

# STATUS OF BLUEFIN TUNA IN THE PACIFIC OCEAN

by

William H. Bayliff

## CONTENTS

1. Executive summary.....	211
2. Data.....	212
3. Assumptions and parameters .....	213
4. Stock assessment.....	215
5. Stock status .....	219
6. Future directions .....	220
Figures .....	221
Tables.....	232
References.....	253

### 1. EXECUTIVE SUMMARY

Most of the catches of bluefin, *Thunnus orientalis*, in the eastern Pacific Ocean (EPO) are taken by purse seiners. Nearly all of the purse-seine catch is made west of Baja California and California, within about 100 nautical miles of the coast, between about 23°N and 33°N. Lesser amounts of bluefin are caught by recreational, gillnet, and longline gear. Bluefin have been caught during every month of the year, but most of the fish are taken during May through October.

Bluefin are exploited by various gears in the western Pacific Ocean (WPO) from Taiwan to Hokkaido. Age-0 fish about 15 to 30 cm in length are caught by trolling during July-October south of Shikoku Island and south of Shizuoka Prefecture. During November-April age-0 fish about 35 to 60 cm in length are taken by trolling south and west of Kyushu Island. Age-1 and older fish are caught by purse seining, mostly during May-September between about 30°-42°N and 140°-152°E. Bluefin of various sizes are also caught by traps, gillnets, and other gear, especially in the Sea of Japan. Small amounts of bluefin are also caught near the southeastern coast of Japan by longlining.

The high-seas longline fisheries are directed mainly at tropical tunas, albacore, and billfishes, but small amounts of Pacific bluefin are caught by these fisheries. Small amounts of Pacific bluefin are also caught by Japanese pole-and-line vessels on the high seas.

Larvae of Pacific bluefin have been found only between the Philippines and southern Japan and in the Sea of Japan, and it is assumed that spawning occurs only in those areas. Some fish apparently remain their entire lives in the WPO. Others migrate to the EPO; these migrations begin mostly, or perhaps entirely, during the first and second years of life. The first- and second-year migrants are exposed to various fisheries before beginning their journey to the EPO. The migrants, after crossing the ocean, are exposed to commercial and recreational fisheries off California and Baja California. Eventually, the survivors return to the WPO.

Bluefin are most often found in the EPO in waters where the sea-surface temperatures (SSTs) are between 17° and 23°C. Fish 15 to 31 cm in length are found in the WPO in waters where the SSTs are between 24° and 29°C. The survival of larval and early juvenile Pacific bluefin is undoubtedly strongly influenced by the environment. Conditions in the WPO probably influence the portions of the juvenile fish there that move to the EPO, and also the timing of these movements. Likewise, conditions in the EPO probably influence the timing of the return of the juvenile fish to the WPO.

In the absence of evidence to the contrary, it has been assumed that there is a single stock of Pacific bluefin.

Various indices of abundance of Pacific bluefin in the EPO have been calculated, but none of these is entirely satisfactory. The IATTC has calculated “bluefin-vessel” and “habitat” indices for the EPO routinely for several years. No indices of abundance of bluefin are available for the WPO.

Even though the total catches of Pacific bluefin have not declined, the results of the yield-per-recruit and cohort analyses indicate that greater catches could be obtained if the catches of age-0 and age-1 fish in the EPO and WPO were reduced or eliminated.

The spawner-recruit analyses do not indicate that the recruitment of Pacific bluefin could be increased by permitting more fish to spawn.

## **2. DATA**

### **2.1. Definitions of the fisheries**

#### **2.1.1. Eastern Pacific Ocean**

Most of the catches of bluefin, *Thunnus orientalis*, in the eastern Pacific Ocean (EPO) are taken by purse seiners. Nearly all of the purse-seine catch is made west of Baja California and California, within about 100 nautical miles of the coast, between about 23°N and 33°N (Bayliff, 1994: Figure 1). Lesser amounts of bluefin are caught by recreational fishermen; this fishery is pursued in the same area, but mostly north of about 29°N. Small amounts of bluefin are caught off California by gillnet vessels fishing at least as far north as 39°N and by U. S. and Mexican longline vessels fishing west of California and northern Baja California, respectively. Bluefin have been caught during every month of the year, but most of the fish are taken during May through October (Bayliff, 1994: Figure 6 and Table 8).

#### **2.1.2. Western Pacific Ocean**

Bluefin are exploited by various gears in the western Pacific Ocean (WPO) from Taiwan to Hokkaido. Age-0 fish about 15 to 30 cm in length are caught by trolling during July-October south of Shikoku Island and south of Shizuoka Prefecture. During November-April age-0 fish about 35 to 60 cm in length are taken by trolling south and west of Kyushu Island. Age-1 and older fish are caught by purse seining, mostly during May-September between about 30°-42°N and 140°-152°E. Bluefin of various sizes are also caught by traps, gillnets, and other gear, especially in the Sea of Japan. Small amounts of bluefin are also caught near the southeastern coast of Japan by longlining.

#### **2.1.3. High seas**

The high-seas Japanese longline fishery (Uosaki and Bayliff, 1999), and also those of the Republic of Korea (Park *et al.*, 1994), Taiwan, and the United States (Ito and Machado, 1997) are directed mainly at tropical tunas, albacore, and billfishes, but small amounts of Pacific bluefin (Tomlinson, 1996) are caught by this fishery.

Small amounts of Pacific bluefin are also caught by Japanese pole-and-line vessels on the high seas (Bayliff *et al.*, 1991: Table 6).

### **2.2. Catch and effort data**

Catch data for all the major fisheries for Pacific bluefin are available for 1952-1998 (Table 2.2a), and data for the commercial and recreational fisheries of the EPO are available as far back 1918 and 1936, respectively (Bayliff, 1994: Table 7).

Bayliff (1996) discussed four indices of purse-seine fishing effort for bluefin in the EPO (Table 2.2b), but none of these is entirely satisfactory. His criteria for classification of boats as “bluefin vessels” was subsequently modified (Anonymous, 1997: pages 4-5). Tomlinson (1996) estimated the amount of effort by Japanese longline vessels in a “core area” (his Figure 13), in which most of the high-seas catches of bluefin by Japanese longline vessels are made, during 1952-1986. Effort data for the Hawaiian

longline fishery for 1991-1994, by 5-degree areas and quarters, are given by Curran *et al.* (1996). No effort data are available for any of the fisheries of the WPO.

### **2.3. Size composition data**

Length-frequency data for the purse-seine fishery of the EPO, which takes place in IATTC sampling area 1 (Anonymous, 2000: Figure 9), are available for 1923-1925, 1952-1971, and 1973-1999 (Bayliff, 1993: Table 1; Anonymous 1999a: Figure 8). Data for 1994-1999 are shown in Figure 2.3a, which includes measurements of fish caught by the recreational fishery.

Length-frequency data for the surface fisheries of the WPO are given by Yokota *et al.* (1961: 210) and Yukinawa and Yabuta (1967), and length and weight composition data for various fisheries of the WPO and CPO are given by Yamanaka (1958 and 1982), Nakamura (1969), and Shingu *et al.* (1974). Data for small and large fish caught by surface gear in the WPO and for fish caught by longline gear in the WPO and CPO are shown in Figures 2.3b, 2.3c, and 2.3d, respectively.

### **2.4. Auxiliary data**

The most important auxiliary data are probably those obtained from tagging of bluefin in the EPO and WPO with conventional tags (Bayliff *et al.*, 1991). Staff members of the National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF) of Japan have tagged bluefin in the WPO with archival tags, and data for 40 of these that were recaptured in the WPO and for 1 that was recaptured in the EPO have been obtained (Itoh *et al.*, 1999). It is anticipated that when more data from experiments with archival and/or pop-up tags are obtained the information from these will be valuable for stock assessment.

Oceanographic data have been used to calculate the “habitat indices” (of abundance) for bluefin in the EPO described in Section 4.1.

Data from aerial surveys over waters of the EPO (Squire, 1972, 1983, and 1993) have been used to calculate indices of abundance of bluefin in the EPO (Bayliff, 1996).

## **3. ASSUMPTIONS AND PARAMETERS**

### **3.1. Biological and demographic information**

#### **3.1.1. Growth**

Bayliff *et al.* (1991) used tag-and-recapture data to study the growth of Pacific bluefin, and found that it is best represented by a two-stanza model (Table 3.1.1a). For fish between 191 and 564 mm in length the Gompertz curve, with values of 581 mm and 4.32 for  $L_{\infty}$  and  $K$  (annual), respectively, is used. The fish between 564 and 1530 mm grow linearly, at the rate of 0.709 mm per day.

Data on the weight-length relationships of Pacific bluefin of various sizes in the EPO and the WPO are shown in Table 3.1.1b.

The growth and weight-length equations used to calculate estimates of the lengths and weights of fish at various ages for the yield-per-recruit and cohort analyses discussed in Section 4.2 are shown in Tables 3.1.1a and 3.1.1b.

#### **3.1.2. Reproduction**

Little is known of the reproduction of Pacific bluefin. Harada (1980) stated that spawning occurs at about 5 years of age, and that the lengths and weights of these fish are about 150 cm and 60 kg, respectively. According to Yamanaka and staff (1963), fish of 270 to 300 kg have about 10 million “eggs.” No information on the frequency of spawning is available.

#### **3.1.3. Movement**

The movements and migrations of immature Pacific bluefin tuna are discussed by Bayliff *et al.* (1991). Larvae of Pacific bluefin have been found only between the Philippines and southern Japan and

in the Sea of Japan, and it is assumed that spawning occurs only in those areas. Spawning occurs during the spring and summer, but in this section, for simplicity, it is assumed that the fish are hatched on January 1. Some fish apparently remain their entire lives in the WPO. Others migrate to the EPO; these migrations begin mostly, or perhaps entirely, during the first and second years of life. The first-year migrants are exposed to the summer and fall troll fisheries for small bluefin and other species off Japan before beginning their journey to the EPO in the fall or winter. The second-year migrants are also exposed to the winter troll fishery and other fisheries that take place in the vicinity of Japan before beginning their journey to the EPO in the spring, summer, or fall. The migrants, after crossing the ocean, are exposed to commercial and recreational fisheries off California and Baja California. Eventually, the survivors return to the WPO.

The catches of bluefin in the EPO consist mostly of age-1 and age-2 fish. The catches of age-2 fish in the EPO exceed those of age-2 fish in the WPO in most years, whereas the opposite is the case for age-3 fish (Table 3.1.3). This probably indicates that the population of age-2 fish is greater in the EPO and that that of age-3 fish is greater in the WPO, although it is possible that area- and/or size-related differences in fishing effort and/or vulnerability to capture are responsible for the differences in the catches. Studies of statistical, length-frequency, and tagging data have resulted in the formulation of the following scenarios for the migration of fish between the EPO and the WPO:

1. The fish arrive in the EPO as 1-year-olds during year  $i$ , mostly in June or July, and begin their return journey to the WPO as 2-year-olds late in year  $i + 1$  or as 3-year-olds early in year  $i + 2$ ;
2. The fish arrive in the EPO as 1-year-olds during year  $i$ , mostly in June or July, and begin their return journey to the WPO as 1-year-olds late in year  $i$  or as 2-year-olds early in year  $i + 1$ ;
3. The fish arrive in the EPO as 2-year-olds early in year  $i + 1$  and begin their return journey to the WPO as 2-year-olds late in year  $i + 1$  or as 3-year-olds early in year  $i + 2$ ;
4. The fish arrive in the EPO as 1-year-olds early in year  $i$  and begin their return journey as older fish;
5. The fish arrive in the EPO as 2-year-olds early in year  $i + 1$  and begin their return journey as older fish;
6. The fish arrive in the EPO at ages greater than 2 and subsequently return to the WPO;
7. The fish do not migrate to the EPO at all.

Scenario 7 probably applies to most of the fish of some year classes. This could at least partly explain the reduced catches of bluefin in the EPO during the 1980s and 1990s. An eighth scenario is a combination of Scenarios 1, 2, 3, 4, or 5 with Scenario 6, *i.e.* the fish migrate more than once from the WPO to the EPO.

The above does not take into account the possibility that some fish may begin trans-Pacific migrations, but turn back before reaching their destination. The fact that bluefin tuna nearly disappear from the EPO during the winter and early spring may indicate that these fish occupy areas outside the range of the surface fishery during this period. Considerably more data for the central Pacific Ocean (CPO) would be required to establish whether this occurs and, if so, to what extent.

Tomlinson (1996) discusses the movements of adult Pacific bluefin on the high seas, as inferred from data for the Japanese high-seas longline fishery. The fish are distributed furthest to the west during the spring and furthest to the east during the fall (Figure 3.1.3). It is not surprising that the fish are concentrated in the vicinity of Japan during the spring, as bluefin spawn mostly during the spring, and bluefin larvae have been found only in the open ocean between the Philippines and southern Japan during the spring and in the Sea of Japan during the summer. Exceptionally large bluefin were caught by purse seiners in the EPO during November and December of 1988 (Foreman and Ishizuka, 1990). These fish may

have appeared in the EPO fishery because they were distributed further to the east during the fall of 1988 than is usually the case.

#### **3.1.4. Natural mortality**

Bayliff *et al.* (1991) used the method of Pauly (1980) to obtain an estimate of 0.276, with 90-percent confident limits of about 0.161 and 0.471, for the coefficient of annual natural mortality of Pacific bluefin in the range of about 16 to 153 cm. It is likely, however, that the natural mortality varies with age, being greater for young and very old fish than for fish of intermediate ages.

#### **3.1.5. Stock structure**

Spawning of Pacific bluefin occurs between southern Japan and the Philippines and in the Sea of Japan. In the absence of evidence to the contrary, it has been assumed that these constitute a single stock. Tagging data (Bayliff *et al.*, 1991) seem to indicate that there are not separate migrant and non-migrant stocks.

### **3.2. Environmental influences**

According to Bell (1963), bluefin are most often found in the EPO in waters where the sea-surface temperatures (SSTs) are between 17° and 23°C. Fish 15 to 31 cm in length are found in the WPO in waters where the SSTs are between 24° and 29°C (Bayliff, 1994).

The survival of larval and early juvenile Pacific bluefin is undoubtedly strongly influenced by the environment, but no data on this are available. Conditions in the WPO probably influence the portions of the juvenile fish there that move to the EPO, and also the timing of these movements. Likewise, conditions in the EPO probably influence the timing of the return of the juvenile fish to the WPO.

## **4. STOCK ASSESSMENT**

### **4.1. Indices of abundance**

The following indices of abundance, which are shown in Table 4.1, have been calculated for bluefin in the EPO:

1. catch

- a. commercial catch (Calkins, 1982)

- b. recreational catch (Bayliff, 1996)

2. catch per unit of effort

- a. Calkins index – Calkins (1982) decided that all purse-seine effort would be considered to be bluefin effort unless (1) it was exerted south of 23°N or in the Gulf of California, (2) it was exerted during the November-April period, or (3) it was exerted in a 1-degree area-month stratum in which no sets directed at bluefin were made. The catches of bluefin north of 23°N and west of California and Baja California during May-October of each year were divided by the bluefin effort to obtain catches per unit of effort (CPUEs) of bluefin.

- b. bluefin-vessel index – Bayliff (1996) designated all tuna purse-seine vessels as “bluefin vessels” or “non-bluefin vessels,” on the basis of their catches of bluefin during five-year periods. He then divided the *total commercial catches of bluefin* during each year by the corresponding number of bluefin vessels to obtain CPUEs of bluefin by those vessels (Figure 4.1: upper panel). This index was subsequently modified, as described by Anonymous (1997: 4-5). The criteria for classification of boats as “bluefin vessels” was changed, and the index is now calculated by dividing the *total catches of bluefin by bluefin vessels* during each year by the corresponding number of such vessels.

- c. bluefin habitat index – Since Bell (1963) had demonstrated that bluefin are most often found in waters where the SSTs are between 17° and 23°C, Bayliff (1996) considered the 1-degree areas north of

23°N and west of California and Baja California in which the SSTs were in that range during May through October to be “bluefin habitat.” He then divided the catches of bluefin in those 1-degree areas during each year by the corresponding numbers of unstandardized days of fishing effort to obtain CPUEs of bluefin (Figure 4.1: lower panel).

3. aerial surveys – Bayliff (1996) discussed the use of data from aerial surveys conducted by the U.S. National Marine Fisheries Service during 1962-1990 (Squire, 1972, 1983, and 1993) as indices of abundance. Such surveys are still being conducted. These results could be valuable, because there is anecdotal evidence that bluefin are often difficult or impossible to catch with purse-seine gear when they are relatively abundant. It should be noted, however, that the aerial survey indices are extremely low for some years in which substantial catches have been made (Table 4.1). Also, the survey aircraft do not search south of 28°N.

## 4.2. Assessment models

### 4.2.1. Yield-per-recruit analyses

Yield-per-recruit analyses for Pacific bluefin are described by Anonymous (1994). These require a vector of estimates of the weights of the individual fish from the time they are recruited into the fishery until the time they disappear from it and vectors of the natural and fishing mortalities during that period. A vector of weights, calculated from the data in Table 3.1.1a, is shown in Table 4.2.1a, and vectors of fishing and natural mortality, which are little more than guesses, are shown in Tables 4.2.1b and 4.2.1c. It is assumed that the fish either remain in the western Pacific Ocean throughout their lives (Option 0), begin a west-east migration during their first year of life and then begin an east-west migration during their third year of life (Option 1), or begin a west-east migration during their second year of life and then begin an east-west migration during their third year of life (Option 2). The corresponding values of  $F$  were set at 0.4 for periods of substantial catches, 0.0 for periods of zero or very low catches, and 0.2 for periods of transition. Graphs showing the yields per recruit obtainable with different ages of entry into the fishery, different vectors of natural mortality, and three multipliers of the vectors of fishing effort are shown in Figure 4.2.1. Because the values of the natural and fishing mortality, especially the latter, are little more than guesses, the results of these analyses should not be taken literally. In every case the data show that the maximum yields per recruit are obtainable with ages at entry of 3 to 5 years (lengths of about 108 to 159 cm and weights of about 26 to 78 kg. With natural mortality rates of 0.6, 0.5, 0.4, and 0.3 for age-0, age-1, age-2, and older fish, respectively ( $M$  vector 6 in Figure 4.2.1), the curves are relatively flat, especially for the lowest level of fishing effort. If such is the case, not much increase in the catch would be expected if the age at entry were increased. This vector and  $M$  vector 3 were selected to illustrate extreme cases;  $M$  vectors 2 and 5 are probably more realistic, assuming that the natural mortality decreases with age.

