

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

Bulletin — Boletín

Vol. 20, No. 1

**GROWTH, MOVEMENT, AND ATTRITION OF NORTHERN BLUEFIN  
TUNA, *THUNNUS THYNNUS*, IN THE PACIFIC OCEAN, AS DETERMINED  
BY TAGGING**

**CRECIMIENTO, MOVIMIENTOS, Y AGOTAMIENTO DEL ATUN ALETA  
AZUL DEL NORTE, *THUNNUS THYNNUS*, EN EL OCEANO PACIFICO,  
DETERMINADO A PARTIR DEL MARCADO**

**by — por**

**William H. Bayliff, Yoshio Ishizuka, and Richard B. Deriso**

La Jolla, California

1991

## CONTENTS-INDICE

### ENGLISH VERSION – VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT .....	3
INTRODUCTION .....	3
MATERIALS AND METHODS .....	4
RESULTS AND ANALYSES .....	5
Growth .....	5
Movements .....	8
Within the western Pacific Ocean .....	10
From the western Pacific to the mid-Pacific area .....	13
From the western to the eastern Pacific .....	13
Within the eastern Pacific Ocean .....	15
From the eastern to the western Pacific .....	16
Attrition .....	16
LIFE HISTORY AND STOCK STRUCTURE .....	17
ACKNOWLEDGEMENTS .....	19

---

FIGURES – FIGURAS .....	21
-------------------------	----

---

TABLES – TABLAS .....	61
-----------------------	----

### VERSION EN ESPAÑOL – SPANISH VERSION

	Página
RESUMEN .....	71
INTRODUCCION .....	71
MATERIALES Y METODOS .....	72
RESULTADOS Y ANALISIS .....	73
Crecimiento .....	73
Movimientos .....	76
En el Océano Pacífico occidental .....	79
Del Pacífico occidental al área central .....	81
Del Pacífico occidental al oriental .....	82
En el Océano Pacífico oriental .....	83
Del Pacífico oriental al occidental .....	85
Agotamiento .....	85
CICLO VITAL Y ESTRUCTURA DE STOCKS .....	86
RECONOCIMIENTOS .....	89

---

LITERATURE CITED – LITERATURA CITADA .....	90
--	----

---

APPENDIX – ANEXO .....	93
------------------------	----

GROWTH, MOVEMENT, AND ATTRITION OF NORTHERN BLUEFIN  
TUNA, *THUNNUS THYNNUS*, IN THE PACIFIC OCEAN, AS  
DETERMINED BY TAGGING

by

William H. Bayliff, Yoshio Ishizuka<sup>1</sup> and Richard B. Deriso

ABSTRACT

The growth of northern bluefin tuna is described by a two-stanza model. 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.

Age-0 fish tagged and released in the western Pacific Ocean have been recaptured in the western, central, and eastern Pacific. The minimum time between release in the western Pacific and recapture in the eastern Pacific is 215 days. Older fish, mostly 1- and 2-year olds, tagged and released in the eastern Pacific have been recaptured in the eastern and western Pacific. The minimum time between release in eastern Pacific and recapture in the western Pacific is 674 days.

The coefficient of natural mortality is estimated from data on growth and ambient temperature to be 0.276 on an annual basis, with 90-percent confidence limits of 0.161 and 0.471.

Spawning of northern bluefin takes place only in the western Pacific. Some of the juveniles migrate to the eastern Pacific, where they reside for several months to several years before returning to the western Pacific. The portion of fish which migrate to the eastern Pacific varies among years, and this appears to be an important cause of the annual variation in the catches in the eastern Pacific Ocean.

INTRODUCTION

Northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, occur in both the Atlantic and Pacific Oceans. The world and Pacific Ocean catches of northern bluefin are much less than those of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, yellowfin, *Thunnus albacares*, bigeye, *T. obesus*, or albacore, *T. alalunga* (Anonymous, 1989: Figures 6 and 7), but nevertheless the fishery is of considerable economic value. The catches in the eastern Pacific have declined in recent years (Figure 1), which is a matter of concern to the National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF) of Japan and the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC). Although bluefin occur in both the western and eastern Pacific, spawning has been reported only in the western Pacific (Yamanaka and staff, 1963; Yabe *et al.*, 1966; Nishikawa *et al.*, 1985), and tagged fish released in both the western and eastern Pacific have made trans-oceanic migrations (Clemens and Flittner, 1969; Anonymous, 1989: Tables

<sup>1</sup> Present address: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japan

14 and 15). Accordingly, it is appropriate that the two organizations cooperate with one another in studies of this species.

Nothing has been published about tagged bluefin released in the western Pacific Ocean, except for two sentences describing unsuccessful experiments conducted on "young" fish off the Japan Sea coast of Hokkaido in 1933 and 1934 (Yamanaka and staff, 1963) and the mention by Clemens and Flittner (1969) of two recaptures in the eastern Pacific Ocean from "several hundred" tagged fish released in the western Pacific in 1965. Chatwin and Orange (1960), Bayliff and Calkins (1979), Bayliff (1980), and Hanan (1983) have discussed the movements and mortality of tagged bluefin released and recaptured in the eastern Pacific Ocean, and Orange and Fink (1963) and Clemens and Flittner (1969) have described migrations of bluefin from the eastern to the western Pacific. The present report includes, in addition to more detailed analyses of the above, information about the growth of bluefin, its movements within the western Pacific, and its migration from the western to the eastern Pacific.

