1975 al primer trimestre de 2000). En la Sección 4.2.2 se presentan estimaciones de la biomasa reproductora durante el período de pesca (S_t). Se estimó la biomasa reproductora de equilibrio al cabo de un largo período sin pesca ($S_{F=0}$) suponiendo que el reclutamiento ocurre a nivel promedio. El nivel promedio de reclutamiento usado en este cálculo es aquél estimado por el modelo de evaluación del stock (Sección 4.2.2). Se estima $S_{F=0}$ en unas 331.000 toneladas, con límites de confianza de 95% inferior y superior de unas 318.000 y 345.000 toneladas, y SBR_{RPMS} en 0,25.

Al principio de 2000, el stock reproductor de atún aleta amarilla en el OPO estaba considerablemente reducido. El SBR estimado en ese momento fue aproximadamente 0,38, con límites de confianza de 95% inferior y superior de 0,29 y 0,47, respectivamente. Es importante notar que la estimación del límite de confianza inferior es mayor que la estimación de SBR_{RPMS} (0,25), señalando que, al principio de 2000, el stock reproductor de aleta amarilla en el OPO era probablemente mayor de lo que se esperaría si el stock estuviese produciendo el RPMS.

En la Figura 5.1 se presenta una serie de tiempo de estimaciones del SBR para atún aleta amarilla en el OPO. Entre el principio de 1975 y el principio de 1983, el SBR disminuyó de 0,24 a 0,12 aproximadamente (Figura 5.1, línea gruesa). Esto es consistente con el hecho que el stock de aleta amarilla en el OPO fue explotado antes de 1975. El SBR aumentó considerablemente durante 1983-1986 y, al principio de 1986, fue aproximadamente 0,33 (Figura 5.1, línea gruesa). Este aumento puede probablemente ser atribuido a los niveles de reclutamiento superiores al promedio que se estima ocurrieron desde 1983 (Figura 4.7). Es interesante notar que este aumento en la biomasa reproductora fue seguido inmediatamente por un aumento en la captura (Figura 2.2). Después de 1986 permaneció en aproximadamente 0,35 (Figura 5.1, línea gruesa). Durante este período, la biomasa reproductora de aleta amarilla en el OPO estuvo por encima del nivel en que se esperaría que estuviera si el stock produjera el RPMS (Figura 5.1). En 1999, el SBR del aleta amarilla en el OPO ha aumentado (Figura 5.1, línea gruesa). Este aumento puede probablemente ser atribuido al nivel de reclutamiento relativamente alto que se estima ocurrió durante 1998.

En general, las estimaciones del SBR para el aleta amarilla en el OPO son bastante precisas; su CV medio es aproximadamente 0,07. Los intervalos de confianza relativamente estrechos de las estimaciones del SBR sugieren que en la mayoría de los trimestres durante 1985-2000 la biomasa reproductora de aleta amarilla en el OPO fue probablemente superior al nivel que se esperaría si la población produjese el RPMS (Sección 5.3), representado por la línea de trazos en 0,25 en la Figura 5.1. Sin embargo, se estima que durante la mayor parte del período temprano (1975-1984), la biomasa reproductora estuvo por debajo del nivel de RPMS.

5.2. Evaluación de la condición del stock con base en el rendimiento por recluta

Cálculos del rendimiento por recluta también son útiles para evaluar la condición de un stock. Las tasas de crecimiento y mortalidad natural definen cómo cambia la biomasa total de una cohorte a medida que envejecen los peces en esa cohorte. La biomasa total de una cohorte es generalmente una función en forma de domo de la edad. Justo después de la edad de reclutamiento, la biomasa total de una cohorte aumenta porque las ganancias debidas al crecimiento superan las pérdidas debidas a mortalidad natural. Luego, a medida que crecen los peces, las pérdidas debidas a mortalidad natural superan las ganancias debidas al crecimiento, y la biomasa total de la cohorte disminuye. Hay un punto, denominado la “edad crítica”, en el cual las ganancias debidas al crecimiento compensan exactamente las pérdidas debidas a mortalidad natural. Si se capturan los peces cuando alcanzan esta edad crítica, la pesquería obtendrá, en promedio, el rendimiento máximo de cada pez reclutado a la cohorte. Se puede convertir la edad crítica en un “peso crítico,” usando una curva de crecimiento y una relación peso-talla. Con esta conversión el concepto de maximizar el rendimiento por recluta se hace más práctico. Si el peso medio de los peces en la captura es cercano al peso crítico, la pesquería está probablemente cerca de maximizar el rendimiento de cada recluta. Si es inferior al peso crítico, la pesquería está, en promedio, extrayendo los peces antes de que se maximicen las ganancias potenciales debidas al crecimiento, y si es superior al peso crítico, la pesquería está, en promedio, perdiendo rendimiento a pérdidas por mortalidad natural.