### 4.2.2. Cohort analyses

Cohort analyses for Pacific bluefin were carried out with data for the 1966-1986 period. Data on the quarterly catches in the EPO were obtained from Bayliff (1993: Appendix 1). Annual catch data for fish of the various age groups for the WPO were obtained from Bayliff (1994: Table 12). The quarterly catches for the first, second, third, and fourth quarters were estimated by multiplying the annual catches by 0.10, 0.30, 0.50, and 0.10, respectively. Data on the average weights of the fish are given in Table 4.2.1a. Because of lack of information on natural mortality, six trial vectors of natural mortality,  $M$  (Table 4.2.1c), were used. The analyses were conducted for 37 cohorts (1950 through 1986). The estimations were carried out using backward calculations, so it was necessary to estimate the final fishing mortality rate ( $F$ ) for each of the cohorts. The final values of  $F$  were selected by a dual procedure that consisted of (1) estimating the minimum recruitment by choosing a high final value of  $F$  and (2) comparing the within-quarter values of  $F$  for different cohorts of the same age and adjusting them to obtain what appeared to be reasonable values. The objective of this type of search is to reduce the differences among the  $F$  values for fish of similar ages being fished at the same time. This procedure does not have an algorithm

that would allow different users to arrive at identical answers, so it is somewhat subjective. The method works well for cohorts with long catch histories, *e.g.* those of 1959 through 1981, but less well for the others.

The cohort analyses produced estimates of the recruitment during each year of the 1966-1986 period and the values of  $F$  for each age group during each quarter of that period. These estimates were combined with estimates of  $M$  (Table 4.2.1c) to estimate the catches obtainable for the 1966-1986 period with various combinations of  $M$ , multipliers of  $F$ , and age at entry into the fishery (Figure 4.2.2). (A multiplier of 1 for  $F$  corresponds to the best estimate of the average  $F$  that existed during this period.) With a multiplier of 1 the catch would have been greater in every case if the age at entry were increased from age 0 to age 1, age 2, or age 3. The gains would be greater for natural mortality vectors 1, 2, or 3 than for natural mortality vectors 4, 5, or 6. If the natural mortality vector is 1, 2, or 3 and the age at entry is to remain at 0 or to be increased to 1, greater catches would be realized if the effort were reduced to about half its present level. With natural mortality vectors 4, 5, or 6, however, reduction in effort to half its present level would result in little or no increase in catch (age at entry = 0) or a decrease in catch (age at entry = 1).

#### **4.2.3. Spawner-recruit and recruit-spawner relationships**

Exploitation of a stock of fish reduces the population size, and consequently the numbers of spawners and of eggs produced. If the number of eggs produced is sufficiently reduced, the numbers of recruits to the fishery will also be reduced. When that happens, recruitment overfishing is said to occur. Fortunately, reduction of the numbers of eggs produced does not always reduce the numbers of recruits because, in general, the survival rates of larval and early-juvenile fish are greater when their numbers are reduced. One of the goals of stock assessment is to determine the point at which reduction of the number of spawners is sufficient to reduce the numbers of recruits to the fishery. If and when this point is determined, the fishery can be managed so as to maintain the number of spawners at or above that critical level. (This is not the only goal of stock assessment and management. For example, even if the number of spawners is sufficient, it may be necessary to manage the fishery so as to minimize the capture of small fish, as greater yields per recruit can usually be obtained if the smaller fish are allowed to grow larger before they are harvested.)

Spawner-recruit analyses involve comparison of the numbers of recruits produced at various levels of spawning to attempt to determine, among other things, the level at which a stock should be maintained to avoid recruitment overfishing. Recruit-spawner analyses involve comparison of the numbers of eggs produced by a stock of fish under exploited and unexploited conditions to attempt to determine schemes for exploiting the stock without causing recruitment overfishing.

##### **4.2.3.1. Spawner-recruit relationship**

Good estimates of the numbers or densities of spawners and recruits of bluefin in the Pacific Ocean are not available. The best available substitute for the latter is the catches of age-0 bluefin, in numbers of fish, in the WPO (Table 3.1.3). These provide a valid index of the recruitment if the fishing effort and vulnerability of the fish to capture did not change during the period in question. No information about these is available, however. If they provide an adequate index of recruitment of bluefin, there does not seem to be a relationship between spawning and recruitment *within the range of abundance of spawners observed*.

##### **4.2.3.2. Recruit-spawner relationship**

The reduction in spawning potential when a stock of fish is exploited can be expressed as the ratio between the number of eggs produced when the stock is exploited and the number of eggs produced in the absence of exploitation. This ratio, called the spawning potential ratio (SPR) by scientists who have studied the recruit-spawner relationships of other species of fish, can be estimated by estimating the relative numbers of eggs produced from estimates of the relative weights of the stock of mature fish in the

population under exploited and unexploited conditions and calculating the ratio of the former to the latter. The following requirements must be satisfied:

1. The growth of the fish is not affected by the population density.
2. The ratio of males to females is not affected by exploitation that changes the age composition of the stock.
3. The numbers of eggs produced per year by the females are proportional to their weights.
4. The quality of the germ cells (eggs and spermatozoa) does not differ for fish of different ages.

This method was applied to bluefin in the Pacific Ocean, using growth and mortality data listed in Tables 3.1.1, 4.2.1b, and 4.2.1c. In the absence of information to the contrary, it was assumed that the four requirements listed above are satisfied. It was assumed that the fish either remain in the WPO throughout their lives (Option 0), begin a west-east migration to the EPO during their first year of life and then begin an east-west migration to the WPO during their third year of life (Option 1), or begin a west-east migration during their second year of life and then begin an east-west migration during their third year of life (Option 2). The annual coefficients of fishing mortality were set at 0.4 for periods of substantial catches, 0.0 for periods of zero or very low catches, and 0.2 for periods of transition. The two principal values of natural mortality, 0.2 and 0.3, were selected to bracket the estimate of 0.276 given in Section 3.1.4. In addition, because it seems likely that the natural mortality decreases with age, somewhat higher values were substituted for 0.2 and 0.3 for the early years of life. It was also assumed that the fish reach maturity at 5 years of age. Finally, it was assumed that the fish remaining alive through their 14th year of life die on their 14th birthday.

The relative weights of the stock of mature bluefin under exploited and unexploited conditions and the corresponding SPRs are shown in Table 4.2.3.2. It can be seen that relative weights of the stock of exploited mature fish are much less than those of the stock of unexploited mature fish, and that the SPRs are low, ranging from 0.05 to 0.23. It can also be seen that the SPRs are considerably greater for Options 1 and 2 than for Option 0. This is because it was assumed that the fishing mortality rate is less in the EPO than in the WPO during some quarters and that there is no fishing mortality on fish that are crossing the ocean. It apparently takes a fish about two years to migrate from the EPO to the WPO (Bayliff *et al.*, 1991: Table 9), so it was assumed that there is no fishing mortality for the migrants (Options 1 and 2) during the period between their third and fifth birthdays (Table 4.2.1c).

It has been suggested (Goodyear, 1990) that, as a rule of thumb, SPRs should be maintained at levels greater than 0.20. Most of the estimates of the SPRs for bluefin calculated above are less than 0.20, but there is no evidence that this has reduced the recruitment.

#### **4.2.4. Predicting the abundance of bluefin**

Age composition data (Table 3.1.3) provide data with which to examine the possibility that the abundance of bluefin in the EPO can be predicted. Correlation coefficients were calculated for 12 pairs of data (Table 4.2.4, upper panel) obtained from Table 3.1.3. Six of the 12 tests produced absolute values of  $r$  greater than 0.4. The numbers of age-2 fish in the EPO and WPO are negatively correlated (Test 6), indicating that the poor catches in the EPO could be due at least partly to less-than-normal proportions of the total population migrating from the WPO to the EPO. The catches of age-1 and -2 fish in the EPO are positively correlated (Test 7), indicating that the catch of age-2 fish in the EPO can be predicted, albeit poorly, from the catch of age-1 fish in the EPO one year previously. The catches of age-0 and -1 fish in the WPO are highly correlated (Test 8), indicating that the catch of age-1 fish in the WPO can be predicted from the catch of age-0 fish in the WPO one year previously.

Test 11 gave an  $r$  value that is significant at the 1-percent level, which is not surprising in view of the fact that an even higher  $r$  value was obtained from Test 8. An  $r$  value that is significant at the 5-

percent level was obtained for Test 12; this, also, is not surprising in view of the fact that a value that is nearly significant was obtained from Test 2.

The coefficient of correlation for the catches of age-0 fish in the WPO and the catches of age-2 fish in the EPO two years later is 0.442 (Table 4.2.4, Test 2). Although this relationship is not significant at the 5-percent level, it may indicate that the catch of age-2 fish in the EPO is related to recruitment two years previously, assuming that the catch of age-0 fish in the WPO is a valid index of recruitment. Since the catch of age-2 fish in the EPO appears to be related to the recruitment two years previously (Test 2) and the catch of age-2 fish in the WPO in the same year (Test 6), a multiple correlation coefficient was calculated (Test 13). The resulting coefficient of multiple determination is highly significant, indicating that 55.7 percent ( $0.746^2 \times 100$ ) of the variation of the catches of age-2 fish in the EPO is explained by (1) a positive relationship to recruitment in the WPO and (2) a negative relationship to the catch of age-2 fish in the WPO. Since the catches of age-2 fish make up the majority of the catch by weight in the EPO in most years, recruitment two years previously and emigration from the WPO appear to have major influences on the total catches in the EPO.

#### **4.3. Comparisons to external data sources**

Estimates of the growth of Pacific bluefin obtained by analyses of hard-part, length-frequency, and tagging data appear in Bayliff (1994: Table 1) and in Foreman (1996: Table 6). These do not agree closely with one another, nor with the two-stanza relationship of Bayliff *et al.* (1991).

#### **4.4. Sensitivity to assumptions**

As mentioned in Section 4.3, the various estimates of the growth of Pacific bluefin do not agree with one another. These differences are not sufficient, however, to cause serious differences in the results of age-structured modeling obtained with different parameters of growth. In contrast, different vectors of age-specific natural mortality (Table 4.2.1c) produce considerably different results of age-structured modeling (Figures 4.2.1 and 4.2.2).

### **5. STOCK STATUS**

#### **5.1. Comparisons between the results for the current year and those for previous years**

The conclusions resulting from the analyses described in this report are essentially the same as those presented in Annual Reports of the IATTC for previous years.

#### **5.2. Comparisons between the results for the current year and management objectives**

The IATTC Convention states that the objective of the IATTC staff, as far as management is concerned, is to “recommend ... proposals ... designed to keep the populations of fishes covered by this Convention at those levels of abundance which will permit the maximum sustained catches.” Section 5.3 describes how that objective might be realized.

#### **5.3. Summary statement**

The total catches of Pacific bluefin by all gear have not declined (Table 2.2a), but during the 1952-1986 period the catches in the core areas by the longline fishery declined precipitously, while the effort in that area declined less precipitously (Tomlinson, 1996: Tables 1 and 4). This probably indicates that large bluefin became less abundant during the 1952-1986 period. The catches of juvenile fish in the EPO were less during the 1980s and 1990s than during the 1950s, 1960s, and 1970s, but this decline could be at least partly due to the decline in the numbers of bluefin vessels in the EPO, as neither the bluefin-vessel index nor the habitat index indicates a decline in the abundance of fish. Also, it is possible that long-term changes in oceanographic conditions have affected the proportions of the juveniles that migrate from the WPO to the EPO and/or the average length of the sojourn in the EPO.

Even though the total catches of Pacific bluefin have not declined, the results of the yield-per-recruit and cohort analyses indicate that greater catches could be obtained if the catches of age-0 and age-1 fish in the EPO and WPO were reduced or eliminated.

The spawner-recruit analyses do not indicate that the recruitment of Pacific bluefin could be increased by permitting more fish to spawn.

## **6. FUTURE DIRECTIONS**

### **6.1. Collection of new and/or updated information**

Better catch and effort data and size-frequency data are needed for the WPO. The acquisition of such data would make it possible to calculate indices of abundance for the WPO and to perform cohort analyses for the WPO and for the entire Pacific Ocean.

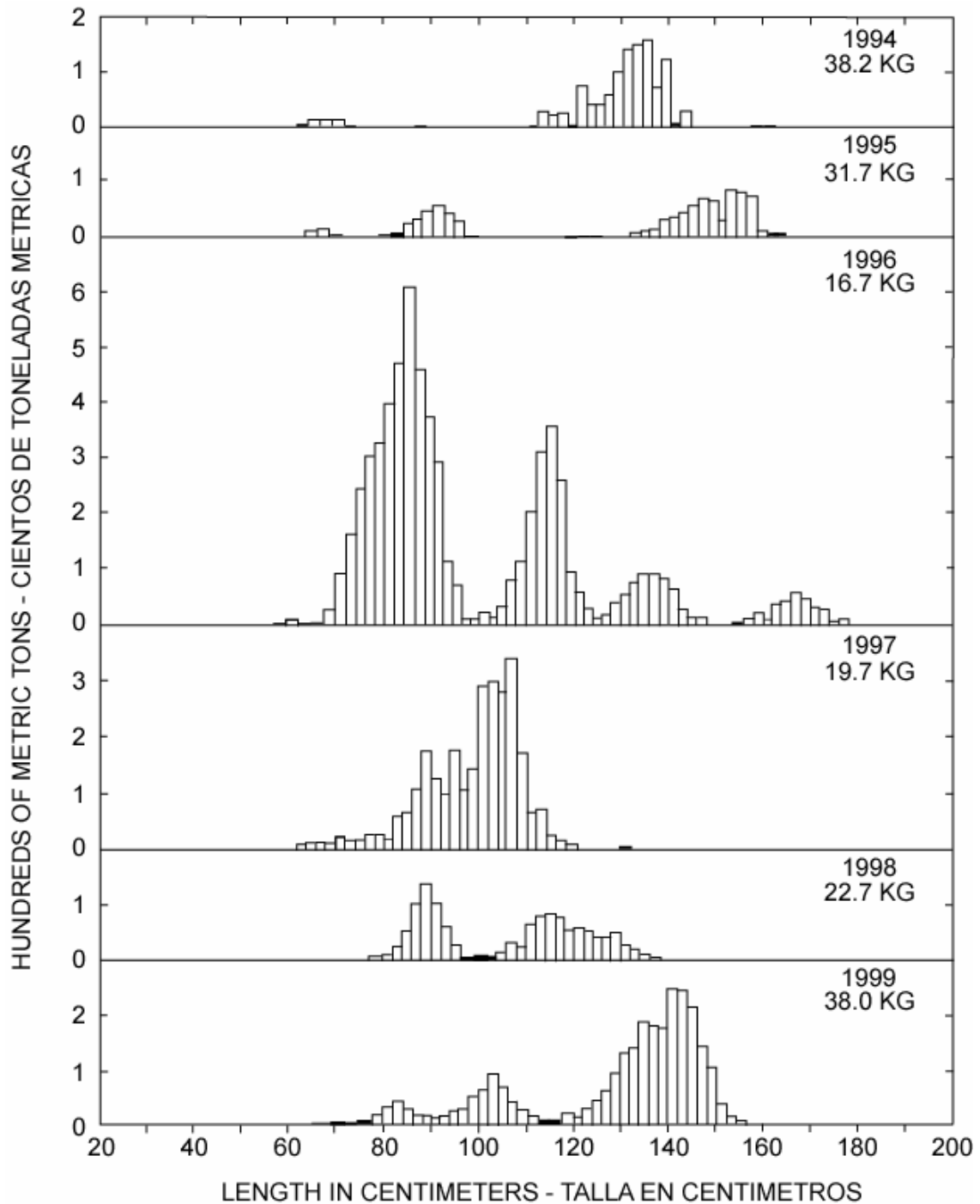
Reliable estimates of the age-specific natural mortality are urgently needed. The present estimates, which are little more than guesses, could probably be improved if better catch and effort data and size-frequency data for the WPO were available.

Little is known about migration between the WPO and the EPO. Studies of the oceanography of the WPO, coupled with information on migration from the WPO to the EPO, might yield information on what causes the fish to migrate and on the timing of the migrations. Conventional tags, at best, give only information on locations and dates of release and recapture and sizes of the fish at release and recapture. All of the releases have taken place in the EPO or the WPO, and the great majority of the recaptures have been made in the EPO or the WPO. Archival and pop-up tags yield much more information. Archival tags give the position of the fish at frequent intervals between release and recapture, so it is possible to tell when the transoceanic migrations were begun and completed and where the fish are when they are in transit. Pop-up tags can be programmed to come to the surface at specified intervals so it is possible to tell where the fish were at various intervals after release. The archival tags give more information, but the recovery rate is only about 5 to 10 percent. The recovery rates for the pop-up tags would be 100 percent, provided they are properly made and the detection equipment works properly.

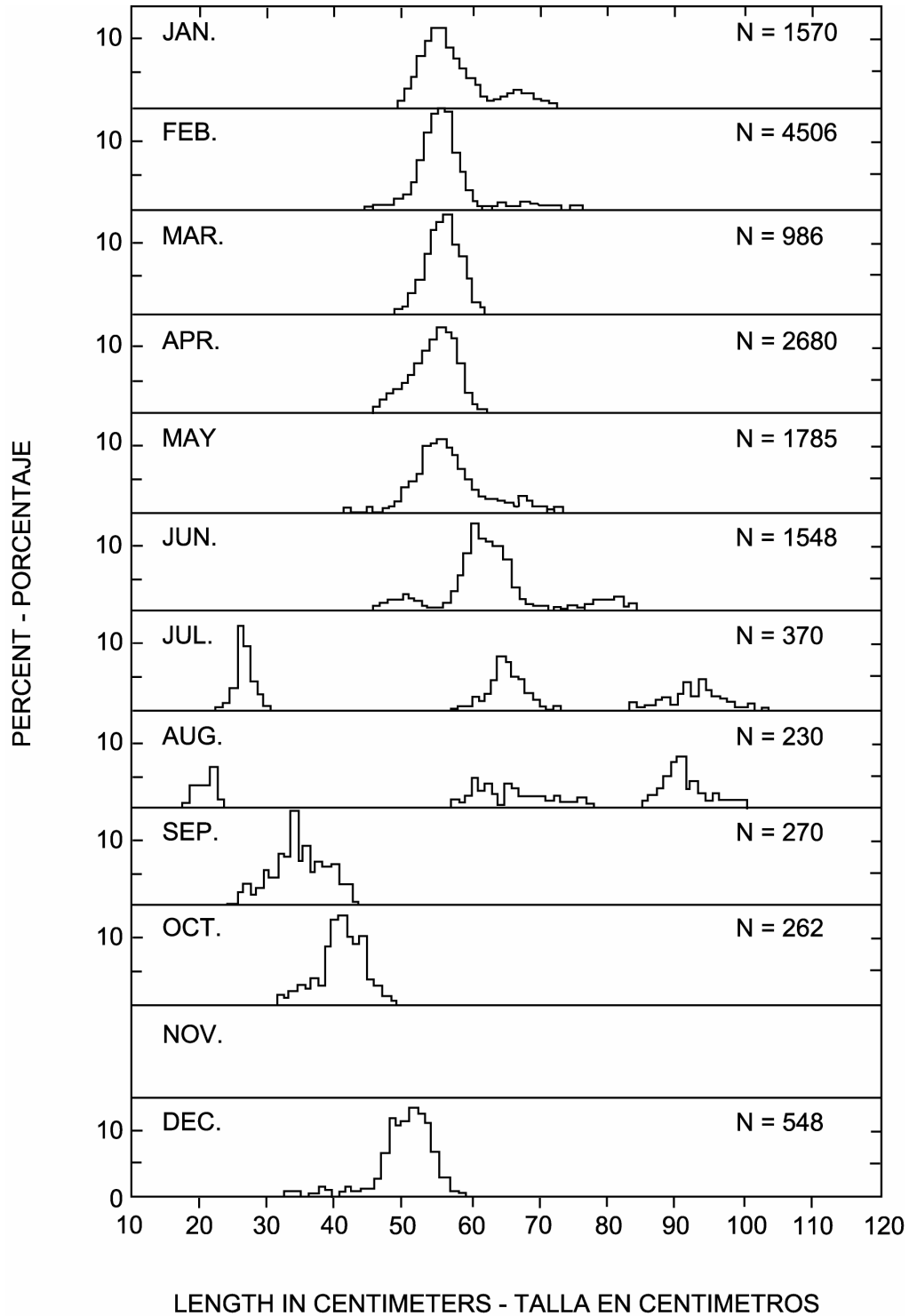
It may be possible to collect better catch and effort and size-frequency data, particularly that for the WPO, for previous years. The length-frequency data for purse seine-caught and sport-caught fish for the EPO should be separated, and the possibility of obtaining more reliable catch and effort data for the sport fishery of the EPO for previous years should be explored.