Para las pesquerías de atún no es factible que el peso medio de los peces en la captura equivalga al peso crítico y, en general, se puede considerar que se está logrando satisfactoriamente la meta de maximizar el rendimiento por recluta si el peso medio es cercano al peso crítico. El rendimiento por recluta es afectado por la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido y por el patrón de selectividad por edad. Si el peso medio de los peces en la captura no es cercano al peso crítico, ajustar uno de estos dos controles

puede ayudar a optimizar el rendimiento por recluta. Si el esfuerzo de pesca es inferior a un nivel óptimo, no se maximizará el rendimiento por recluta porque muchos peces morirán por mortalidad natural. Si el esfuerzo de pesca es superior a un nivel óptimo, tampoco se maximizará el rendimiento por recluta porque muchos peces serán capturados antes de que se realicen las ganancias potenciales del crecimiento. Estas dos afirmaciones se basan en el supuesto de que hay un patrón fijo de selectividad por edad. En realidad, es difícil controlar ese patrón, pero el patrón total de selectividad por edad para todos los métodos de pesca combinados, y por ende el rendimiento por recluta, puede ser modificado cambiando la distribución de esfuerzo entre métodos de pesca con distintos patrones de selectividad por edad. Por ejemplo, si el peso medio de los peces en la captura es inferior al peso crítico, sería posible incrementar el rendimiento por recluta reduciendo la cantidad de esfuerzo de pesca ejercida por las pesquerías que capturan peces jóvenes. Cabe destacar que controlar el patrón de selectividad por edad para que se capturen solamente peces de edad crítica no es una estrategia apropiada para optimizar el rendimiento por recluta porque implica que el nivel de mortalidad por pesca debería ser infinitamente alto.

Se estimó el peso crítico para atún aleta amarilla en el OPO en unos 38,5 kg, bajo el supuesto de reclutamiento constante, usando las curvas de mortalidad natural y crecimiento del modelo de evaluación (Figuras 3.1 y 4.12, respectivamente). En lo sucesivo, se usa este peso como punto de referencia y se compara con el peso medio de los peces en la captura combinada (de las 16 pesquerías de aleta amarilla).

El peso medio del atún aleta amarilla en las capturas combinadas de las pesquerías operando en el OPO fue solamente unos 13 kg al fin de 1999 (Figura 5.2), considerablemente menos que el peso crítico, y de hecho ha sido sustancialmente inferior al peso crítico desde 1975 (Figura 5.2).

Las varias pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO capturan peces de distintos pesos medios (Sección 4.2.4). El peso promedio de los aletas amarillas capturados por las pesquerías palangrandas (Pesquerías 11 y 12) y la pesquería sobre delfines en la región sur (Pesquería 9) es cercano al peso crítico (Figura 4.11). De las pesquerías que capturan la mayoría del aleta amarilla (pesquerías no asociadas y sobre delfines, Pesquerías 5-8), las pesquerías sobre delfines son mejores con respecto al criterio de peso crítico.

5.3. Evaluación de la condición del stock con base en RPMS

Puntos de referencia basados en RPMS también son útiles para la ordenación de stocks de peces, y mantener los stocks de atunes a niveles capaces de producir el RPMS es el objetivo especificado por la Convención de la CIAT. Una definición del RPMS es el rendimiento máximo a largo plazo que se puede lograr bajo condiciones medias usando el patrón actual de selectividad por edad de todas las pesquerías combinadas. Teóricamente, bajo condiciones medias, hay una tasa de mortalidad por pesca que maximiza el rendimiento de la pesquería combinada. Si dicha tasa permanece en este nivel durante un período largo, el tamaño de la población, bajo condiciones medias, permanecerá en un nivel constante. Se define este tamaño de población como la biomasa en RPMS (B_{RPMS}). Hay una definición similar para la biomasa reproductora en RPMS (S_{RPMS}). Si el objetivo de la ordenación es lograr el RPMS, los niveles recientes de captura (C_{1999} , definido como la captura total en 1999) deberían ser cercanos al RPMS y los niveles recientes de biomasa, B_{2000} y S_{2000} (definidos como los niveles de biomasa al principio de 2000), deberían ser cercanos a B_{RPMS} y S_{RPMS} , respectivamente. Por lo tanto, los cocientes $C_{1999}/RPMS$, B_{2000}/B_{RPMS} , y S_{2000}/S_{RPMS} deberían ser cercanos a 1,0. Nótese que aun si el sistema está cerca de los niveles capaces de producir el RPMS, fluctuaciones en la dinámica del sistema (por ejemplo, fluctuaciones en reclutamiento y capturabilidad) pueden causar que estos cocientes varíen de 1,0. Similarmente, fluctuaciones en la dinámica del sistema pueden también causar que estos cocientes sean cercanos a 1,0 cuando el sistema no está cercano a los niveles capaces de producir el RPMS.