### **6.2. Refinements to assessment models and methods**

If better data, as discussed in Section 6.1, were available it would be possible to calculate better indices of abundance and perform more reliable yield-per-recruit, cohort, and spawner-recruit analyses.

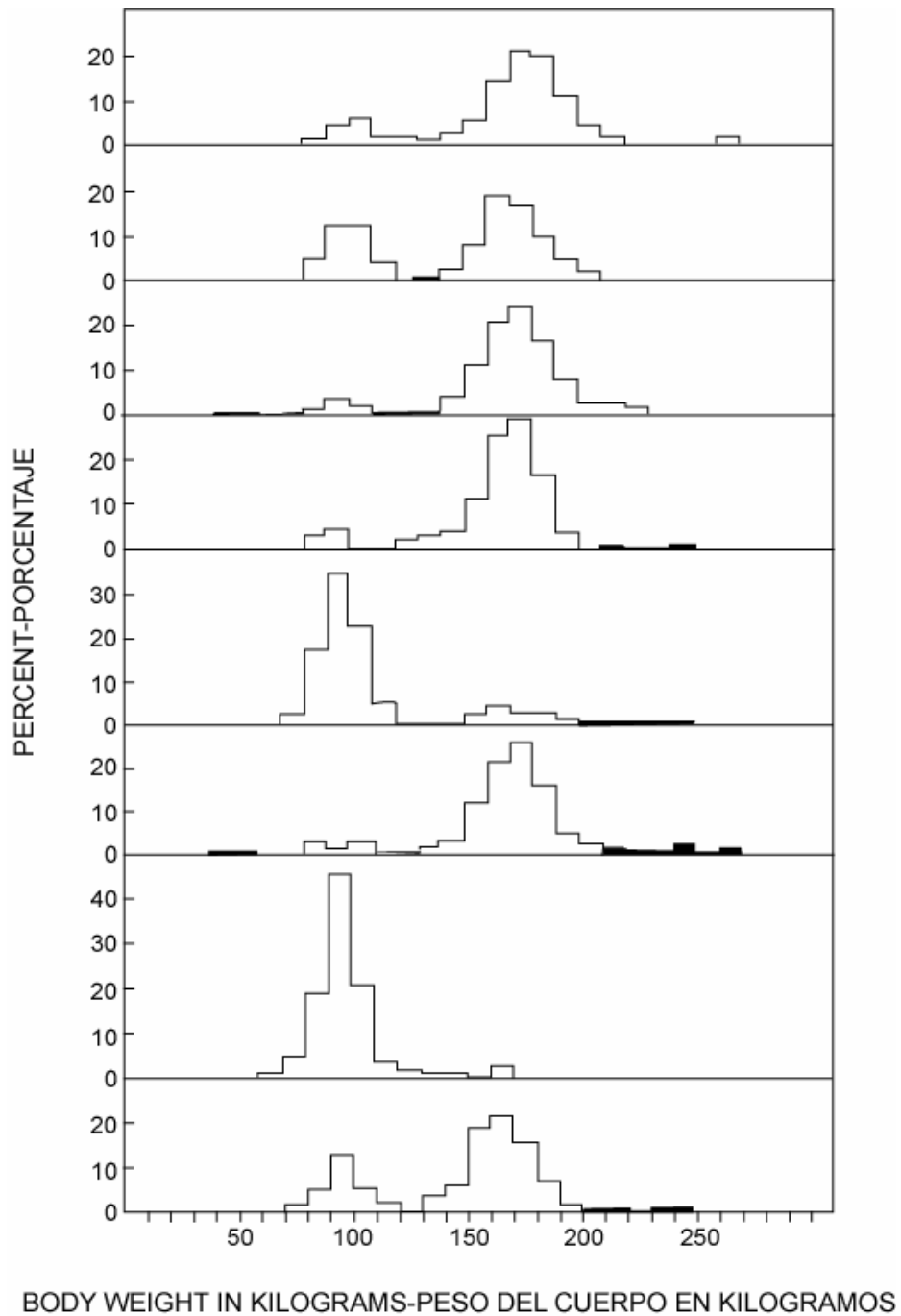


**FIGURE 2.3a.** Estimated catches of Pacific bluefin by surface gear in the eastern Pacific Ocean (from Anonymous, 1999a: Figure 8). The values in the upper right corners of the panels are average weights.  
**FIGURA 2.3a.** Capturas estimadas de aleta azul del Pacífico por artes de superficie en el Océano Pacífico oriental (de Anónimo, 1999a: Figura 8). El valor en la esquina superior derecha de cada recuadro representa el peso medio.



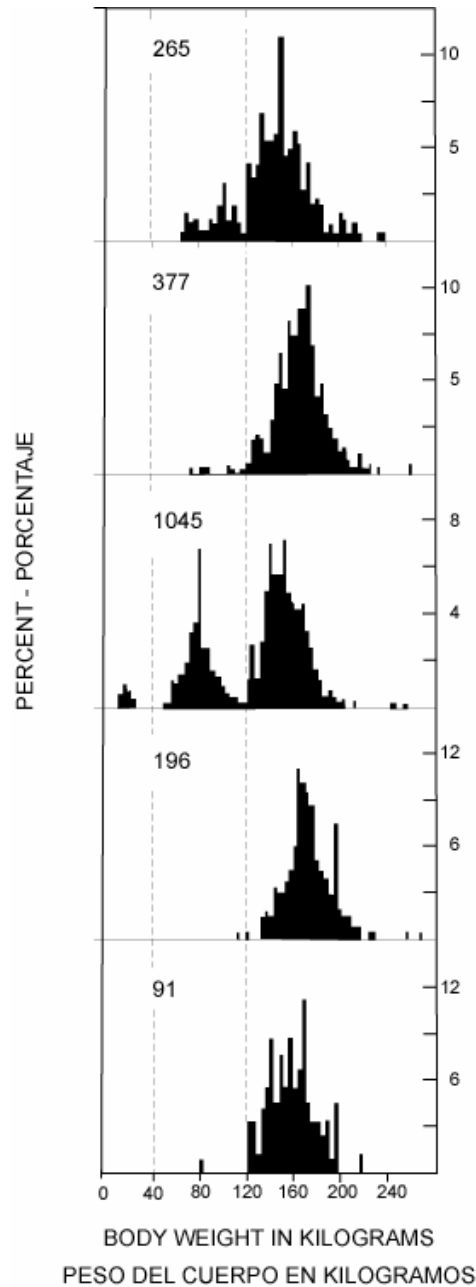
**FIGURE 2.3b.** Length frequencies of Pacific bluefin caught by surface gear south of Kyushu during 1953-1963 (after Yukinawa and Yabuta, 1967). The values in the upper right corners of the panels are sample sizes.

**FIGURA 2.3b.** Frecuencias de talla de aleta azul del Pacífico capturado con artes de superficie al sur de Kyushu durante 1953-1963 (de Yukinawa and Yabuta, 1967). El valor en la esquina superior derecha de cada recuadro representa el tamaño de la muestra.



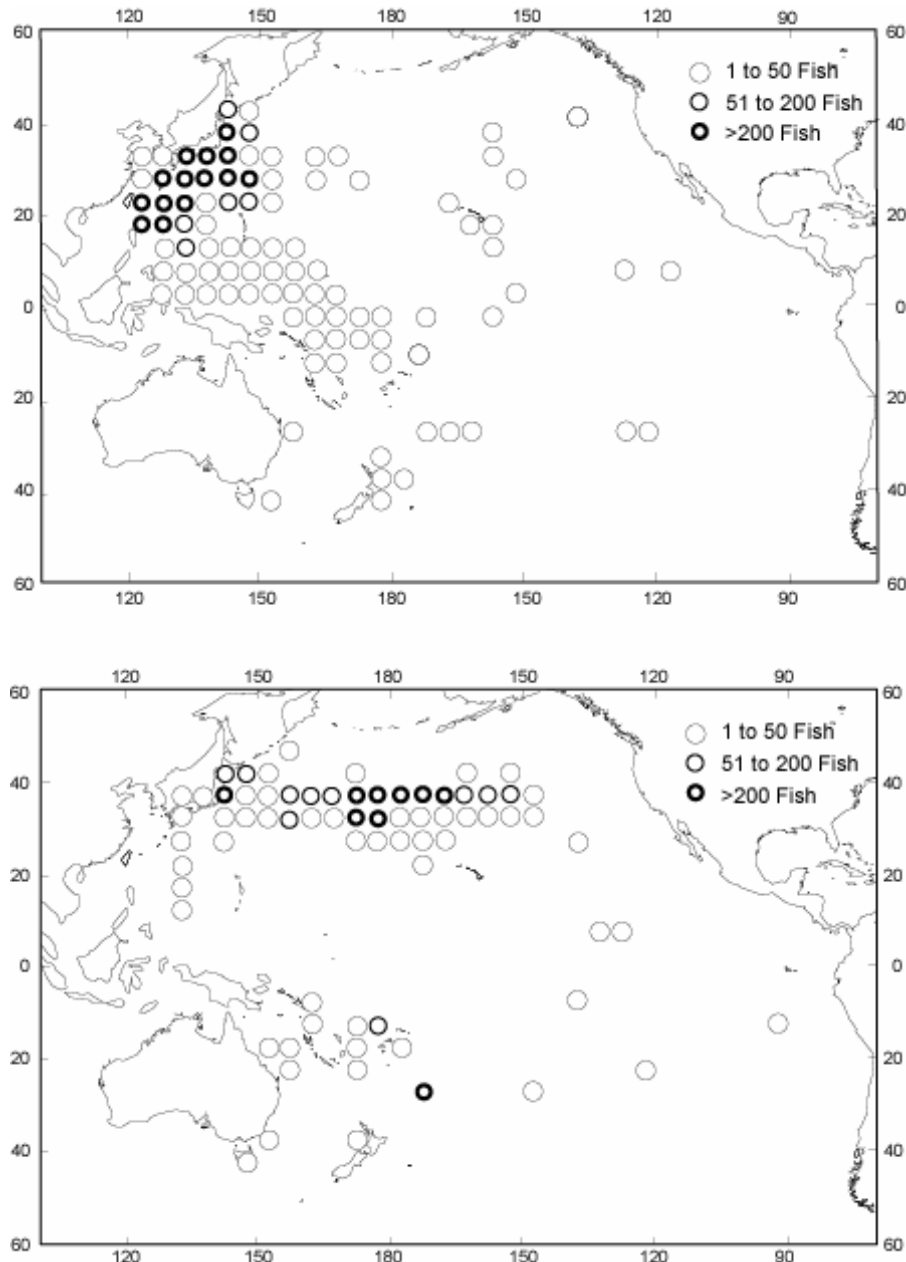
**FIGURE 2.3c.** Weight frequencies of Pacific bluefin caught by purse-seine vessels in the Tsushima Strait (34°N-130°E) during June and July 1981 (after Yamanaka, 1982: Figure 57).

**FIGURA 2.3c.** Frecuencias de peso de aleta azul del Pacífico capturado por buques cerqueros en el Estrecho de Tsushima (34°N-130°E) durante junio y julio de 1981 (de Yamanaka, 1982: Figura 57).



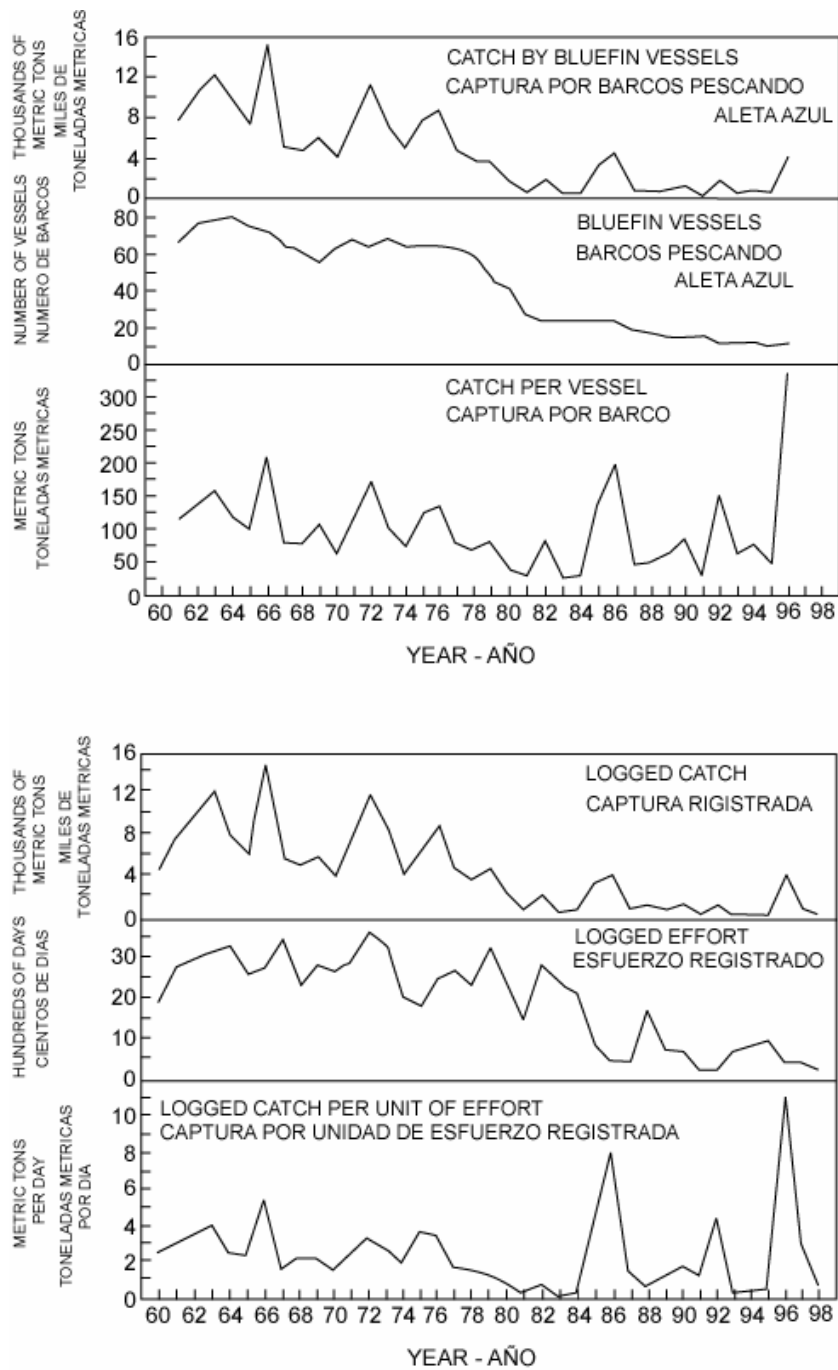
**FIGURE 2.3d.** Weight frequencies of Pacific bluefin caught by longline vessels in the western Pacific Ocean in 1966 (after Shingu *et al.*, 1974). The values in the upper left corners of the panels are sample sizes. The boundaries of the areas are as follows: A, 25°N-35°N and 120°E-140°E; B, 10°N-25°N and 120°E-140°E; C, 25°N-45°N and 140°E-160°W; D, 15°S-15°N and 140°E-160°W; E, 50°S-20°S and 140°E-180°.

**FIGURA 2.3d.** Frecuencias de peso de aleta azul del Pacífico capturado por buques palangreros en el Océano Pacífico occidental en 1966 (de Shingu *et al.*, 1974). El valor en la esquina superior derecha de cada recuadro representa el tamaño de la muestra. Los límites de las zonas son: A, 25°N-35°N y 120°E-140°E; B, 10°N-25°N y 120°E-140°E; C, 25°N-45°N y 140°E-160°W; D, 15°S-15°N y 140°E-160°O; E, 50°S-20°S y 140°E-180°.