Los cálculos basados en RPMS para el aleta amarilla en el OPO se basan en el supuesto de que no existe una relación entre el tamaño del stock y el reclutamiento (Sección 4.2.2). Por lo tanto, los resultados presentados en lo sucesivo serán equivalentes a los resultados de los análisis de rendimiento por recluta realizados con evaluaciones previas de este stock (por ejemplo, Anónimo 1999).

Cabe también destacar que se hicieron los cálculos basados en RPMS con los parámetros estimados del modelo de evaluación del stock. Por tanto, se presentan los resultados basados en RPMS como estimaciones de punto, pero se debe notar que estos resultados contienen incertidumbres. El personal de la CIAT considera que cuantificar la incertidumbre en los resultados basados en RPMS es un tema importante para estudios futuros.

Al principio de 2000, la biomasa de atún aleta amarilla en el OPO parece haber estado por encima del nivel que se espera produciría el RPMS, y las capturas recientes han estado por encima del nivel de RPMS (Tabla 5.1).

Si la mortalidad por pesca es proporcional al esfuerzo de pesca, y se mantienen los patrones actuales de selectividad por edad (Figura 4.4), el nivel de esfuerzo de pesca que se estima produciría el RPMS es aproximadamente igual al nivel actual de esfuerzo, ya que el esfuerzo en RPMS es 99% del nivel de esfuerzo actual. Es importante notar, sin embargo, que la curva que relaciona el rendimiento promedio sostenible con la mortalidad por pesca es muy plana alrededor del nivel de RPMS, pero la biomasa del stock reproductor cambia sustancialmente con cambios en la mortalidad por pesca a largo plazo (Figura 5.3). Por consiguiente, cambios a los niveles de esfuerzo a largo plazo cambiarán las capturas tan sólo marginalmente, pero la biomasa considerablemente. Reducir el esfuerzo, que también podría reducir el costo de la pesca, causaría una reducción marginal en el rendimiento medio a largo plazo, con el beneficio de un aumento relativamente grande en la biomasa reproductora.

El cambio aparente en el régimen de productividad que comenzó en 1985 podría requerir un enfoque diferente a la estimación del RPMS. Regímenes distintos darán lugar a valores distintos del RPMS. En la Tabla 5.1 se presentan estimaciones del RPMS y los valores asociados para los dos regímenes, usando el reclutamiento medio de los períodos de 1975-1984 y 1985-1999. El RPMS calculado del régimen actual es un 14% mayor que el RPMS estimado para el período entero comenzando en 1975, y un 45% mayor que el RPMS estimado para el período que termina en 1984.

La estimación del RPMS, y sus cantidades asociadas, es sensible al patrón de selectividad por edad que se usa en los cálculos. Las cantidades basadas en RPMS descritas anteriormente se basaron en un patrón de selectividad promedio para todas las pesquerías combinadas calculado a partir de la distribución actual de esfuerzo entre pesquerías. Distribuciones de esfuerzo de pesca diferentes cambiarían este patrón de selectividad combinado. Es posible aumentar el RPMS si una pesquería captura peces de peso cercano al crítico (Sección 5.2). A fin de ilustrar cómo cambiaría el RPMS si se distribuyera el esfuerzo de otra forma entre las distintas pesquerías (aparte de las pesquerías de descarte) que capturan aleta amarilla en el OPO, se repitieron los mismos cálculos usando el patrón de selectividad por edad estimado para cada pesquería. Si un objetivo adicional de la ordenación es maximizar el RPMS, las pesquerías palangreras (Pesquerías 11 y 12) y la pesquería sobre delfines del sur (Pesquería 9) tendrán el mejor desempeño, seguidas por las pesquerías sobre delfines costera y del norte (Pesquerías 7 y 8), y luego las pesquerías no asociadas (Tabla 5.2). Las pesquerías que capturan aleta amarilla en lances cerqueros sobre objetos flotantes (excepto en la región del sur, Pesquerías 2-4) y la pesquería con carnada (Pesquería 10) tendrán el peor desempeño (Tabla 5.2). Si un objetivo adicional de la ordenación es incrementar el S_{RPMS} al máximo, las pesquerías palangreras (Pesquerías 11 y 12) y la pesquería sobre delfines del sur (Pesquería 9) serán de nuevo las mejores, seguidas por las pesquerías sobre delfines costera y del norte (Pesquerías 7 y 8), las pesquerías no asociadas, las pesquerías que capturan aleta amarilla en lances cerqueros sobre objetos flotantes (excepto en la región del sur, Pesquerías 2-4) y la pesquería con carnada (Pesquería 10) (Tabla 5.2).