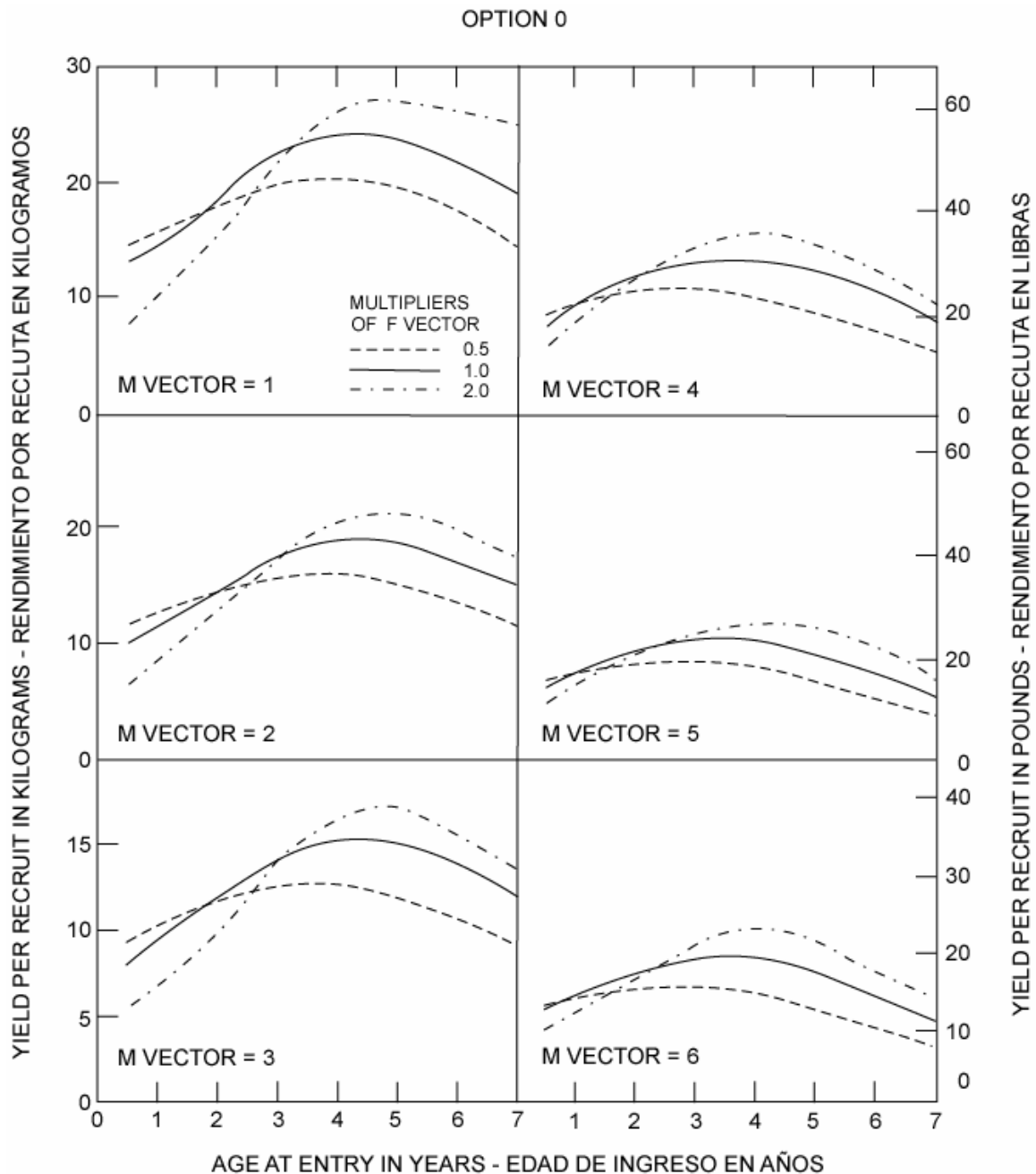
**FIGURE 3.1.3.** Areas of the Pacific Ocean where catches of bluefin were taken by Japanese longline vessels during May (upper panel) and November (lower panel) of the 1959-1972 period. The values in the upper right corners of the maps indicate the total numbers of fish caught in the 1-degree areas during the 14-year period.

**FIGURA 3.1.3.** Zonas del Océano Pacífico donde barcos palangreros japoneses capturaron aleta azul en mayo (recuadro superior) y noviembre (recuadro inferior) durante 1959-1972. Los valores en la esquina superior derecha de cada mapa indican los números totales de peces capturados en las zonas de 1° durante esos años.



**FIGURE 4.1.** Catch, effort, and catch-per-unit of effort data for the surface fishery for bluefin in the EPO, as determined by the bluefin vessel index method (upper panel) and the habitat index method (lower panel). The data for 1996 (upper panel) and 1998 (lower panel) are preliminary.

**FIGURA 4.1.** Datos de captura, esfuerzo, y captura por unidad de esfuerzo para la pesquería de superficie de aleta azul en el OPO, calculados con el método de índice de barcos que pescan aleta azul (recuadro superior) y el método de índice del hábitat (recuadro inferior). Los datos de 1996 (recuadro superior) y 1998 (recuadro inferior) son preliminares.



**FIGURE 4.2.1.** Yield-per-recruit curves for Pacific bluefin, based on the data in Tables 4.2.1b and 4.2.1c. The values, 0.5, 1.0, and 2.0, represent multipliers of the vectors of fishing mortality shown in Table 4.2.1b. The horizontal portions of the curves are caused by lack of fishing effort during those periods.

**FIGURA 4.2.1.** Curvas de rendimiento por recluta correspondientes al aleta azul de Pacífico, basadas en los datos de las Tablas 4.2.1b y 4.2.1c. Los valores de 0,5, 1,0, y 2,0 representan multiplicadores de los vectores de mortalidad por pesca presentados in la Tabla 4.2.1b. Las porciones horizontales de las curvas resultan de la falta de esfuerzo de pesca en esos periodos.

OPTION 1

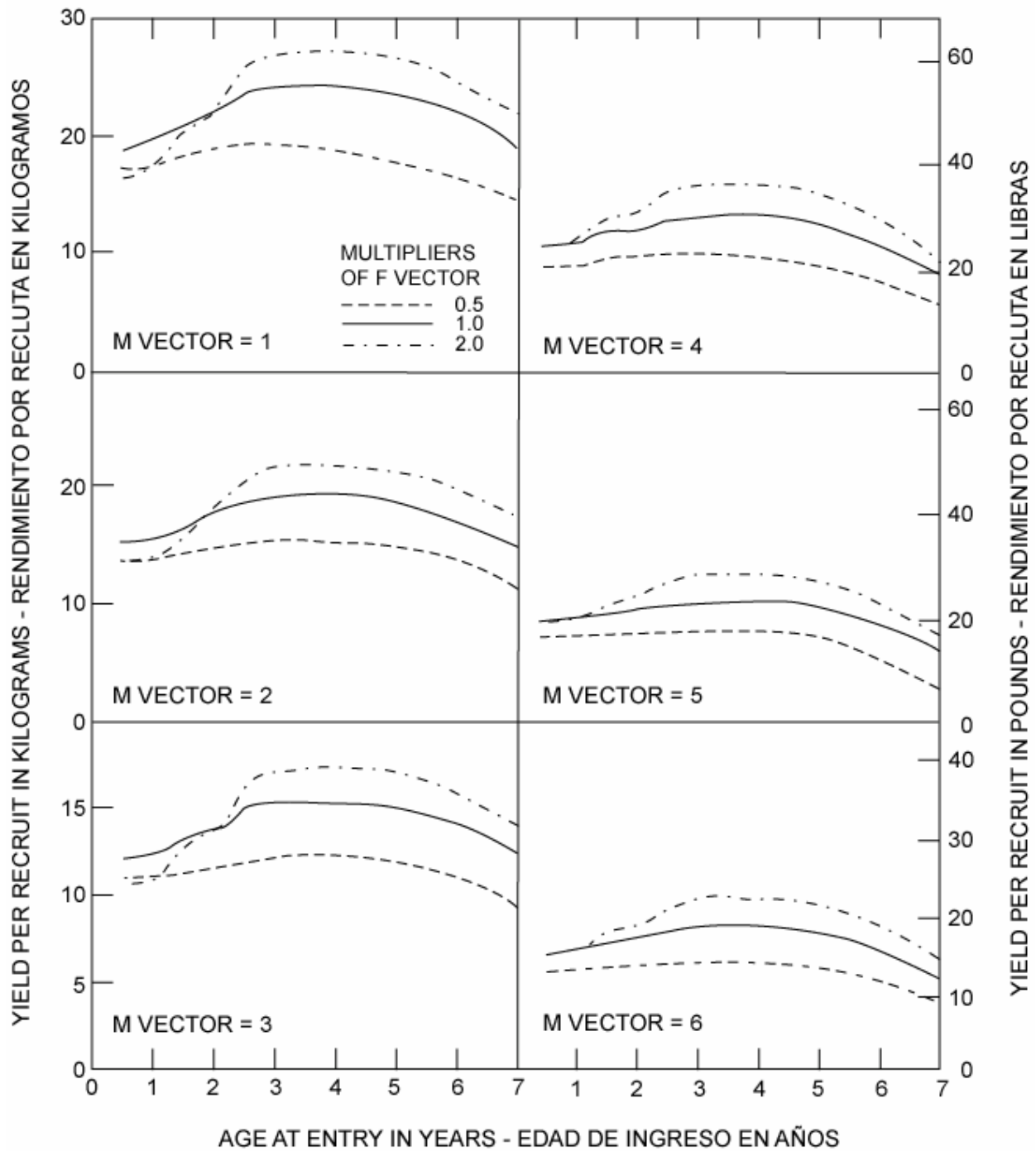


FIGURE 4.2.1. (continued)  
 FIGURA 4.2.1. (continuación)

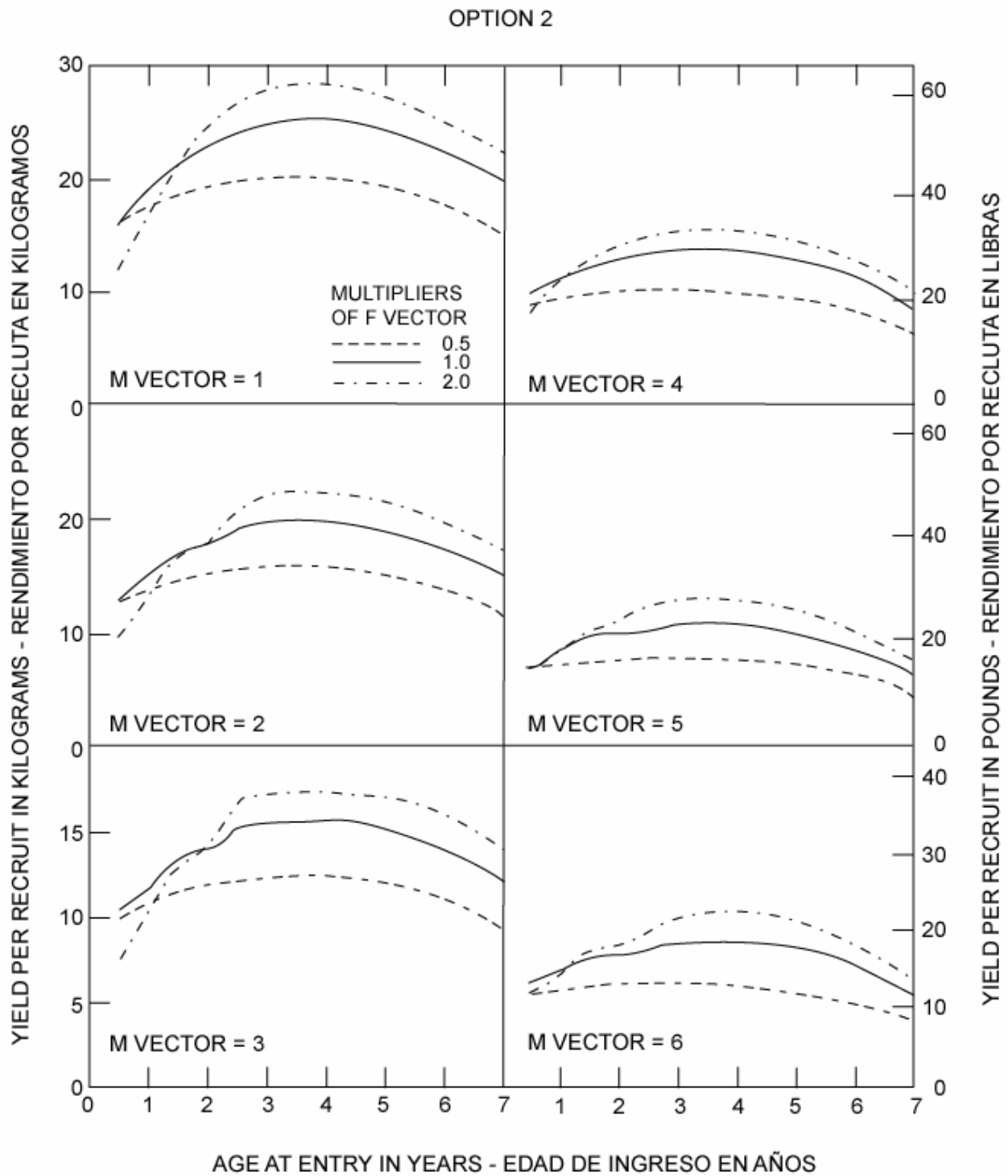
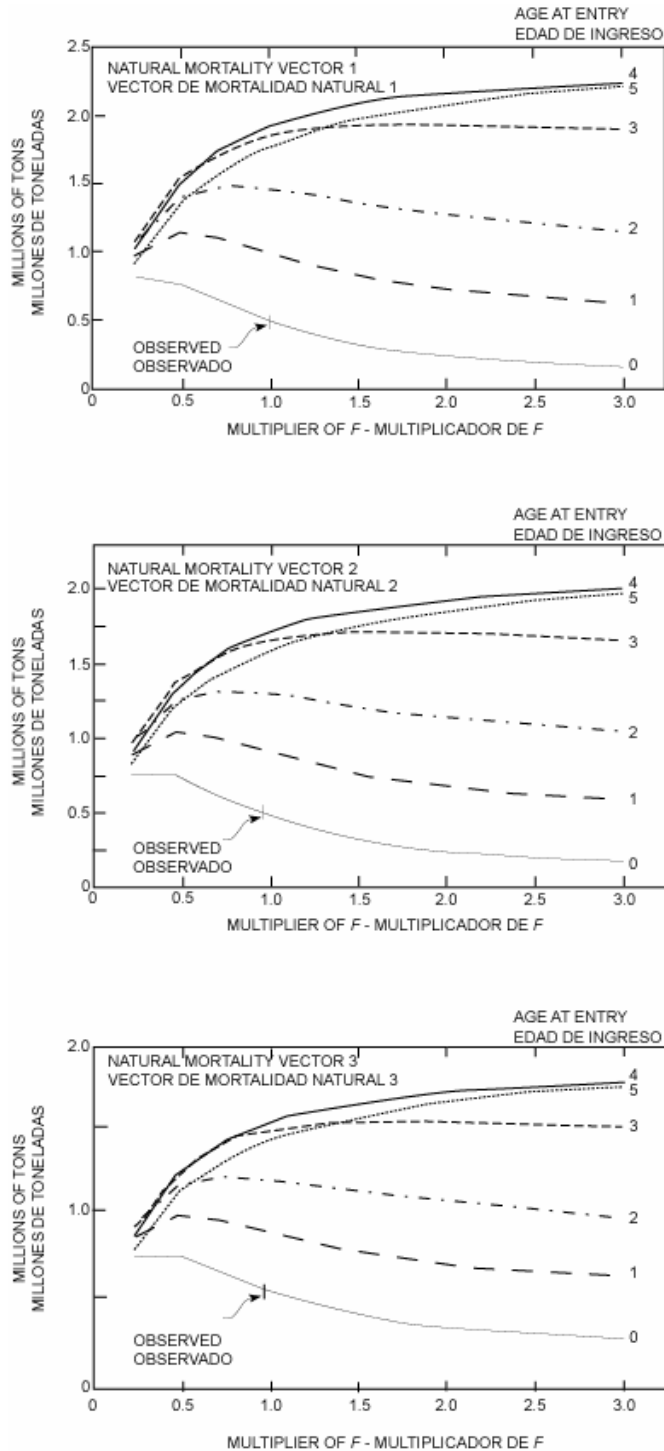


FIGURE 4.2.1. (continued)  
 FIGURA 4.2.1. (continuación)



**FIGURE 4.2.2.** Total estimated catches of bluefin in the Pacific Ocean during the 1966-1986 period with six different vectors of natural mortality, six different multipliers of fishing mortality, and six different ages of entry into the fishery.

**FIGURA 4.2.2.** Capturas totales estimadas de aleta azul en el Océano Pacífico oriental durante 1966-1986 con seis vectores distintos de mortalidad natural, seis multiplicadores distintos de mortalidad por pesca, y seis edades distintas de ingreso a la pesquería.

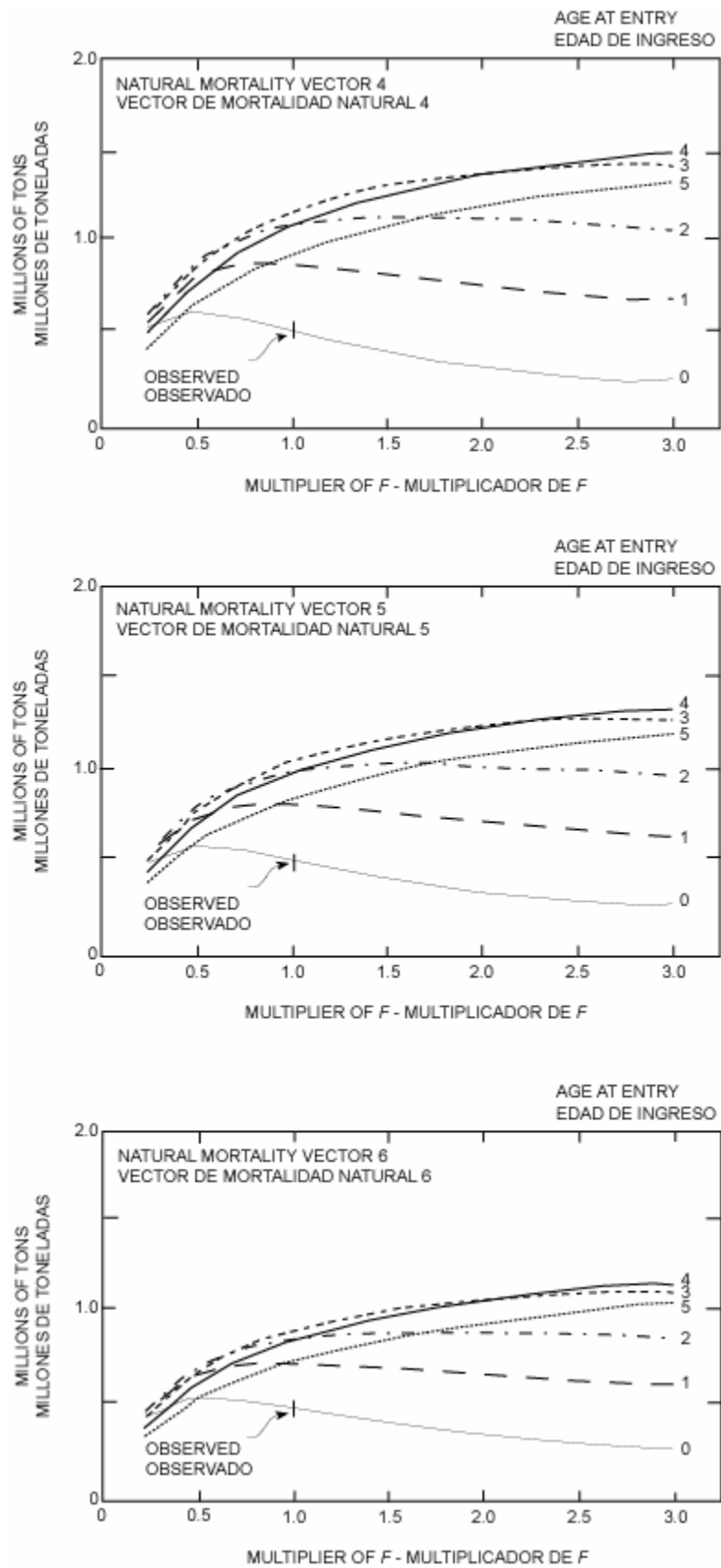


FIGURE 4.2.2. (continued)  
FIGURA 4.2.2. (continuación)

**TABLE 2.2a.** Catches of bluefin, in metric tons, in the Pacific Ocean.

**TABLA 2.2a.** Capturas de atún aleta azul, en toneladas métricas, en el Océano Pacífico.

Year	Western Pacific states			Eastern Pacific states				Subtotal	Total
	Surface <sup>1</sup>	Longline <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Surface		Longline			
	Surface <sup>1</sup>	Longline <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Commercial <sup>2</sup>	Recreational <sup>3</sup>	California <sup>4</sup>	Hawaii <sup>5</sup>		
Año	Estados del Pacífico occidental			Estados del Pacífico oriental				Subtotal	Total
	Superficie <sup>1</sup>	Palangre <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Superficie		Palangre			
	Superficie <sup>1</sup>	Palangre <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Comercial <sup>2</sup>	Deportiva <sup>3</sup>	California <sup>4</sup>	Hawaii <sup>5</sup>		
1952	12,203	2,581	14,784	2,076	1			2,077	16,861
1953	11,676	1,998	13,674	4,433	35			4,468	18,142
1954	14,953	1,588	16,541	9,537	8			9,545	26,086
1955	18,987	2,099	21,086	6,173	67			6,240	27,326
1956	27,430	1,242	28,672	5,727	279			6,006	34,678
1957	23,767	1,490	25,257	9,215	52			9,267	34,524
1958	12,330	1,429	13,759	13,934	7			13,941	27,700
1959	11,948	3,667	15,615	6,914	11			6,925	22,540
1960	14,214	5,784	19,998	5,422	1			5,423	25,421
1961	14,977	6,175	21,152	8,116	19			8,135	29,287
1962	14,764	2,238	17,002	11,125	20			11,145	28,147
1963	17,370	2,104	19,474	12,266	6			12,272	31,746
1964	14,603	2,379	16,982	9,211	6			9,217	26,199
1965	15,496	2,062	17,558	6,887	1			6,888	24,446
1966	12,080	3,388	15,468	15,881	16			15,897	31,365
1967	12,983	2,102	15,085	5,862	26			5,888	20,973
1968	14,171	2,340	16,511	5,966	10			5,976	22,487
1969	7,883	1,377	9,260	6,914	12			6,926	16,186
1970	7,505	1,152	8,657	3,951	15			3,966	12,623
1971	8,673	762	9,435	8,354	6			8,360	17,795
1972	7,951	755	8,706	13,335	12			13,347	22,053
1973	8,798	1,270	10,068	10,700	44			10,744	20,812
1974	14,773	3,546	18,319	5,570	47			5,617	23,936
1975	10,836	1,563	12,399	9,556	27			9,583	21,982
1976	9,199	580	9,779	10,628	17			10,645	20,424
1977	12,765	718	13,483	5,458	15			5,473	18,956
1978	21,362	1,074	22,436	5,393	4			5,397	27,833
1979	25,359	1,254	26,613	6,108	9			6,117	32,730
1980	18,488	1,194	19,682	2,933	6			2,939	22,621
1981	29,751	835	30,587	1,084	5			1,089	31,676
1982	24,273	897	25,170	3,145	5			3,150	28,320
1983	18,233	712	18,945	837	16			853	19,798
1984	11,045	363	11,408	858	23			881	12,289
1985	12,472	507	12,979	4,014	41			4,055	17,034
1986	14,599	276	14,875	5,079	6			5,085	19,960
1987	13,771	383	14,154	990	15		0	1,005	15,159
1988	7,677	256	7,933	1,421	3		0	1,424	9,357
1989	10,057	490	10,547	1,117	53		0	1,170	11,717

**TABLE 2.2a.** (continued)  
**TABLA 2.2a.** (continuación)

Year	Western Pacific states			Eastern Pacific states				Subtotal	Total
	Surface <sup>1</sup>	Longline <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Surface		Longline			
	Surface <sup>1</sup>	Longline <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Commercial <sup>2</sup>	Recreational <sup>3</sup>	California <sup>4</sup>	Hawaii <sup>5</sup>		
Año	Estados del Pacífico occidental			Estados del Pacífico oriental				Subtotal	Total
	Superficie <sup>1</sup>	Palangre <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Superficie		Palangre			
	Superficie <sup>1</sup>	Palangre <sup>1</sup>	Subtotal <sup>1</sup>	Comercial <sup>2</sup>	Deportiva <sup>3</sup>	California <sup>4</sup>	Hawaii <sup>5</sup>		
1990	7,132	409	7,541	1,511	31		0	1,542	9,083
1991	14,656	305	14,961	418	43	<1	0	461	15,422
1992	10,859*	600*	11,459*	1,929	70	<1	0	1,999	13,458*
1993	8,540*	1,283*	9,823*	581	298	4	0	883	10,706*
1994	10,839*	1,864*	12,703*	974	88	5	14	1,081	13,784*
1995	22,015*	593*	22,608*	629	245		27	901	23,509*
1996	10,121*	879*	11,000*	8,222	37		23	8,282	19,282*
1997	8,879*	1,044*	9,923*	2,657	150		24	2,831	12,734*
1998				1,826*	397*		16	2,239*	
1999				2,545*	252*			2,757*	

<sup>1</sup> Sources: The data for Japan were obtained from the National Research Institute of Far Seas Fisheries of Japan. The data for Taiwan and the Republic of Korea were obtained from FAO yearbooks of fisheries statistics and data published by the Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, and the National Fisheries Research and Development Agency of Korea.

<sup>1</sup> Fuentes: Los datos de Japón provienen del Instituto Nacional de Investigación de Pesquerías de Ultramar del Japón. Los datos de Taiwán y la República de Corea provienen de compendios anuales de estadísticas pesqueras de la FAO y datos publicados por el Instituto de Oceanografía de la Universidad Nacional de Taiwán en Taipei y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Corea.

<sup>2</sup> Sources: 1952-1960, Bell, 1963: Table VIII; 1961-1999, Anonymous, 2001, Table 3d minus recreational catch.

<sup>2</sup> Fuentes: 1952-1960, Bell, 1963: Tabla VIII; 1961-1999, Anónimo, 2001, Tabla 3d menos la captura deportiva.

<sup>3</sup> Sources: 1952-1990, Leet *et al.*, 1992; 1991-1992, California Department of Fish and Game, unpublished data; 1993-1999, Calif. Coop. Ocean. Fish. Inves., Rep., 35-41.

<sup>3</sup> Fuentes: 1952-1990, Leet *et al.*, 1992; 1991-1992, California Department of Fish and Game, datos inéditos; 1993-1999, Calif. Coop. Ocean. Fish. Inves., Rep., 35-41.

<sup>4</sup> Source: Vojkovich and Barsky, 1998: page 149.

<sup>4</sup> Fuente: Vojkovich y Barsky, 1998: página 149.

<sup>5</sup> Source: Anonymous, 1999b: page 3-57.

<sup>5</sup> Fuente: Anónimo, 1999b: página 3-57.

\* preliminary data--datos preliminares

**TABLE 2.2b.** Measures of fishing effort for bluefin in the eastern Pacific Ocean. Most of the data for 1959-1991 are from Bayliff (1996: Table 3), and most of those for 1992-1998 are from the IATTC data base.

**TABLA 2.2b.** Medidas de esfuerzo de pesca de aleta azul en el Océano Pacífico oriental. La mayoría de los datos de 1959-1991 proviene de Bayliff (1996: Tabla 3), y la mayoría de los de 1992-1998 de la base de datos de la CIAT.

Year	Calkins index	Number of bluefin vessels	Habitat index	Habitat index north of 28°N
Año	Índice Calkins	Número de buques que pescan aleta azul	Índice de hábitat	Índice de hábitat al norte de 28°N
1959	824.0			
1960	1453.0		1889.5	932.0
1961	2051.0	67	2721.5	1265.5
1962	2886.5	76	2890.5	1572.1
1963	2677.0	78	3131.5	1957.5
1964	2941.0	81	3240.0	1182.0
1965	2370.0	76	2569.5	861.0
1966	2422.5	73	2727.0	1102.5
1967	2812.0	65	3483.0	998.0
1968	1968.0	63	2336.0	1279.5
1969	2258.0	56	2801.0	1092.0
1970	1682.5	64	2658.5	916.0
1971	2595.5	69	2944.5	1196.0
1972	3220.0	65	3613.0	1727.5
1973	2664.5	69	3271.0	1461.0
1974	1974.0	66	2105.5	699.5
1975	1673.0	65	1811.0	484.5
1976	2322.0	66	2524.5	1685.5
1977	1948.0	65	2723.0	1251.0
1978	1841.0	60	2356.5	1211.5
1979	1771.0	48	3284.0	1010.0
1980	1329.5	43	2481.0	600.0
1981	664.5	28	1515.5	673.5
1982	1060.0	25	2845.5	1260.5
1983	651.0	25	2430.0	1215.0
1984	1022.0	25	2159.5	1463.5
1985	566.0	25	916.5	587.5
1986	384.0	24	522.0	370.0
1987	174.5	19	500.0	242.5
1988	755.5	18	1705.5	493.0
1989	140.0	16	808.0	292.5
1990	234.0	17	764.5	375.0
1991	75.0	16	335.0	150.5
1992		13	297.0	252.0
1993		13	757.5	238.5
1994		13	921.5	204.5
1995		13	1007.0	286.0
1996		13	467.0	439.5
1997			482.0	324.5
1998			331.5	202.0

**TABLE 3.1.1a.** Growth equations employed to estimate the lengths of Pacific bluefin. The first two equations were obtained from Bayliff *et al.* (1991: Table 5), and the third by linear interpolation (Anonymous, 1992: page 73 and Table 29).

**TABLA 3.1.1a.** Ecuaciones de crecimiento usadas para estimar la talla de aleta azul del Pacífico. Las dos primeras ecuaciones provienen de Bayliff *et al.* (1991: Tabla 5) y la tercera se obtuvo por interpolación lineal (Anónimo, 1992: página 254 y Tabla 29).

Age in years	Equation	Units of measurement
Edad en años	Ecuación	Unidades de medición
0.1250-0.6250	$L_{t2}^{0.001} = 581^{0.001} + (L_{t1}^{0.001} - 581^{0.001})e^{-0.01184(t-t_1)}$	mm, days—días
1.0037-5.0000	$L_t = 564 + 0.709\Delta t$	mm, days—días
5.0000-15.0000	$L_t = 1595 + 63.5000\Delta t$	mm, years--años

**TABLE 3.1.1b.** Equations for converting lengths, in centimeters, to weights, in kilograms, for bluefin. WPO, western Pacific Ocean; EPO, eastern Pacific Ocean.

**TABLA 3.1.1a.** Ecuaciones para convertir tallas, en centímetros, a pesos, en kilogramos, para aleta azul. WPO = Pacífico occidental; OPO = Pacífico oriental.

Area	Sample size	Length range (cm)	Equations	Reference
Zona	Tamaño de muestra	Rango de tallas (cm)	Ecuaciones	Referencia
WPO	308	15.5-29.6	$w = (6.2033 \times 10^{-6})l^{3.3335}$ $\log w = 3.3335 \log l - 5.2074$	Bayliff, 1991: Table 7
EPO	1,633	58-128	$w = (5.4535 \times 10^{-5})l^{2.7946}$ $\log w = 2.7946 \log l - 4.2649$	Bayliff, 1991: Table 7

**TABLE 3.1.3.** Estimated numbers of age-0, -1, -2, -3, and -4 bluefin, in thousands, caught in the western and eastern Pacific Oceans (from Bayliff, 1993: Table 5).

**TABLA 3.1.3.** Número estimado de aletas azules de 0, 1, 2, 3, y 4 años de edad, en miles de peces, capturados en el Océano Pacífico occidental y oriental (de Bayliff, 1993: Tabla 5).

Year class	Western Pacific Ocean					Eastern Pacific Ocean			
	0	1	2	3	4	1	2	3	4
Clase anual	Océano Pacífico occidental					Océano Pacífico oriental			
	0	1	2	3	4	1	2	3	4
1948	-	-	-	-	-	-	-	-	>0
1949	-	-	-	-	-	-	-	>0	>0
1950	-	-	-	-	-	-	140	6	4
1951	-	-	-	-	-	54	6	6	2
1952	-	-	-	-	-	651	493	19	>0
1953	-	-	-	-	-	413	348	9	>0
1954	-	-	-	-	-	185	168	20	0
1955	-	-	-	-	-	433	373	4	4
1956	-	-	-	-	-	575	905	109	69
1957	-	-	-	-	-	285	269	33	>0
1958	-	-	-	-	-	12	66	6	1
1959	-	-	-	-	-	58	347	9	5
1960	-	-	-	-	-	524	608	80	4
1961	-	-	-	-	-	829	521	29	1
1962	-	-	-	-	30	526	256	16	0
1963	-	-	-	62	8	972	305	35	1
1964	-	-	91	5	17	327	715	34	0
1965	-	266	3	52	1	622	308	5	1
1966	1,270	461	1	13	17	97	155	32	1
1967	3,607	964	78	23	24	416	311	35	0
1968	2,300	371	48	14	18	290	258	7	-
1969	2,970	378	2	18	16	14	711	-	0
1970	1,938	443	15	4	3	467	-	2	0
1971	3,316	682	20	12	29	-	589	1	>0
1972	498	124	28	115	26	609	440	2	24
1973	4,875	1,403	46	61	95	51	722	172	21
1974	3,953	676	96	44	10	260	150	21	8
1975	1,277	222	61	14	28	488	250	7	>0
1976	1,784	698	151	38	7	55	81	>0	0
1977	2,542	478	98	76	84	508	539	1	>0
1978	5,091	1,452	119	584	99	78	284	11	1
1979	2,088	611	180	64	56	48	70	2	>0
1980	2,810	605	200	54	15	4	120	6	1
1981	1,975	785	139	21	75	249	62	6	0
1982	665	213	44	86	30	12	44	>0	>0
1983	1,362	421	49	123	-	33	315	5	>0
1984	2,417	757	61	-	-	76	388	6	>0
1985	2,046	760	-	-	-	22	74	21	>0
1986	1,470	-	-	-	-	7	45	6	1
1987	-	-	-	-	-	34	40	8	>0
1988	-	-	-	-	-	45	78	1	-
1989	-	-	-	-	-	5	8	-	-
1990	-	-	-	-	-	52	-	-	-

**TABLE 4.1.** Indices of abundance of Pacific bluefin tuna (after Bayliff, 1996). The units are: commercial catch, metric tons; recreational catch, numbers of fish; Calkins index, metric tons per day; aerial indices, metric tons per block-area flight; bluefin vessel, metric tons per year; habitat, metric tons per day. Most of the data for 1959-1991 are from Bayliff (1996: Table 3), and most of those for 1992-1998 are from the IATTC data base.

**TABLA 4.1.** Indices de abundancia de aleta azul del Pacífico (de Bayliff, 1996). Las unidades son: captura comercial, toneladas métricas (tm); captura deportiva, número de peces; índice Calkins, tm/día; índices aéreos, tm/vuelo área bloque; buque que pesca aleta azul, tm/año; hábitat, tm/día. La mayoría de los datos de 1959-1991 proviene de Bayliff (1996: Tabla 3), y la mayoría de los de 1992-1998 de la base de datos de la CIAT.

Year	Catch		Calkins index	Aerial indices		Bluefin vessel index	Habitat indices	
	Commercial	Recreational		Core	Total		Total	N of 28°N
Año	Captura		Índice Calkins	Índices aéreos		Índice buques aleta azul	Índices de hábitat	
	Comercial	Deportiva		Núcleo	Total		Total	N de 28°N
1959	6,914	1,330	3.67					
1960	5,422	97	3.03				2.37	3.38
1961	8,116	2,268	3.81			115	2.91	5.34
1962	11,125	2,453	3.47	5.96	3.99	138	3.45	4.98
1963	12,266	737	4.50	6.32	6.18	160	3.86	4.44
1964	9,211	693	2.66	6.32	6.18	123	2.44	4.02
1965	6,887	92	2.38	1.16	0.82	97	2.30	4.31
1966	15,881	1,998	5.86	11.82	8.58	209	5.33	3.27
1967	5,862	3,166	1.88	4.09	3.10	82	1.54	0.56
1968	5,966	1,231	2.52	8.57	5.47	77	2.14	3.29
1969	6,914	1,470	2.57	0.54	0.35	109	2.09	2.39
1970	3,951	1,833	2.25	<0.01	0.02	66	1.51	0.73
1971	8,354	749	2.87	0.79	0.38	106	2.54	2.14
1972	13,335	1,470	3.70	6.30	2.49	176	3.31	4.23
1973	10,700	5,347	3.33	15.77	14.92	107	2.75	3.63
1974	5,570	5,765	1.97	16.62	15.68	77	1.92	2.10
1975	9,556	3,348	3.87	2.36	2.30	124	3.63	4.78
1976	10,628	2,040	3.80	12.46	11.97	136	3.55	4.15
1977	5,458	1,838	2.40	7.90	6.46	77	1.75	2.13
1978	5,393	479	2.10	31.32	27.28	69	1.66	2.74
1979	6,108	1,087	2.65	11.68	11.18	80	1.44	2.83
1980	2,933	729	1.79	0.81	0.63	42	0.97	1.25
1981	1,084	542	1.03	0.86	0.73	29	0.46	0.93
1982	3,145	665	2.20	1.24	1.15	81	0.85	1.34
1983	837	1,912	0.75	0.05	0.18	26	0.23	0.44
1984	858	2,834	0.70	0.56	0.60	28	0.34	0.50
1985	4,014	4,980	5.99	2.10	2.33	137	3.67	3.22
1986	5,079	693	10.95	1.80	2.75	201	8.19	11.01
1987	990	1,859	4.04	0.70	0.50	47	1.54	3.00
1988	1,421	321	1.53	1.12	0.51	50	0.73	1.20
1989	1,117	6,519	7.05	0.93	0.44	64	1.22	3.37
1990	1,511	3,756	5.52	0.66	0.32	84	1.80	3.67
1991	418	5,201	5.37			28	1.24	2.06
1992	1,929	8,586				154	4.49	5.29
1993	581	10,535				64	0.46	1.47
1994	974	2,309				77	0.44	1.88
1995	629	14,646				45	0.54	1.91
1996	8,222	2,478				343	11.30	11.86
1997	2,636	7,974					2.41	3.58
1998	814	18,183					0.89	1.46

**TABLE 4.2.1a.** Weights, in kilograms, of bluefin used for cohort analyses. The estimates were obtained from the growth-in-length and weight-length equations in Tables 3.1.1a and 3.1.1b.