De las pesquerías que capturan la mayoría del atún aleta amarilla (pesquerías no asociadas y sobre delfines, Pesquerías 5-8), las pesquerías sobre delfines son las mejores para los dos objetivos de RPMS y S_{RPMS} . Limitar la pesca a delfines solamente (con base en el promedio de las Pesquerías 7 y 8) aumentaría el RPMS y S_{RPMS} en un 26 y 13%, respectivamente, con respecto a lo que se podría lograr con la distribución actual de esfuerzo. Pescar sobre cardúmenes no asociados (con base en el promedio de las

Pesquerías 5 y 6) produciría solamente el 62 y 40% del RPMS y S_{RPMS} , respectivamente, que se obtendría pescando exclusivamente sobre delfines (con base en el promedio de las Pesquerías 7 y 8). Sin embargo, no se sabe si las pesquerías que producirían los RPMS mayores serían lo suficientemente eficaces como para capturar la totalidad de los RPMS predichos.

5.4. Resumen de la condición del stock

Históricamente el SBR de atún aleta amarilla en el OPO estuvo por debajo del nivel que soportaría el RPMS, pero en los 15 últimos años ha estado por encima de dicho nivel. Se atribuye el aumento en el SBR a un cambio de régimen en la productividad de la población. Los dos regímenes de productividad podrían soportar dos niveles distintos de RPMS y de SBR asociados. El SBR actual está asimismo por encima del nivel de SBR en RPMS basado en el régimen de productividad actual, y está dentro del rango que se ha propuesto como nivel objetivo para otras especies. Se estima que los niveles de esfuerzo están alrededor de los que soportarían el RPMS (con base en la distribución actual de esfuerzo entre las varias pesquerías). No obstante, debido al gran número de reclutas que ingresó a la pesquería en 1998, los niveles de biomasa y captura son mucho más altos que los valores correspondientes en RPMS.

El peso medio actual del aleta amarilla en la captura es muy inferior al peso crítico, y por lo tanto, del punto de vista de rendimiento por recluta, la pesca del aleta amarilla en el OPO es excesiva. Los cálculos de RPMS indican que las capturas podrían ser incrementadas mucho si se dirigiera el esfuerzo de pesca hacia la pesca con palangre y lances cerqueros sobre aletas amarillas asociados con delfines. Esto aumentaría también los niveles de SBR.

6. EFECTOS SIMULADOS DE OPERACIONES DE PESCA FUTURAS

Se realizó un estudio de simulación para lograr una mejor comprensión de cómo, en el futuro, cambios hipotéticos en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie podrían simultáneamente afectar el stock de atún aleta amarilla en el OPO y las capturas de aleta amarilla por las distintas pesquerías. Se construyeron varios escenarios hipotéticos para definir cómo las distintas pesquerías que capturan aleta amarilla en el OPO operarían en el futuro, y también para definir la dinámica futura del stock de aleta amarilla. En las Secciones 6.1 y 6.2 se describen los supuestos en los que se basan estos escenarios.

Se debe interpretar con cautela los resultados de los estudios de simulación porque se realizaron bajo una serie de supuestos que, en el futuro, podrían resultar ser falsos. Se deben considerar los patrones y tendencias generales en los resultados de una serie de simulaciones, no los valores predichos por una sola simulación. Por ejemplo, en lugar de considerar el nivel predicho de biomasa futura de una sola simulación, es más apropiado considerar si simulaciones múltiples (por ejemplo, realizadas bajo varios escenarios de reclutamiento) suelen pronosticar que biomasa futura serán mayores o menores que un cierto nivel. Se realizaron cien simulaciones para cada uno de los escenarios descritos en las Secciones 6.1 y 6.2. Es asimismo apropiado considerar los resultados de un estudio de simulación comparando los resultados relativos de distintos supuestos acerca del futuro.

Generalmente, lo más adecuado es realizar simulaciones que arrojan predicciones sobre el futuro a corto plazo. Simulaciones a corto plazo son apropiadas porque es difícil predecir con precisión cómo un sistema se comportará en el futuro a partir de lo que hizo en el pasado. Por ejemplo, hay tanta variación en la capturabilidad del atún aleta amarilla capturado por las pesquerías del EPO (Figura 4.5) que es difícil saber cómo estos parámetros podrían cambiar en el futuro. Realizar simulaciones a corto plazo puede reducir el grado al cual supuestos no apropiados sobre la dinámica futura del sistema afectan las predicciones del modelo. Las simulaciones comentadas a continuación fueron realizadas para un período de 5 años, 2000 a 2004 (con intervalos trimestrales).