**TABLA 4.2.1a.** Pesos, en kilogramos, de aleta azul usados para los análisis de cohortes. Se calcularon las estimaciones con las ecuaciones de crecimiento en peso y longitud-peso en las Tablas 3.1.1a y 3.1.1b.

Quarter	Age 0	Age 1	Age 2	Age 3	Age 4	Age 5
Trimestre	Edad 0	Edad 1	Edad 2	Edad 3	Edad 4	Edad 5
1	0.000	3.604	9.647	21.991	41.518	69.655
2	0.000	4.252	12.104	26.082	47.603	78.075
3	0.345	5.694	14.996	30.739	54.385	80.276
4	1.966	7.516	18.298	35.898	61.759	82.525
Quarter	Age 6	Age 7	Age 8	Age 9	Age 10	Age 11
Trimestre	Edad 6	Edad 7	Edad 8	Edad 9	Edad 10	Edad 11
1	84.789	94.270	104.406	115.216	126.719	138.935
2	87.067	96.708	107.008	117.987	129.664	142.059
3	89.436	99.241	109.710	120.864	132.720	145.298
4	91.846	101.816	112.456	123.785	135.821	148.584
Quarter	Age 12	Age 13	Age 14	Age 15	Age 16	
Trimestre	Edad 12	Edad 13	Edad 14	Edad 15	Edad 16	
1	151.882	165.579	180.044	195.297	211.355	
2	155.189	169.073	183.732	199.181	215.441	
3	158.617	172.694	187.55	203.02	219.669	
4	162.092	176.365	191.419	207.275	223.951	

**TABLE 4.2.1b.** Fishing mortality data used for calculation of yield-per-recruit curves for bluefin tuna in the eastern Pacific Ocean.

**TABLA 4.2.1b.** Datos de mortalidad por pesca usados para el cálculo de curvas de rendimiento por recluta para atunes azul en el Océano Pacífico oriental.

Year	Period	Fishing mortality vectors		
		Option 0	Option 1	Option 2
Año	Período	Vectores de mortalidad por pesca		
		Opción 0	Opción 1	Opción 2
0	May 16-Jun. 30	0.0	0.0	0.0
	Jul.	0.2	0.2	0.2
	Aug.-Sep.	0.4	0.4	0.4
	Oct.-Dec.	0.4	0.2	0.4
1	Jan.-Jun.	0.4	0.0	0.4
	Jul.-Sep.	0.4	0.4	0.4
	Oct.-Dec.	0.4	0.2	0.2
2	Jan.-Mar.	0.4	0.0	0.0
	Apr.-Jun.	0.4	0.2	0.2
	Jul.-Sep.	0.4	0.4	0.4
	Oct.-Dec.	0.4	0.2	0.2
3-4	Jan.-Dec.	0.4	0.0	0.0
5	Jan. 1-May 15	0.4	0.2	0.2
	May 16-Dec. 31	0.4	0.4	0.4
>5	Jan.-Dec.	0.4	0.4	0.4

**TABLE 4.2.1c.** Estimates of the natural mortality of bluefin used for the cohort analyses.

**TABLA 4.2.1c.** Estimaciones de la mortalidad natural de aleta azul usadas para los análisis de cohortes.

Vector	Age 0—Edad 0	Age 1—Edad 1	Age 2—Edad 2	Age >2—Edad >2
1	0.20	0.20	0.20	0.20
2	0.35	0.30	0.25	0.20
3	0.50	0.40	0.30	0.20
4	0.30	0.30	0.30	0.30
5	0.45	0.40	0.35	0.30
6	0.60	0.50	0.40	0.30

**TABLE 4.2.3.2.** Total weights of exploited and unexploited stocks and spawning potential ratios (SPRs) for mature Pacific bluefin tuna. The three options are explained in the text. The vectors of natural mortality are listed in Table 4.2.1c. The two rows for each combination of option and vector of natural mortality correspond to exploited and unexploited stocks of fish. Each calculation was begun with 1,000 90-day-old fish.

**TABLA 4.2.3.2.** Pesos totales de stocks explotados y no explotados y razones de potencial de desove (SPR) de atunes aleta azul del Pacífico maduros. En el texto se explican las tres opciones. En la Tabla 4.2.1c se detallan los vectores de mortalidad natural. Las dos filas para cada combinación de opción y vector de mortalidad natural corresponden a stocks de peces explotados y no explotados. Se comenzó cada cálculo con 1.000 peces de 90 días de edad.

Option	Vector of natural mortality	Total weight, in kilograms, of fish at age										SPR
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	
Opción mortalidad natural	Vector de mortalidad natural	Peso total (kg) de peces a edad										SPR
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	
0	1	3,391	2,066	1,252	765	470	272	163	97	53	8,529	0.05
		28,208	25,703	23,329	21,096	19,012	17,080	15,298	13,663	12,172	175,561	
0	2	2,706	1,653	1,008	607	371	231	134	81	53	6,844	0.05
		22,525	20,525	18,629	16,846	15,182	13,638	12,215	10,910	9,719	140,189	
0	3	2,162	1,322	804	495	297	177	119	65	35	5,476	0.05
		17,987	16,389	14,875	13,452	12,123	10,890	9,754	8,712	7,761	111,943	
0	4	1,989	1,093	611	326	173	95	53	23	12	4,375	0.06
		16,514	13,615	11,182	9,149	7,461	6,065	4,915	3,972	3,202	76,074	
0	5	1,593	882	478	270	149	81	43	23	12	3,531	0.06
		13,187	10,872	8,929	7,306	5,958	4,843	3,925	3,172	2,557	60,747	
0	6	1,271	698	387	214	111	58	33	23	12	2,807	0.06
		10,530	8,682	7,130	5,834	4,757	3,867	3,134	2,533	2,042	48,507	
1	1	13,392	8,173	4,978	3,013	1,819	1,086	654	389	247	33,751	0.19
		28,208	25,703	23,329	21,096	19,012	17,080	15,298	13,663	12,172	175,561	
1	2	10,694	6,529	3,970	2,406	1,448	883	520	324	194	26,968	0.19
		22,525	20,525	18,628	16,846	15,182	13,638	12,215	10,910	9,719	140,189	
1	3	85,405	5,216	3,166	1,923	1,163	706	431	259	141	21,545	0.19
		17,987	16,389	14,875	13,452	12,123	10,890	9,754	8,712	7,761	111,943	
1	4	7,863	4,344	2,392	1,316	718	394	208	113	71	17,419	0.23
		16,514	13,615	11,182	9,149	7,461	6,065	4,915	3,972	3,202	76,074	
1	5	6,279	3,471	1,914	1,046	569	312	178	97	53	13,919	0.23
		13,187	10,872	8,929	7,306	5,958	4,843	3,925	3,172	2,557	60,747	
1	6	5,017	2,773	1,527	832	458	258	134	65	35	11,099	0.23
		10,530	8,682	7,130	5,834	4,757	3,867	3,134	2,533	2,042	48,507	
2	1	10,430	6,364	3,879	2,350	1,411	856	520	308	194	26,312	0.15
		28,208	25,703	23,329	21,096	19,012	17,080	15,298	13,663	12,172	175,561	
2	2	8,326	5,087	3,095	1,878	1,139	679	416	243	141	21,004	0.15
		22,525	20,525	18,628	16,846	15,182	13,638	12,215	10,910	9,719	140,189	
2	3	6,651	4,059	2,474	1,495	904	543	327	194	123	16,770	0.15
		17,987	16,389	14,875	13,452	12,123	10,890	9,754	8,712	7,761	111,943	
2	4	6,122	3,389	1,863	1,023	557	299	163	97	53	13,566	0.18
		16,514	13,615	11,182	9,149	7,461	6,065	4,915	3,972	3,202	76,074	
2	5	4,893	2,700	1,486	821	446	244	134	65	35	10,824	0.18
		13,187	10,872	8,929	7,306	5,958	4,843	3,925	3,172	2,557	60,747	
2	6	3,903	2,158	1,191	652	359	190	104	65	18	8,640	0.18
		10,530	8,682	7,130	5,834	4,757	3,867	3,134	2,533	2,042	48,507	

**TABLE 4.2.4.** Correlations for various combinations of catches of northern bluefin. WPO = western Pacific Ocean; EPO = eastern Pacific Ocean.

**TABLA 4.2.4.** Correlaciones para varias combinaciones de capturas de aleta azul del norte. WPO = Océano Pacífico occidental; EPO = Océano Pacífico oriental.

Correlation	Degrees of freedom	<i>r</i>
Correlación	Grados de libertad	<i>r</i>
1 WPO, age 0, <i>versus</i> EPO, age 1	18	-0.157
2 WPO, age 0, <i>versus</i> EPO, age 2	18	0.442
3 WPO, age 1, <i>versus</i> EPO, age 1	18	-0.390
4 WPO, age 1, <i>versus</i> EPO, age 2	18	0.175
5 WPO, age 2, <i>versus</i> EPO, age 1	18	-0.322
6 WPO, age 2, <i>versus</i> EPO, age 2	18	-0.460 *
7 EPO, age 1, <i>versus</i> EPO, age 2	35	0.458 *
8 WPO, age 0, <i>versus</i> WPO, age 1	18	0.843 **
9 WPO, age 0, <i>versus</i> WPO, age 2	17	0.174
10 WPO, age 1, <i>versus</i> WPO, age 2	18	0.344
11 WPO, age 0, <i>versus</i> WPO + EPO, age 1	17	0.757 **
12 WPO, age 0, <i>versus</i> WPO + EPO, age 2	16	0.511 *
13 EPO, age 2, <i>versus</i> WPO, age 0, and WPO, age 2	15	0.746 **

\* significant at the 5-percent level--significativo al nivel de 5%

\*\* significant at the 1-percent level--significativo al nivel de 1%

# CONDICION DEL ATUN ALETA AZUL EN EL OCEANO PACIFICO

por

William H. Bayliff

## INDICE

1. Resumen ejecutivo .....	242
2. Datos .....	243
3. Supuestos y parámetros.....	244
4. Evaluación del stock .....	246
5. Condición del stock.....	251
6. Direcciones futuras .....	251
Figuras .....	221
Tablas.....	232
Referencias.....	253

### 1. RESUMEN EJECUTIVO

La mayoría de las capturas de aleta azul, *Thunnus orientalis*, en el Océano Pacífico oriental (OPO) son realizadas por buques cerqueros. Casi toda la captura cerquera proviene de una zona frente a Baja California y California, a menos de unas 100 millas náuticas de la costa, entre 23°N y 33°N. Se capturan cantidades menores de aleta azul con arte de pesca deportiva, redes agalleras, y palangres. Se captura la especie en todos los meses del año, pero la mayor parte de la captura es lograda entre mayo y octubre.

El aleta azul es pescado con varias artes en el Océano Pacífico occidental desde Taiwan hasta Hokkaido. Peces de 0 años de edad de entre unos 15 y 30 cm de talla son capturados con curricán durante julio-octubre al sur de Shikoku y al sur de la Prefectura de Shizuoka. Durante noviembre-abril peces de edad 0 de entre unos 35 y 60 cm son capturados con curricán al sur y oeste de Kyushu. Peces de edad 1 y mayores son capturados con redes de cerco, principalmente durante mayo-septiembre entre 30°-42°N y 140°-152°E. Se capturan también aletas azules de varios tamaños con trampas, redes agalleras, y otras artes de pesca, especialmente en el Mar de Japón. Se capturan también con palangre pequeñas cantidades de la especie cerca del litoral sudeste de Japón.

Las pesquerías palangreras de alta mar están dirigidas principalmente hacia los atunes tropicales, la albacora, y los peces picudo, pero capturan pequeñas cantidades de aleta azul del Pacífico. Buques cañeros japoneses capturan asimismo pequeñas cantidades de aleta azul del Pacífico en alta mar.

Se han encontrado larvas de aleta azul del Pacífico únicamente entre las Filipinas y el sur del Japón y en el Mar de Japón, y se supone que el desove ocurre solamente en esas zonas. Algunos peces permanecen aparentemente toda la vida en el Pacífico occidental. Otros migran al OPO; estas migraciones comienzan principalmente, o tal vez exclusivamente, durante el primer y segundo año de vida. Los migrantes de primer o segundo año están expuestos a varias pesquerías antes de iniciar su viaje al OPO. Después de cruzar el océano, están expuestos a las pesquerías comercial y deportiva frente a California y Baja California. Posteriormente, los supervivientes regresan al Pacífico occidental.

Se encuentra el aleta azul en el OPO con mayor frecuencia en aguas de entre 17° y 23°C de temperatura de superficie. En el Pacífico occidental se encuentran peces de entre 15 y 31 cm en aguas de entre 24° y 29°C de temperatura de superficie. La supervivencia de las larvas y juveniles tempranos de la especie es indudablemente afectada de manera importante por las condiciones ambientales. Las condiciones en el Pacífico occidental afectan probablemente cuáles porciones de los peces juveniles migran al OPO, y cuándo. Asimismo, las condiciones en el OPO probablemente afectan cuándo los peces juveniles regresan al Pacífico occidental.

A falta de evidencias al contrario, se supone que existe un solo stock de aleta azul del Pacífico.

Se han calculado varias índices de abundancia para el aleta azul del Pacífico en el OPO, pero ninguno es completamente satisfactorio. Desde hace varios años el personal de la CIAT calcula rutinariamente índices de “buque que pesca aleta azul” y “hábitat” para el OPO. No se dispone de índices de abundancia de la especie para el Pacífico occidental.

Pese a que las capturas totales de aleta azul del Pacífico no han disminuido, los resultados de análisis de rendimiento por recluta y de cohortes indican que se podría obtener capturas mayores si se redujeran o eliminaran las capturas de peces de edad 0 y de edad 1 en el OPO y el Pacífico occidental.

Los análisis reproductor-recluta no indican que aumentaría el reclutamiento de aleta azul del Pacífico si se permitiera a más peces desovar.

## **2. DATOS**

### **2.1. Definiciones de las pesquerías**

#### **2.1.1. Océano Pacífico oriental**

La mayoría de las capturas de aleta azul, *Thunnus orientalis*, en el Océano Pacífico oriental (OPO) son realizadas por buques cerqueros. Casi toda la captura cerquera proviene de una zona frente a Baja California y California, a menos de unas 100 millas náuticas de la costa, entre 23°N y 33°N (Bayliff, 1994: Figura 1). Se capturan cantidades menos importantes de aleta azul con arte de pesca deportiva en la misma zona, pero principalmente al norte de 29°N. Se capturan pequeñas cantidades de aleta azul frente a California con redes agalleras hasta al menos 39°N, y buques palangreros de EE.UU. y mexicanos capturan cantidades asimismo pequeñas frente a California y el norte de Baja California, respectivamente. Se captura la especie en todos los meses del año, pero la mayor parte de la captura es lograda entre mayo y octubre (Bayliff, 1994: Figura 6 y Tabla 8).

#### **2.1.2. Océano Pacífico occidental**

El aleta azul es pescado con varias artes en el Océano Pacífico occidental desde Taiwan hasta Hokkaido. Peces de 0 años de edad de entre unos 15 y 30 cm de talla son capturados con curricán durante julio-octubre al sur de Shikoku y al sur de la Prefectura de Shizuoka. Durante noviembre-abril peces de edad 0 de entre unos 35 y 60 cm son capturados con curricán al sur y oeste de Kyushu. Peces de edad 1 y mayores son capturados con redes de cerco, principalmente durante mayo-septiembre entre 30°-42°N y 140°-152°E. Se capturan también aletas azules de varios tamaños con trampas, redes agalleras, y otras artes de pesca, especialmente en el Mar de Japón. Se capturan también con palangre pequeñas cantidades de la especie cerca del litoral sudeste de Japón.

#### **2.1.3. Alta mar**

La pesquería palangrera japonesa de alta mar (Uosaki y Bayliff, 1999), así como aquéllas de la República de Corea (Park *et al.*, 1994), Estados Unidos (Ito y Machado, 1997) y Taiwan, están dirigidas principalmente hacia los atunes tropicales, la albacora, y los peces picudos, pero capturan también pequeñas cantidades de aleta azul del Pacífico (Tomlinson, 1996).

Buques cañeros japoneses capturan asimismo pequeñas cantidades de aleta azul del Pacífico en alta mar (Bayliff *et al.*, 1991: Tabla 6).

### **2.2. Datos de captura y esfuerzo**

Se dispone de datos de captura para todas las pesquerías principales de aleta azul del Pacífico para 1952-1998 (Tabla 2.2a), y datos para las pesquerías comerciales y deportivas del OPO desde 1918 y 1936, respectivamente (Bayliff, 1994: Tabla 7).

Bayliff (1996) discutió cuatro índices de esfuerzo cerquero de pesca para aleta azul en el OPO (Tabla 2.2b), pero ninguno de éstos es completamente satisfactorio. Sus criterios para la clasificación de buques como “buques que pescan aleta azul” fueron modificados posteriormente (Anónimo, 1997: pági-

nas 40-41). Tomlinson (1996) estimó la cantidad de esfuerzo por buques palangreros japoneses en la “zona núcleo” (su Figura 13), en la cual los buques palangreros japoneses realizan la mayoría de sus capturas de aleta azul, durante 1952-1986. Curran *et al.* (1996) presentan datos de esfuerzo de la pesquería palangrera de Hawaii para 1991-1994, por área de 5° y trimestre. No se dispone de datos de esfuerzo para ninguna de las pesquerías del Pacífico occidental.

### **2.3. Datos de composición por tamaño**

Se dispone de datos de frecuencia de talla para la pesquería cerquera del OPO, que se desarrolla en la zona de muestreo 1 de la CIAT (Anónimo, 2000: Figure 9), para 1923-1925, 1952-1971, y 1973-1999 (Bayliff, 1993: Tabla 1; Anónimo 1999a: Figura 8). En la Figura 2.3a se presentan datos para 1994-1999, los que incluyen datos de peces capturados por la pesquería deportiva.

Yokota *et al.* (1961: 210) y Yukinawa y Yabuta (1967) presentan datos de frecuencia de talla para las pesquerías de superficie del Pacífico occidental, y Yamanaka (1958 y 1982), Nakamura (1969), y Shingu *et al.* (1974) presentan datos de composición por talla y peso para varias pesquerías del Pacífico occidental y central. En las Figuras 2.3b, 2.33c, y 2.3d se presentan datos sobre peces grandes y pequeños capturados con artes de superficie en el Pacífico occidental y sobre peces capturados con palangre en el Pacífico occidental y central, respectivamente.

### **2.4. Datos auxiliares**

Las datos auxiliares más importantes son probablemente aquéllos obtenidos del marcado de aletas azules en el OPO y el Pacífico occidental con marcas convencionales (Bayliff *et al.*, 1991). Investigadores del Instituto Nacional de Investigación de Pesquerías de Ultramar (NRIFSF) de Japón marcaron aletas azules en el Pacífico occidental con marcas archivadoras, y se consiguieron datos para 40 de éstos recapturados en el Pacífico occidental y 1 recapturado en el OPO (Itoh *et al.*, 1999). Se espera que cuando se obtengan más datos de experimentos con marcas archivadoras y/o desprendibles la información resultante será valiosa para la evaluación del stock.

Se han usado datos oceanográficos para calcular los “índices de hábitat” (de abundancia) para el aleta azul en el OPO descritos en la Sección 4.1.

Se han usado datos de estudios aéreos sobre aguas del OPO (Squire, 1972, 1983, y 1993) para calcular índices de abundancia de aleta azul en el OPO (Bayliff, 1996).

## **3. SUPUESTOS Y PARÁMETROS**

### **3.1. Información biológica y demográfica**

#### **3.1.1. Crecimiento**

Bayliff *et al.* (1991) usaron datos de marcado para estudiar el crecimiento del aleta azul del Pacífico, y descubrieron que un modelo de dos etapas lo representa óptimamente (Tabla 3.1.1a). Para peces de entre 191 y 564 mm se usa la curva de Gompertz, con valores de 581 mm y 4,32 para  $L_{\infty}$  y  $K$  (anual), respectivamente. Los peces de entre 564 y 1530 mm crecen de forma lineal, a 0,709 mm/día.

En la Tabla 3.1.1b se presentan datos sobre las relaciones peso-talla de aletas azules del Pacífico de varios tamaños en el OPO y el Pacífico occidental.

En las Tablas 3.1.1a y 3.1.1b se presentan las ecuaciones de crecimiento y peso-talla usadas para calcular las estimaciones de la talla y peso de peces a distintas edades para los análisis de rendimiento por recluta y cohorte comentados en la Sección 4.2.

#### **3.1.2. Reproducción**

Se sabe poco acerca de la reproducción del aleta azul del Pacífico. Harada (1980) manifestó que el desove ocurre a los 5 años de edad, aproximadamente, y que estas peces miden unos 150 cm de largo y pesan unos 60 kg. Según Yamanaka y asociados (1963), peces de 270 a 300 kg tienen unos 10 millones

de “huevos.” No se dispone de información sobre la frecuencia del desove.

### 3.1.3. Desplazamientos

Bayliff *et al.* (1991) describen los desplazamientos y migraciones de atunes aleta azul del Pacífico inmaduros. Se han encontrado larvas de la especie únicamente entre Filipinas y el sur del Japón y en el Mar de Japón, y se supone que el desove ocurre solamente en esas zonas. Ocurre durante la primavera y el verano, pero en esta sección se supone, por mayor sencillez, que los peces son criados el 1 de enero. Aparentemente, algunos peces permanecen toda la vida en el Pacífico occidental. Otros migran al OPO; estas migraciones comienzan principalmente o quizás exclusivamente durante el primer y segundo año de vida. Antes de empezar su viaje al OPO en el otoño o invierno, los migrantes de primer año se encuentran expuestos a la pesca con curricán dirigida hacia atunes aleta azul pequeños y otras especies frente al Japón en verano y otoño. Los migrantes de segundo año se encuentran expuestos además a la pesca con curricán y demás formas de pesca que se practican en las inmediaciones del Japón en invierno antes de comenzar su viaje al OPO en la primavera, el verano, o el otoño. Tras atravesar el océano, los peces migrantes están expuestos a pesquerías comerciales y deportivas frente a Alta y Baja California. Finalmente, los supervivientes regresan al Pacífico occidental.

La mayoría de los aletas azules capturados en el OPO son de 1 y 2 años de edad. Las capturas de peces de 2 años de edad en el OPO superan las del Pacífico occidental en la mayoría de los años, mientras que para peces de 3 años de edad ocurre lo contrario (Tabla 3.1.3). Esto indica probablemente que la población de peces de 2 años de edad es mayor en el OPO y que aquella de peces de 3 años de edad es mayor en el Pacífico occidental, aunque es posible que diferencias en el esfuerzo pesquero relacionadas con zonas y/o tamaños y/o vulnerabilidad a la captura sean responsables de las diferencias en las capturas. Estudios de datos estadísticos, frecuencia de talla, y de marcado han dado lugar a los siguientes postulados para la migración de peces entre el OPO y el Pacífico occidental:

1. Los peces llegan al OPO a 1 año de edad durante el año  $i$ , principalmente en junio o julio, y emprenden su viaje de regreso al Pacífico occidental a los 2 años de edad hacia fines del año  $i + 1$  o a 3 años de edad a principios del año  $i + 2$ ;
2. Los peces llegan al OPO a 1 año de edad durante el año  $i$ , principalmente en junio o julio, y emprenden su viaje de regreso al Pacífico occidental a 1 año de edad hacia fines del año  $i$  o a 2 años de edad a principios del año  $i + 1$ ;
3. Los peces llegan al OPO a 2 años de edad a principios del año  $i + 1$  y emprenden su viaje de regreso al Pacífico occidental a 2 años de edad hacia fines del año  $i + 1$  o a 3 años de edad a principios del año  $i + 2$ ;
4. Los peces llegan al OPO a 1 año de edad a principios del año  $i$  y emprenden su viaje de regreso como peces mayores;
5. Los peces llegan al OPO a 2 años de edad a principios del año  $i + 1$  y emprenden su viaje de regreso como peces mayores;
6. Los peces llegan al OPO a edades mayores de 2 años y subsecuentemente regresan al Pacífico occidental;
7. Los peces no migran al OPO en absoluto.

El Postulado 7 vale probablemente para la mayoría de los peces de algunas clases anuales. Esto quizá explicaría, al menos parcialmente, las capturas reducidas de aletas azules en el OPO durante las décadas de los 1980 y 1990. Una octava posibilidad sería una combinación de los Postulados 1, 2, 3, 4, ó 5 con el 6; es decir, los peces migran más de una vez del Pacífico occidental al OPO.

Estas hipótesis no consideran la posibilidad de que algunos peces empiecen migraciones transpacíficas pero que se vuelvan antes de llegar a su destino. El hecho de que los atunes aleta azul casi desaparezcan del OPO en el invierno y la primavera temprana podría indicar que estos peces ocupan zonas

fuera del alcance de la pesquería de superficie durante este período. Serían necesarios bastantes más datos del Pacífico central para poder establecer si ocurre esto y, de ser así, en cuál grado.

Tomlinson (1996) comenta los desplazamientos de aletas azules del Pacífico adultos en alta mar, inferidos de datos sobre la pesquería palangrera japonesa de altura. Los peces se encuentran distribuidos más al oeste durante la primavera y más al este durante el otoño (Figura 3.1.3). No es sorprendente que los peces estén concentrados cerca del Japón durante la primavera, ya que el aleta azul desova principalmente en la primavera, y se han encontrado larvas de la especie únicamente en el océano abierto entre Filipinas y el sur del Japón durante la primavera y en el Mar del Japón durante el verano. Aletas azules excepcionalmente grandes fueron capturados por barcos cerqueros en el OPO durante noviembre y diciembre de 1988 (Foreman e Ishizuka, 1990). Es posible que estos peces hayan aparecido en la pesquería del OPO porque se encontraban distribuidos más al este durante el otoño de 1988 que de costumbre.

### **3.1.4. Mortalidad natural**

Bayliff *et al.* (1991) usaron el método de Pauly (1980) para obtener una estimación de 0,276, con límites de confianza de 90% de aproximadamente 0,161 y 0,471, para el coeficiente de mortalidad natural anual de aleta azul del Pacífico de entre unos 16 y 153 cm. Es probable, sin embargo, que la mortalidad natural varíe con la edad, siendo mayor para los peces muy jóvenes y muy viejos que para los de edades intermedias.

### **3.1.5. Estructura del stock**

El desove de aleta azul del Pacífico ocurre únicamente entre Filipinas y el sur del Japón y en el Mar del Japón. A falta de evidencias al contrario, se supone que constituyen un solo stock. Datos de mercado (Bayliff *et al.*, 1991) parecen señalar que no existen stocks separados migratorio y no migratorio.

## **3.2. Influencias ambientales**

Según Bell (1963), se encuentra el aleta azul en el OPO con mayor frecuencia en aguas de entre 17° y 23°C de temperatura de superficie. En el Pacífico occidental se encuentran peces de entre 15 y 31 cm en aguas de entre 24° y 29°C de temperatura de superficie (Bayliff, 1994).

La supervivencia de las larvas y juveniles tempranos de la especie es indudablemente afectada de manera importante por las condiciones ambientales, pero no se dispone de datos al respecto. Las condiciones en el Pacífico occidental afectan probablemente cuáles porciones de los peces juveniles migran al OPO, y cuándo. Asimismo, las condiciones en el OPO probablemente afectan cuándo los peces juveniles regresan al Pacífico occidental.

## **4. EVALUACIÓN DEL STOCK**

### **4.1. Índices de abundancia**

Se han calculado los siguientes índices de abundancia, presentados en la Tabla 4.1, para el aleta azul en el OPO:

1. Captura

- a. captura comercial (Calkins, 1982)

- b. captura deportiva (Bayliff, 1996)

2. Captura por unidad de esfuerzo

- a. Índice Calkins: Calkins (1982) decidió que se consideraría todo esfuerzo cerquero esfuerzo para aleta azul a menos que se ejerciera (1) al sur de 23°N o en el Golfo de California, (2) durante el período de noviembre-abril, o (3) en un estrato de zona de 1°-mes en el cual no se realizaron lances dirigidos hacia aleta azul. Se dividieron las capturas de aleta azul al norte de 23°N y al oeste de California y Baja

California durante mayo-octubre de cada año por el esfuerzo de aleta azul para obtener las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) de aleta azul.

b. Índice de barcos que pescan aleta azul: Bayliff (1996) clasificó a todo buque cerquero atunero como “barco que pesca aleta azul” o “barco que no pesca aleta azul,” sobre la base de sus capturas de la especie durante períodos de cinco años. Luego dividió las capturas comerciales totales de aleta azul durante cada año por el número de barcos que pescaron aleta azul para obtener las CPUE de aleta azul por esos buques (Figura 4.1, panel superior). Se modificó posteriormente este índice (ver Anónimo (1997: 40-41)). Se cambiaron los criterios de clasificación de los buques, y ahora se calcula el índice dividiendo *las capturas totales de aleta azul por buques que pescan aleta azul* durante cada año por el número de dichos buques correspondiente.

c. Índice de hábitat de aleta azul: Ya que Bell (1963) demostró que se encuentra el aleta azul con mayor frecuencia en aguas de entre 17° y 23°C de temperatura de superficie, Bayliff (1996) consideró “hábitat de aleta azul” las zonas de 1° al norte de 23°N y al oeste de California y Baja California con temperaturas entre esos límites entre mayo y octubre. Dividió las capturas de aleta azul en dichas zonas durante cada año por el número correspondiente de días no estandarizados de esfuerzo de pesca para obtener CPUE de aleta azul (Figura 4.1, panel inferior).

3. Estudios aéreos: Bayliff (1996) comentó el uso de datos de estudios aéreos realizados por el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de EE.UU. durante 1962-1990 (Squire, 1972, 1983, y 1993) como índices de abundancia. Se realizan todavía estos estudios. Estos resultados podrían ser valiosos, ya que existen evidencias anecdóticas de que es a menudo difícil o imposible capturar aleta azul con redes de cerco cuando son relativamente abundantes. Cabe notar, sin embargo, que los índices de los estudios aéreos son extremadamente bajos para algunos años en los que se lograron capturas sustanciales (Tabla 4.1). Además, los aviones no cubren la zona al sur de 28°N.

## 4.2. Modelos de evaluación

### 4.2.1. Análisis de rendimiento por recluta

En Anónimo (1994) se describen los análisis de rendimiento por recluta para el aleta azul del Pacífico. Estos precisan un vector de estimaciones del peso de peces individuales desde el momento de reclutamiento a la pesquería hasta que desaparecen de la misma y vectores de mortalidad natural y por pesca durante ese período. En la Tabla 4.2.1a se presenta un vector de pesos, calculado con los datos en la Tabla 3.1.1a, y en las Tablas 4.2.1b y 4.2.1c vectores de mortalidad natural y por pesca, esencialmente conjeturas. Se supone que los peces permanecen en el Pacífico occidental toda la vida (Opción 0), comienzan una migración de oeste a este durante su primer año de vida y luego una en dirección contraria durante su tercer año de vida (Opción 1), o comienzan una migración de oeste a este durante su segundo año de vida y luego una en dirección contraria durante su tercer año de vida (Opción 2). Se fijaron los valores de  $F$  correspondientes en 0,4 para períodos de capturas sustanciales, 0,0 para períodos sin capturas o con capturas muy bajas, y 0,2 para períodos de transición. En la Figura 4.2.1 se grafican los rendimientos por recluta que se obtendrían con distintas edades de ingreso a la pesquería, distintos vectores de mortalidad natural, y tres multiplicadores de los vectores de esfuerzo de pesca. Ya que los valores de mortalidad natural y por pesca, especialmente la segunda, son esencialmente conjeturas, no se deberían interpretar de forma literal los resultados de estos análisis. En cada caso los datos indican que se puede obtener el rendimiento por recluta máximo con una edad de ingreso de 3 a 5 años (equivalente a tallas de unos 108 y 159 cm y pesos de unos 26 a 78 kg). Con tasas de mortalidad natural de 0,6, 0,5, 0,4, y 0,3 para peces de edad 0, edad 1, edad 2, y mayores, respectivamente (vector de  $M$  6 en la Figura 4.2.1), las curvas son relativamente planas, especialmente para el nivel más bajo de esfuerzo de pesca. En tal caso, no se esperaría mucha aumento en la captura con un aumento en la edad de ingreso. Se seleccionaron este vector y el vector de  $M$  3 para ilustrar casos extremos; los vectores de  $M$  2 y 5 son probablemente más verosímiles, suponiendo que la mortalidad natural disminuya con la edad.

#### 4.2.2. Análisis de cohortes

Se llevaron a cabo análisis de cohorte para el aleta azul del Pacífico con datos correspondientes al período de 1966-1986. Los datos sobre las capturas trimestrales en el OPO provienen de Bayliff (1993: Anexo 1), y los datos de capturas anuales de peces de los varios grupos de edad en el Pacífico occidental de Bayliff (1994: Tabla 12). Se estimaron las capturas trimestrales para el primer, segundo, tercer, y cuarto trimestre multiplicando las capturas anuales por 0,10, 0,30, 0,50, y 0,10, respectivamente. En la Tabla 4.2.1a se presentan datos sobre el peso promedio de los peces. A raíz de la falta de información sobre mortalidad natural, se usaron seis vectores experimentales de mortalidad natural,  $M$  (Tabla 4.2.1c). Se llevaron a cabo los análisis para 37 cohortes (1950 hasta 1986). Se efectuaron las estimaciones usando retrocálculos, y fue por lo tanto necesario estimar la tasa final de mortalidad por pesca ( $F$ ) para cada una de las cohortes. Se seleccionaron los valores finales de  $F$  mediante un procedimiento doble que consiste de (1) estimar el reclutamiento mínimo mediante la selección de un valor final de  $F$  elevado y (2) comparar los valores intratrimestrales de  $F$  correspondientes a distintas cohortes de la misma edad y ajustarlos para obtener valores que parecen razonables. El objetivo de este tipo de búsqueda es reducir las diferencias entre los valores de  $F$  de peces de edad similar pescados al mismo tiempo. Este procedimiento carece de un algoritmo que permitiría a distintos usuarios llegar a conclusiones idénticas, y es por lo tanto algo subjetivo. El método funciona bien para cohortes con un largo historial de captura, por ejemplo aquéllas de 1959 a 1981, pero no tan bien para las demás.

Los análisis de cohortes arrojaron estimaciones del reclutamiento durante cada año del período de 1966-1986 y valores de  $F$  para cada grupo de edad durante cada trimestre de ese período. Se combinaron estas estimaciones con estimaciones de  $M$  (Tabla 4.2.1c) para estimar las capturas del período de 1966-1986 que se pueden obtener con distintas combinaciones de  $M$ , multiplicadores de  $F$ , y edad de ingreso a la pesquería (Figura 4.2.2). (Un multiplicador de 1 para  $F$  corresponde a la mejor estimación de  $F$  promedio que existió durante ese período.) Con un multiplicador de 1, la captura hubiera sido mayor en cada caso si se aumentara la edad de ingreso de edad 0 a edad 1, edad 2, o edad 3. El aumento sería mayor para los vectores de mortalidad natural 1, 2, ó 3 que para los 4, 5, ó 6. Si el vector de mortalidad natural es 1, 2, ó 3 y la edad de ingreso permanece en 0 o se aumenta a 1, se lograrían capturas mayores si se redujera el esfuerzo a la mitad de su nivel actual. Con los vectores de mortalidad natural 4, 5, ó 6, en cambio, una reducción tal del esfuerzo resultaría en poco o ningún aumento en la captura (edad de ingreso = 0) o una reducción de la misma (edad de ingreso = 1).

#### 4.2.3. Relaciones reproductor-recluta y recluta-reproductor

Explotar un stock de peces reduce el tamaño de la población, y por consiguiente el número de reproductores y de huevos producido. Si se reduce suficientemente el número de huevos producido, se reducirá también el número de reclutas a la pesquería. Se define esta situación como sobrepesca de reclutamiento. Afortunadamente, una reducción del número de huevos producido no reduce necesariamente el número de reclutas porque, en general, las tasas de supervivencia de peces larvales y juveniles tempranos son mayores cuando se reduce su cantidad. Una de las metas de la evaluación de stocks es determinar el punto en el cual la reducción del número de reproductores es suficiente como para reducir el número de reclutas a la pesquería. Si se determina este punto, se puede administrar la pesquería de tal forma que se mantenga el número de reproductores a o por encima de ese nivel crítico. (Esta no es la única meta de la evaluación y administración de un stock. Por ejemplo, aun si el número de reproductores es suficiente, podría ser necesario administrar la pesquería para minimizar la captura de peces pequeños, ya que generalmente se pueden conseguir rendimientos por recluta mayores si se permite a los peces pequeños crecer antes de capturarlos.)

Para los análisis reproductor-recluta se comparan las cantidades de reclutas producidas a varios niveles de desove a fin de determinar, entre otras, el nivel al cual se debe mantener el stock para evitar sobrepesca de reclutamiento. Para los análisis recluta-reproductor se comparan las cantidades de huevos producidas por un stock de peces con y sin explotación a fin de determinar esquemas para aprovechar el

stock sin causar sobrepesca de reclutamiento.