6.1. Supuestos sobre las operaciones de pesca

6.1.1. Esfuerzo de pesca

Se especificaron los escenarios siguientes para describir la cantidad hipotética de esfuerzo de pesca que podría ejercer la flota de superficie durante 2000-2004.

1. La flota de superficie ejercerá una cantidad de esfuerzo equivalente al 75% de la cantidad media de esfuerzo que ejerció durante 1998-1999.
2. La flota de superficie ejercerá una cantidad de esfuerzo equivalente a la cantidad media de esfuerzo que ejerció durante 1998-1999.
3. La flota de superficie ejercerá una cantidad de esfuerzo equivalente al 125% de la cantidad media de esfuerzo que ejerció durante 1998-1999.

Estos escenarios se basan en niveles trimestrales de esfuerzo de pesca. Por ejemplo, en el primer escenario, el esfuerzo en el cuarto trimestre de 2000, 2001, 2002, 2003, y 2004 equivale al 75% del esfuerzo medio ejercido durante el cuarto trimestre de 1998 y 1999.

Se realizaron todas las simulaciones bajo el supuesto que, de 2000 a 2004, la flota palangrera ejercerá una cantidad de esfuerzo igual a la que ejerció durante 1998 (también por trimestre).

6.1.2. Selectividad y capturabilidad

Se hicieron dos supuestos acerca de la selectividad (el componente por edad de la mortalidad por pesca). En primer lugar, se supuso que la curva de selectividad para cada pesquería incluida en la simulación no cambia durante el curso de la misma. En segundo lugar, se supuso que la curva de selectividad para cada pesquería incluida en la simulación es la misma que estimó el modelo de evaluación del stock (es decir, las curvas de selectividad son las mismas que se presentan en la Figura 4.4).

Se supuso además que la capturabilidad de atún aleta amarilla para cada pesquería incluida en la simulación no cambia durante el curso de la misma. Se supuso que los niveles futuros de capturabilidad para cada pesquería eran iguales a la capturabilidad media para esa pesquería durante 1998 y 1999. (Se computan los promedios de esfuerzo de pesca por trimestre.)

6.1.3. Descartes

Se especificaron dos escenarios para describir la situación futura de los descartes de aleta amarilla. En el primero se supone que todo el aleta amarilla descartado muere; en el segundo, que no hubo descartes porque los peces que normalmente se descartan no son capturados o, al mismo efecto, que todos los aletas amarillas descartados sobreviven. Es importante notar que la intención no es que el supuesto de no haber descartes represente un escenario en el cual los peces pequeños son retenidos en la captura. La retención de peces pequeños que normalmente serían descartados no fue modelada explícitamente en este estudio de simulación. En la mayoría de los casos, suponer que los peces pequeños serán retenidos es equivalente a suponer que los peces descartados morirán. Por lo tanto, se deben considerar las simulaciones realizadas bajo el primer escenario para ver los resultados de retener peces que normalmente serían descartados. Sin embargo, cabe también destacar que retención futura de peces pequeños causaría que se subestimaran las capturas simuladas de la flota primaria de superficie (Pesquerías 1-10).

6.2. Supuestos sobre la dinámica de población

Se realizó el estudio de simulación bajo el supuesto que, en el futuro, los parámetros biológicos y demográficos que rigen la dinámica de la población de atún aleta amarilla en el OPO serían similares a los que la rigieron durante 1975-1999. En particular, se supuso que la función de crecimiento, relación peso-talla, curva de madurez, y curva de mortalidad natural eran iguales a las que se usaron en el modelo de evaluación del stock (Sección 3). Con respecto al modelo de evaluación, se supuso también que el aleta amarilla se desplaza por el OPO con suficiente rapidez como para asegurar que la población está mezcla-

da al azar al principio de cada trimestre (Sección 3.1.3), y que hay un solo stock de aleta amarilla en el OPO (Sección 3.1.5). Se supuso que el reclutamiento durante 2000 a 2004 varía al azar alrededor del mismo nivel promedio y es igual de variable que el reclutamiento durante 1975-1999. Nótese que las estimaciones de reclutamiento del modelo de evaluación del stock parecen estar autocorrelacionadas (Figura 4.7) pero, en el estudio de simulación, el rendimiento no estuvo autocorrelacionado. Añadir autocorrelación a las series de tiempo de reclutamiento simuladas causaría que los resultados de la simulación fuesen más variables.