#### 4.2.3.1. Relación reproductor-recluta

No se dispone de estimaciones del número ni de la densidad de los reproductores y reclutas de aleta azul en el Océano Pacífico. El mejor sustituto disponible para el segundo de éstos es las capturas de aletas azules de edad 0, en número de peces, en el Pacífico occidental (Tabla 3.1.3). Estas proporcionan un índice válido del reclutamiento si el esfuerzo de pesca y la vulnerabilidad de los peces a la captura no cambiaron durante el período en cuestión, pero no se dispone de información al respecto. Suponiendo que sí sean un índice adecuado del reclutamiento de aleta azul, no parece existir ninguna relación entre el desove y el reclutamiento *en el rango de abundancia de reproductores observado*.

#### 4.2.3.2. Relación recluta-reproductor

Se puede expresar la reducción en el potencial de desove de un stock de peces explotado como la relación entre el número de huevos producido con y sin explotación del stock. Esta proporción, denominada cociente de desove potencial (*spawning potential ratio*, o SPR) por científicos que estudiaron las relaciones recluta-reproductor de otras especies de peces, puede ser estimada a partir de una estimación del número relativo de huevos producido basada en estimaciones del peso relativo del stock de peces maduros en la población con y sin explotación y calculando el cociente del primero al segundo. Se han de satisfacer las condiciones siguientes:

1. El crecimiento de los peces no es afectado por la densidad de la población.
2. La proporción de machos a hembras no es afectada por explotación que cambia la composición por edad del stock.
3. El número de óvulos producido por año por las hembras es proporcional al peso de las mismas.
4. La calidad de los óvulos y la espermatozoa no varía con la edad de los peces.

Se aplicó este método al aleta azul en el Océano Pacífico, usando los datos de crecimiento y mortalidad detallados en las Tablas 3.1.1, 4.2.1b, y 4.2.1c. A falta de información al contrario, se supuso que se cumplían las cuatro condiciones arriba detalladas. Se supuso que los peces permanecen en el Pacífico occidental toda la vida (Opción 0), comienzan una migración de oeste a este durante su primer año de vida y luego una en dirección contraria durante su tercer año de vida (Opción 1), o comienzan una migración de oeste a este durante su segundo año de vida y luego una en dirección contraria durante su tercer año de vida (Opción 2). Se fijaron los coeficientes anuales de mortalidad por pesca en 0,4 para períodos de capturas sustanciales, 0,0 para períodos sin captura o con capturas muy bajas, y 0,2 para períodos de transición. Se seleccionaron los dos valores principales de mortalidad natural, 0,2 y 0,3, porque encerraban la estimación de 0,276 presentada en la Sección 3.1.4. Además, ya que parece probable que la mortalidad natural disminuya con la edad, se sustituyeron 0,2 y 0,3 con valores algo mayores para los primeros años de vida. Se supuso también que los peces alcanzan la madurez a los 5 años de edad. Finalmente, se supuso que los peces siguen vivos hasta alcanzar los 14 años de edad y que mueren en ese momento.

En la Tabla 4.2.3.2. se presentan los pesos relativos del stock de aleta azul maduro con y sin explotación y los SPR correspondientes. Se puede ver que el peso relativo con explotación es mucho menor que aquél sin, y que los SPR son bajos, entre 0,05 y 0,23. Se puede ver también que los SPR son considerablemente mayores para las Opciones 1 y 2 que para la Opción 0. Esto se debe a que se supuso que la tasa de mortalidad por pesca es menor en el OPO que en el Pacífico occidental durante ciertos trimestres y que no ocurre mortalidad por pesca de peces que estén atravesando el océano. Los peces tardan aparentemente unos dos años en migrar del OPO al Pacífico occidental (Bayliff *et al.*, 1991: Tabla 9), por lo que se supuso que no hay mortalidad por pesca para los migrantes (Opciones 1 y 2) durante su tercer y cuarto año de vida (Tabla 4.2.1c).

Se ha propuesto (Goodyear, 1990) que, como regla general, se deberían mantener los SPR a nive-

les mayores de 0,20. La mayoría de las estimaciones de los SPR para el aleta azul arriba calculados son inferiores a 0,20, pero no existe ninguna evidencia de que esto haya reducido el reclutamiento.

#### 4.2.4. Pronósticos de la abundancia de aleta azul

Datos de composición por edad (Tabla 3.1.3) brindan una base para examinar la posibilidad de que se pueda pronosticar la abundancia del aleta azul en el OPO. Se calcularon coeficientes de correlación para 12 parejas de datos (Tabla 4.2.4., recuadro superior) de la Tabla 3.1.3. Seis de las 12 pruebas arrojaron valores absolutos de  $r$  mayores de 0,4. El número de peces de edad 2 en el Pacífico oriental y occidental está correlacionado negativamente (Prueba 6), lo cual indica que las capturas pobres en el OPO podrían ser debidas, al menos parcialmente, a que una proporción de la población total inferior a la normal migrase del Pacífico occidental al oriental. Las capturas de peces de edad 1 y 2 en el OPO están correlacionadas positivamente (Prueba 7), lo cual indica que la captura de peces de edad 2 en el OPO puede ser predicha, aunque no muy bien, a partir de la captura de peces de edad 1 en el OPO un año antes. Las capturas de peces de edad 0 y 1 en el Pacífico occidental están altamente correlacionadas (Prueba 8), lo cual indica que la captura de peces de edad 1 en el Pacífico occidental puede ser predicha a partir de la captura de peces de edad 0 en esa zona un año antes.

La Prueba 11 arrojó un valor de  $r$  significativo al nivel de 1%, resultado no sorprendente dado que se obtuvo un valor de  $r$  aun más alto de la Prueba 8. Se obtuvo de la Prueba 12 un valor de  $r$  significativo al nivel de 5%; esto tampoco es sorprendente dado que se obtuvo de la Prueba 2 un valor casi significativo.

El coeficiente de correlación de las capturas de peces de edad 0 en el Pacífico occidental y las capturas de peces de edad 2 en el OPO dos años después es 0,442 (Tabla 4.2.4., Prueba 2). A pesar de que esta relación no es significativa al nivel de 5%, es posible que indique que la captura de peces de edad 2 en el OPO esté vinculada al reclutamiento de dos años antes, suponiendo que la captura de peces de edad 0 en el Pacífico occidental sea un índice válido del reclutamiento. Ya que la captura de peces de edad 2 en el OPO parece estar relacionada con el reclutamiento de dos años antes (Prueba 2) y la captura de peces de edad 2 en el Pacífico occidental en el mismo año (Prueba 6), se calculó un coeficiente de correlación múltiple (Prueba 13). El coeficiente de determinación múltiple resultante es altamente significativo, indicando que un 55,7% ( $0,746^2 \times 100$ ) de la variación de las capturas de peces de edad 2 en el OPO es explicado por (1) una relación positiva con el reclutamiento en el Pacífico occidental y (2) una relación negativa con la captura de peces de edad 2 en el Pacífico occidental. Ya que la mayor parte de la captura en peso del OPO en la mayoría de los años consiste de peces de edad 2, el reclutamiento de dos años antes y la emigración del Pacífico occidental parecen ejercer influencias importantes sobre las capturas totales en el OPO.

#### 4.3. Comparación con fuentes externas de datos

Bayliff (1994: Tabla 1) y Foreman (1996: Tabla 6) presentan estimaciones del crecimiento de aleta azul del Pacífico obtenidas de análisis de datos de partes duras, frecuencia de talla, y de marcado. Estas no concuerdan bien entre sí, ni tampoco con la relación de dos etapas de Bayliff *et al.* (1991).

#### 4.4. Sensibilidad a supuestos

Tal como se comenta en la Sección 4.3, las distintas estimaciones del crecimiento de aleta azul del Pacífico no concuerdan entre sí. Sin embargo, estas diferencias no son suficientes como para causar diferencias importantes en los resultados de los modelos con estructura de edades obtenidos con distintos parámetros de crecimiento. Por contraste, distintos vectores de mortalidad natural por edad (Tabla 4.2.1c) producen resultados considerablemente diferentes de los modelos con estructura de edades (Figuras 4.2.1 y 4.2.2).

## **5. CONDICIÓN DEL STOCK**

### **5.1. Comparación de los resultados del año en curso con los de años anteriores**

Las conclusiones de los análisis descritos en este informe son esencialmente iguales a las que se presentaron en Informe Anuales de la CIAT de años anteriores.

### **5.2. Comparación de los resultados del año en curso con los objetivos de administración**

La Convención de la CIAT dispone que el objetivo del personal de la CIAT con respecto a la administración es “recomendar ... la acción conjunta necesaria para ... mantener las poblaciones de peces que abarca esta Convención en el nivel de abundancia que permita la pesca máxima constante.” En la Sección 5.3 se describe cómo se podría realizar este objetivo.

### **5.3. Resumen**

Las capturas totales de aleta azul del Pacífico por todos tipos de arte de pesca no han disminuido (Tabla 2.2a), pero en la pesquería palangrera las capturas en la zona núcleo disminuyeron enormemente entre 1952 y 1986, mientras que la disminución en el esfuerzo en esas zonas fue menor (Tomlinson, 1996: Tablas 1 y 4). Esto indica probablemente que la abundancia de aletas azules grandes se redujo durante dicho período. Las capturas de peces juveniles en el OPO fueron menores durante las dos últimas décadas del siglo que durante las tres anteriores, pero esta disminución podría deberse al menos en parte a la reducción del número de buques pescando aleta azul en el OPO, ya que ni el índice de buques que pescan aleta azul ni el índice de hábitat señala una disminución en la abundancia de los peces. Además, es posible que cambios a largo plazo en las condiciones oceanográficas hayan afectado las proporciones de juveniles que migran del Pacífico occidental al OPO y/o la duración media de su estancia en el OPO.

Aunque las capturas totales de aleta azul del Pacífico no han disminuido, los resultados de los análisis de rendimiento por recluta y de cohortes indican que se podrían obtener capturas mayores si se redujeran o eliminaran las capturas de peces de edad 0 y de edad 1 en el OPO y Pacífico occidental.

Los análisis reproductor-recluta no indican que se incrementaría el reclutamiento de aleta azul del Pacífico si se permitiera a más peces desovar.

## **6. DIRECCIONES FUTURAS**

### **6.1. Colección de información nueva y/o actualizada**

Son necesarios mejores datos de captura y esfuerzo y de frecuencia de tamaño para el Pacífico occidental. Con estos datos sería posible calcular índices de abundancia para el Pacífico occidental y realizar análisis de cohortes para el Pacífico occidental y para el Océano Pacífico entero.

Estimaciones fiables de la mortalidad natural por edad constituyen una necesidad urgente. Se podría probablemente mejorar las estimaciones actuales, esencialmente conjeturas, si se dispusiera de datos mejores de captura y esfuerzo y frecuencia de tamaños para el Pacífico occidental.

Se sabe poco acerca de la migración entre el Pacífico occidental y el OPO. Estudios de la oceanografía del Pacífico occidental, en conjunto con información sobre la migración del Pacífico occidental al OPO, podrían arrojar información sobre porqué y cuándo migran los peces. Las marcas convencionales producen en el mejor de los casos solamente información sobre los lugares y fechas de liberación y recaptura y el tamaño de los peces en esos dos momentos. Todas las liberaciones y la gran mayoría de las recapturas tuvieron lugar en el OPO o el Pacífico occidental. Las marcas archivadoras y desprendibles producen mucha más información. Las marcas archivadoras registran la posición de los peces a intervalos frecuentes entre liberación y recaptura, y permiten saber cuándo comenzaron y terminaron las migraciones transoceánicas y dónde estuvieron los peces durante las mismas. Se pueden programar las marcas desprendibles para salir a la superficie a intervalos determinados, lo cual permite saber dónde estuvieron los peces a varios intervalos después de la liberación. Las marcas archivadoras producen más información, pero se recupera solamente el 5 a 10%. Si las marcas desprendibles están bien hechas y el equipo de

detección funciona debidamente, se recuperaría el 100%.

Sería quizá posible reunir mejores datos de captura y esfuerzo y de frecuencia de talla, particularmente del Pacífico occidental, de años anteriores. Se deberían separar los datos de frecuencia de talla para pescado capturado en el OPO con red de cerco y en la pesca deportiva, y explorar la posibilidad de obtener datos de captura y esfuerzo más fiables para la pesquería deportiva del OPO para años anteriores.

## **6.2. Refinamientos de modelos y/o métodos de evaluación**

Si se dispusiera de datos mejores, tal como se comenta en la Sección 6.1, sería posible calcular índices de abundancia más precisos y realizar análisis de rendimiento por recluta, cohortes, y reproductor-recluta más fiables.

## REFERENCES--REFERENCIAS

- Anonymous. 1992. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1991: 271 pp.
- Anonymous. 1994. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1993: 316 pp.
- Anonymous. 1997. Quarterly Report, Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Jul.-Sep. 1997: 48 pp.
- Anonymous. 1999a. Quarterly Report, Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Jul.-Sep. 1999: 66 pp.
- Anonymous. 1999b. Pelagic fisheries of the western Pacific region: 1998 annual report (Draft 12/01/99). Western Pacific Regional Fishery Management Council, Honolulu, Hawaii.
- Anonymous. 2000. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1998: 357 pp.
- Anonymous. 2001. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 1999: in preparation.
- Bayliff, William H. 1991. Status of northern bluefin tuna in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Spec. Rep., 7: 29-88.
- Bayliff, William H. 1993. Growth and age composition of northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, caught in the eastern Pacific Ocean, as estimated from length-frequency data, with comments on trans-Pacific migrations. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20 (9): 501-540.
- Bayliff, William H. 1994. A review of the biology and fisheries for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. FAO, Fish. Tech. Pap., 336 (2): 244-295.
- Bayliff, William H. 1996. Indices of abundance of northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the eastern Pacific Ocean. FAO Fish. Tech. Pap., 365: 460-475.
- Bayliff, William H., Yoshio Ishizuka, and Richard B. Deriso. 1991. Growth, movements, and mortality of northern bluefin, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean, as determined from tagging experiments. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20 (1): 1-94.
- Bell, Robert R. 1963. Synopsis of biological data on California bluefin tuna *Thunnus saliens* Jordan and Evermann 1926. FAO, Fish. Rep., 6 (2): 380-421.
- Calkins, Thomas P. 1982. Observations on the purse-seine fishery for northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18 (2): 121-225.
- Curran, Daniel S., Christofer H. Boggs, and Xi He. 1996. Catch and effort data from Hawaii's longline fishery summarized by quarters and five degree squares. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., NOAA Tech. Mem. NMFS: iii. 68 pp.
- Foreman, Terry. 1996. Estimates of age and growth, and an assessment of ageing techniques, for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 21 (2): 71-122.
- Foreman, Terry J., and Yoshio Ishizuka. 1990. Giant bluefin off Southern California, with a new California size record. Calif. Fish Game, 76 (3): 181-186.
- Goodyear, C. P. 1990. Spawning stock biomass per recruit: the biological basis for a fisheries management tool. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap., 32 (2): 487-497.
- Harada, Teruo. 1980. Maguro-rui yosei kenkyu no shinten to tenbo (Progress and future prospects in tuna culturing studies). Far Seas Fish. Res. Lab., Japan Tuna Research Conf., Proc., 1979: 50-58 (translation by Otsu, Tamio, U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Honolulu).
- Ito, Russell Y., and Walter A. Machado. 1997. Annual report of the Hawaii-based longline fishery for 1996. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Southwest Mar. Sci. Center, H-97-12: v, 48 pp.
- Itoh, Tomoyuki, Sachiko Tsuji, and Akira Nitta. 1999. Trans-Pacific migration of bluefin tuna observed with archival tags. Proc. 50th Annual Tuna Conference, Lake Arrowhead, California, May 24-27, 1999: 36.

- Leet, William S., Christopher M. Dewees, and Charles W. Haugen (editors). 1992. California's Living Marine Resources and their Utilization. Calif. Sea Grant Extension Publ., UCSGEP-92-12: iv, 257 pp.
- Nakamura, Hiroshi. 1969. Tuna Distribution and Migration. Fishing News (Books) Ltd., London: 76 pp.
- Park, Yeong Chull, Won Seok Yang, and Tae Ik Kim. 1994. Status of Korean tuna longline and purse-seine fisheries in the Pacific Ocean. FAO, Fish. Tech. Pap., 336 (2): 153-162.
- Pauly, Daniel. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperatures in 175 fish. Cons. Inter. Explor. Mer, Jour., 39 (2): 175-192.
- Shingu, Chiomi, Yukio Warashina, and Norio Matsuzaki. 1974. Distribution of bluefin tuna exploited by longline fishery in the western Pacific Ocean. Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 10: 109-140.
- Squire, James L., Jr. 1972. Apparent abundance of some pelagic marine fishes off the southern and central California coast as surveyed by an airborne monitoring program. U.S. Nat. Mar. Fish Serv., Fish. Bull., 70 (3): 1005-1019.
- Squire, James L., Jr. 1983. Abundance of pelagic resources off California, 1963-78, as measured by an airborne fish monitoring program. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-762: v, 75 pp.
- Squire, James L., Jr. 1993. Relative abundance of pelagic resources utilized by the California purse-seine fishery: results of an airborne monitoring program, 1962-90. U.S. Nat. Mar. Fish Serv., Fish. Bull., 91 (2): 348-361.
- Tomlinson, Patrick K. 1996. Movement of large bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the north Pacific Ocean, as determined from the Japanese longline fishery, and implications regarding interactions between the fisheries of the western and eastern Pacific Ocean. FAO Fish. Tech. Pap., 365: 425-459.
- Uosaki, Koji, and William H. Bayliff. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 21 (6): 273-488.
- Vojkovich, Marija, and Kristine Barsky. 1998. The California-based longline fishery for swordfish, *Xiphias gladius*, beyond the U.S. Exclusive Economic Zone. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., NOAA Tech. Rep. NMFS 142: 147-152.
- Yamanaka, Hajime. 1958. Studies on the bluefin tuna. I. The modes of the weight compositions of the catch. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 9: 125-135.
- Yamanaka, Hajime, and staff. 1963. Synopsis of biological data on kuromaguro *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel) 1842 (Pacific Ocean). FAO, Fish. Rep., 6 (2): 180-217.
- Yamanaka, Hajime. 1982. Fishery Biology of the Bluefin Tuna Resource in the Pacific Ocean, Suisan Kenyo Sosho, 34: 140 pp.
- Yokota, Takio, Masahiro Toriyama, Fukuko Kanai, and Seizi Nomura. 1961. Studies on the feeding habit of fishes. Nankai Reg. Fish. Reg. Lab., Rep., 14: 1-234.
- Yukinawa, Mori, and Yoichi Yabuta. 1967. Age and growth of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus), in the north Pacific Ocean. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 25: 1-18.