6.3. Resultados de la simulación

Se usaron las simulaciones para pronosticar los niveles futuros del SBR, el peso medio de atún aleta amarilla en la captura de todas las pesquerías combinadas, la captura total de las pesquerías de superficie primarias que presuntamente seguirían operando en el OPO (Pesquerías 1-10), y la captura total de la flota palangrera (Pesquerías 11 y 12). Es importante notar que hay probablemente más incertidumbre en los niveles futuros de estas variables producidas por el modelo de lo que sugieren los resultados presentados en las Figuras 6.1-6.4 y la Tabla 6.1. La cantidad de incertidumbre es probablemente subestimada porque las simulaciones fueron realizadas bajo el supuesto que los parámetros estimados por el modelo de evaluación del stock describen correctamente la dinámica del sistema. Tal como se comenta en la Sección 4, no es probable que se cumpla este supuesto.

6.3.1. SBR predichos

Dentro del rango de escenarios especificados para el estudio de simulación, se predice que cambios futuros en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie tendrán efectos sustanciales sobre el SBR (Figura 6.1 y Tabla 6.1). Se predice que incrementar el esfuerzo de superficie al 125% de su nivel medio reciente causará que la estimación mediana del SBR disminuya en un 22% para el fin de 2004 (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “125% del esfuerzo de superficie”). Se predice que reducir el esfuerzo de superficie al 75% de su promedio reciente incrementará la estimación mediana del SBR en un 48% (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “75% del esfuerzo de superficie”). Con los niveles actuales de esfuerzo, se predice que al fin de 2004 el SBR sería, en promedio, ligeramente inferior al SBR_{RPMS} (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 20% del SBR el SBR_{RPMS} estimado de 0,25). Este resultado es consistente con la estimación previa que, bajo condiciones promedio, los niveles actuales de esfuerzo de pesca deberían ser reducidos ligeramente para lograr el RPMS (Sección 5.3).

Si la flota de superficie continúa ejerciendo una cantidad media de esfuerzo de pesca, se predice que el SBR no será sensible a supuestos sobre la situación del atún aleta amarilla descartado (Figura 6.1 y Tabla 6.1). Si no se captura el aleta amarilla pequeño que normalmente se descarta, o si los peces descartados sobreviven, se predice que el SBR será un 4% mayor que lo que se predice si se supone que el aleta amarilla descartado muere (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “Esfuerzo de superficie medio, sin descartes”). Este resultado es importante porque sugiere que evitar la captura de aleta amarilla sin valor comercial sobre objetos flotantes (o asegurar que los peces descartados sobrevivan) no incrementaría el stock reproductor de forma significativa.

6.3.2. Peso promedio predicho de atún aleta amarilla en la captura combinada

Dentro del rango de escenarios especificados para el estudio de simulación, se predice que cambios futuros en la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie tendrá efectos moderados sobre el peso promedio de atún aleta amarilla capturado por pesquerías operando en el OPO (Figura 6.2 y Tabla 6.1). Se predice que, al cabo de 5 años, incrementar el esfuerzo de superficie al 125% de su nivel medio reciente causaría que el peso promedio del aleta amarilla en la captura combinada disminuirá en un 12% (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “125% del esfuerzo de superficie”). Se predice que reducir el esfuerzo de superficie al 75% de su promedio reciente incrementaría el peso promedio del aleta amarilla en la captura en un 23% (Tabla 6.1;

compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “75% del esfuerzo de superficie”). Bajo todos los escenarios del esfuerzo simulado, se predice que el peso promedio de peces en la captura durante 2004 sería sustancialmente inferior al peso crítico (compárense el peso crítico estimado de unos 38,5 kg con los cuantiles de 80% en la Tabla 6.1). Parece por tanto que no será posible maximizar el rendimiento por recluta sin reducir sustancialmente la cantidad de esfuerzo de pesca ejercido por la flota de superficie. Esta conclusión podría cambiar si, en el futuro, la flota de superficie captura aletas amarillas más grandes (de mayor edad).

Si las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en asociación con objetos flotantes continúan ejerciendo una cantidad media de esfuerzo, evitar descartes (o asegurar que los peces descartados sobrevivan) incrementaría moderadamente el peso promedio de peces en la captura combinada durante 2004 (Figura 6.1 y Tabla 6.1). Este resultado es de esperar porque las pesquerías de descarte (Pesquerías 13-16) capturan grandes cantidades de peces pequeños, y esto influye sobre la estimación del peso promedio.

6.3.3. Capturas predichas de las pesquerías de superficie primarias

Ya que se realizó el estudio de simulación bajo los supuestos que la capturabilidad permanecerá constante para cada pesquería que siga operando en el OPO (Sección 6.1.2) y que el reclutamiento variará al azar alrededor del promedio, se espera que aumentos en niveles futuros de esfuerzo de pesca de superficie causen aumentos a corto plazo en las capturas de esas pesquerías (Pesquerías 1-10). También vale lo contrario: se espera que reducciones en el nivel futuro de esfuerzo de pesca de superficie causen una reducción a corto plazo en la captura. Es también importante notar que si el nivel futuro de esfuerzo aumenta (o disminuye) por 25%, la captura no necesariamente aumentará (o disminuirá) por el mismo porcentaje. Por ejemplo, si el nivel futuro de esfuerzo aumenta en un 25%, se predice que las capturas trimestrales de la flota de superficie durante 2004 serán solamente un 2% mayores que aquéllas predichas con niveles promedio de esfuerzo (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “125% del esfuerzo de superficie”). Similarmente, si el nivel futuro de esfuerzo disminuye en un 25%, las capturas trimestrales de la flota de superficie durante 2004 disminuirán en menos de un 1% (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “75% del esfuerzo de superficie”). Esta falta de sensibilidad de la captura futura por la pesquería de superficie a cambios en el esfuerzo de dicha pesquería es consistente con que la curva que relaciona el rendimiento promedio sostenible con la mortalidad por pesca es casi plana en su cima y que la cantidad actual de esfuerzo de pesca ejercida en el OPO produce un rendimiento promedio muy cercano al RPMS (Sección 5.3 y Figura 5.3).

Si las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en asociación con objetos flotantes continúan ejerciendo una cantidad media de esfuerzo, evitar la captura de peces sin valor comercial (o asegurar que los peces descartados sobrevivan) incrementaría ligeramente las capturas futuras de la flota de superficie (Figura 6.3 y Tabla 6.1), y aumentaría la captura trimestral de superficie durante 2004 en un 5% (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “Esfuerzo de superficie medio, sin descartes”). Incrementaría la captura de la flota de superficie porque un mayor número de peces pequeños sobreviviría y la biomasa total de las cohortes a las que son reclutados aumentaría gracias a ganancias debidas a crecimiento (Sección 5.2).

6.3.4. Capturas predichas de la flota palangrera

Los resultados del estudio de simulación sugieren que cambios futuros en la cantidad de esfuerzo ejercido por la flota de superficie afectaría sustancialmente las capturas de la flota palangrera (Figura 6.4 y Tabla 6.1). La captura palangrera trimestral durante 2004 aumentaría en un 50% si se redujera el esfuerzo de pesca de superficie al 75% de su promedio reciente para los 5 años próximos (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “75% del esfuerzo de superficie”). Similarmente, la captura palangrera trimestral durante 2004 disminuiría en un 28% si se aumentara el esfuerzo de pesca de superficie al 125% de su promedio reciente (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de 50% de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “125% del esfuerzo de superficie”).

Se predice que la captura futura palangrera no es sensible a que la flota de superficie continúe capturando aleta amarilla sin valor comercial sobre objetos flotantes (Figura 6.4 y Tabla 6.1). Evitar la captura de aleta amarilla sin valor comercial aumentaría la captura palangrera trimestral durante 2004 en un 4% (Tabla 6.1; compárense los cuantiles de “Esfuerzo de superficie medio” con aquéllos de “Esfuerzo de superficie medio, sin descartes”). Este resultado es consistente con la predicción que el SBR aumentaría tan sólo ligeramente si se evitaran las capturas de aleta amarilla sin valor comercial.

6.4. Resumen de resultados de la simulación

La cohorte fuerte de atún aleta amarilla que aparentemente fue reclutada a las pesquerías en el OPO durante 1998 (Figura 4.7) causó que el SBR aumentase durante 2000, pero es posible que las cohortes débiles siguientes que ingresaron a la pesquería en 1999 reduzcan el SBR a niveles que son, en promedio, ligeramente inferiores al nivel que soportaría el RPMS.

Se predice que cambios futuros en el nivel de esfuerzo de pesca de superficie afectarían el SBR sustancialmente, y el peso promedio de peces en la captura de todas las pesquerías combinadas moderadamente; no afectarían la captura total de la flota de superficie primaria (Pesquerías 1-10), pero sí la de la flota palangrera (Pesquerías 11 y 12), sustancialmente (Tabla 6.1). Incrementar el nivel de esfuerzo de pesca de superficie al 125% de su promedio reciente reduciría el SBR (Figura 6.1), el peso promedio de peces en la captura combinada (Figura 6.2), y la captura total de la flota palangrera (Figura 6.4). Reducir el nivel de esfuerzo de pesca de superficie al 75% de su promedio reciente tendría los efectos contrarios.

Se predice que evitar las capturas de atún aleta amarilla sin valor comercial sobre objetos flotantes, particularmente plantados, (o asegurar que los peces descartados sobrevivan) tendría efectos insignificantes sobre los SBR y las capturas, pero incrementaría el peso medio moderadamente.

Se calcularon los resultados de estas simulaciones usando el reclutamiento medio del período de 1975-1999. Tal como se comenta en la Sección 4, parece en los últimos 15 años el aleta amarilla ha estado en un régimen de mayor productividad. Es probable que, si se repitieran las simulaciones usando un reclutamiento medio basado en el período de 1985-1999, las estimaciones de los SBR y las capturas serían mayores.

7. DIRECCIONES FUTURAS

7.1. Colección de información nueva y/o actualizada

El personal de la CIAT piensa continuar su recolección de datos de captura, esfuerzo, y composición por tamaño de las pesquerías que capturan atún aleta amarilla en el OPO. En la próxima evaluación del stock se incorporarán datos nuevos obtenidos durante 2000 y datos actualizados de 1999.

El personal de la CIAT piensa también considerar otros tipos de datos ambientales para uso en el modelo de evaluación del stock.

7.2. Refinamientos de modelos y/o métodos de evaluación

El personal de la CIAT piensa continuar desarrollando el método A-SCALA y refinar la evaluación del stock de atún aleta amarilla en el OPO. En particular, se piensa extender el modelo para que se pueda incorporar en los análisis información obtenida de los estudios de mercado realizados en el pasado. El personal piensa también elaborar índices de abundancia de aleta amarilla a partir de las CPUE de buques cerqueros pescando en el OPO. Si este proyecto tiene éxito, se incorporarán los resultados, al grado posible, en evaluaciones futuras del stock.

El personal de la CIAT piensa también elaborar métodos para estimar incertidumbre en cantidades basadas en RMS.

REFERENCES--REFERENCIAS

- Anonymous. 1999. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1997: 310 pp.
- Bayliff, W.H. 1979. Migrations of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean as determined from tagging experiments initiated during 1968-1974. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 17: 445-506.
- Bayliff, W.H. 1988. Growth of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin, *Thunnus albacares*, tunas in the eastern Pacific Ocean as estimated from tagging data. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 19: 307-385.
- Bayliff, W.H., and B.J. Rothschild. 1974. Migrations of yellowfin tuna tagged off the southern coast of Mexico in 1960 and 1969. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 16: 1-64.
- Blunt, C.E., Jr., and J.D. Messersmith. 1960. Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959. Calif. Fish Game 46: 301-369.
- Clark, W.G. 1991. Groundfish exploitation rates based on life history parameters. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 734-750.
- Deriso, R.B., R.G. Punsly, and W.H. Bayliff. A Markov movement model of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean and some analyses for international management. Fish. Res. 11: 375-395.
- Fink, B.D., and W.H. Bayliff. 1970. Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 15: 1-227.
- Fournier, D.A., J. Hampton, and J.R. Sibert. 1998. MULTIFAN-CL: a length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 2105-2116.
- Francis, R.I.C.C. 1993. Monte Carlo evaluation of risks for biological reference points used in New Zealand fishery assessments. In Risk evaluation and biological reference points for fisheries management, edited by S.J. Smith, J.J. Hunt, and D. Rivard. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120: 221-230.
- Hampton J. 2000. Natural mortality rates in tropical tunas: size really does matter. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 1002-1010.
- Hampton, J. and D.A. Fournier. 2000. Stock assessment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western and central Pacific Ocean using a spatially-disaggregated, length-based, age-structured model. Draft of a document to be presented to the Standing Committee on Tunas and Billfishes.
- Hunter, J.R., A.W. Argue, W.H. Bayliff, A.E. Dizon, A. Fonteneau, D. Goodman, and G.R. Seckel. 1986. The dynamics of tuna movements: an evaluation of past and future research. FAO Fish. Tech. Pap. 277: 1-78.
- Ishii, T. 1979. Attempt to estimate migration of fish population with survival parameters from tagging experiment data by the simulation method. Inves. Pesq. 43: 301-317.
- Kalnay, E. *et al.* 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77: 437-471.
- Mace, P.M. 1994. Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 110-122.
- Maunder, M. and G. Watters. 2000. A-SCALA: an age-structured statistical catch-at-length analysis for assessing tuna stocks in the eastern Pacific Ocean. Draft manuscript presented to the Scientific Working Group of the Inter-American Tropical Tuna Commission.

- Mizuno K., M. Okazaki, H. Nakano, and H. Okamura. 1997. Estimation of underwater shape of tuna longline by using micro-BTs. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.* 34: 1-24.
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 21: 205-272.
- Schaefer, M.B., B.M. Chatwin, and G.C. Broadhead. 1961. Tagging and recovery of tropical tunas, 1955-1959. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 5: 341-455.
- Thompson, G.G. 1993. A proposal for a threshold stock size and maximum fishing mortality rate. *In* Risk evaluation and biological reference points for fisheries management, edited by S.J. Smith, J.J. Hunt, and D. Rivard. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 120: 303-320.
- 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: 421-482.