### MATERIALS AND METHODS

The methods of tagging tunas and recovery of the tagged fish are described by Bayliff and Holland (1986). Most of the tagged fish released in the western Pacific were caught by trolling, and the rest were caught in traps (Table 1). The return rates were lower for the trap-caught fish than for the troll-caught fish in most cases. The return rates were high for the tagged trap-caught fish released at Toyama Bay during June-July 1980, but most of these were recaptured in the same or nearby traps within a few days, so the return data are of little value for most purposes. Practically all of the tagged fish released in the eastern Pacific were caught by purse seining (Table 2). Purse seining, unfortunately, is not a good way to catch fish for tagging, as the survival of purse seine-caught tagged fish is low (Bayliff, 1973). There was no alternative, however, as bluefin are rarely caught in the eastern Pacific by gear other than purse seines.

When the fish were tagged most of them were measured to the nearest 5 centimeters, 1 centimeter, or 1 millimeter, from the tip of the snout to the fork of the tail (fork length). When they were recovered most of them were measured from the tip of the snout to the fork of the tail, but some were measured from the tip of the snout to the middle of an imaginary line between the dorsal and ventral tips of the caudal fin (total length), a few were measured from the tip of the snout to "the posterior end of the muscular knob on [the] caudal base" (body length) (Kimura, 1956), and others were weighed or neither measured nor weighed. The total and body lengths were converted to fork lengths by the formulae

$$FL = 9.41 + 0.892TL \quad (1a)$$

or

$$FL = 1.090BL \quad (1b)$$

where  $FL$  = fork length,  $TL$  = total length, and  $BL$  = body length, all in millimeters. In general, the weights were not converted to lengths because it was believed that mixing length estimates derived from such a procedure with length measurements would reduce the overall quality of the data. Also, it was not always possible to tell which weights were accurately measured and which were estimated. The weights of two fish were converted to lengths, however. This was done because both fish had been at liberty long periods of time (March 1980 to June 1983), and it was judged that the benefits of using these data for estimation of a growth curve outweighed the objections to this procedure. The formula

$$\ln l = (\ln w + 17.5)/2.97 \quad (2)$$

(Anonymous, 1981: 39), where  $l$  = length in millimeters and  $w$  = weight in kilograms was used to convert the weights to lengths.

## RESULTS AND ANALYSES

### GROWTH

The maximum lengths and weights recorded for northern bluefin in the Pacific Ocean, from Foreman and Ishizuka (1990), are as follows:

Location	Date	Length (cm)	Weight (kg)
between 27° and 29°N and 130° and 133°E	April 1986	ca. 300	ca. 555.5
San Nicolas Island (ca. 33°30'N-119°30'W)	December 18, 1988	271	458

The parameters of the von Bertalanffy growth equation for the bluefin in the Pacific Ocean have been estimated by various workers from analyses of hard part and length-frequency data. These data are summarized in Table 3. The estimates of the average lengths at ages 1-6 are fairly close to one another, but the estimates of  $L_{\infty}$  and  $K$  of Anonymous (1986) are considerably greater and less, respectively, than those of the other workers.

Bayliff and Calkins (1979) attempted to estimate the parameters of the von Bertalanffy growth equation for bluefin from data for tagged fish released in the eastern Pacific during 1963 and 1964 by the U.S. Bureau of Commercial Fisheries, the California Department of Fish and Game, and the Mission Bay Research Foundation. These fish were measured only to the nearest 5 cm prior to release. Comparison of the lengths at release and recapture for 30 fish at liberty 1 to 20 days indicated that there was an upward bias in the measurements of the lengths at release, so adjustments were made to cancel out this bias. Despite these adjustments, unrealistic estimates of the growth parameters were obtained from these data. In conclusion, it was recommended that "if northern bluefin are tagged in the future . . . they [should] be measured to the nearest 1 cm, and with sufficient care to minimize the bias."

For the present study, data for the bluefin tagged and released during 1980-1988 were used to study their growth. These fish had been measured to the nearest centimeter or, in some cases, the nearest millimeter, and with considerable care so as to minimize the bias.

Before proceeding with the principal analyses, data on the linear growth rates of fish released and recaptured on the same side of the ocean (local fish) and of transoceanic migrants were assembled (Table 4) to see if the growth rates differed. The data were stratified by length at release and days at liberty because it was believed that the growth curve is convex upward, and if that is true more rapid growth rates would be expected for the smaller fish and those at liberty shorter periods of time. Tests were conducted for the fish 451 to 600 mm long at release which were at liberty 361 to 540 days and 541 to 720 days. For those at liberty 361 to 540 days, Levene's test (Brown and Forsythe, 1974a) indicated that the variances were not homogeneous ( $F = 6.95$ ; d.f. = 1, 41;  $P < 0.05$ ), so the Brown-Forsythe method (Brown and Forsythe, 1974b) was used to compare the growth rates. This test indicated that the growth rates were significantly different ( $F = 44.47$ ; d.f. = 1, 38;  $P < 0.01$ ). For the fish at liberty 541 to 720 days, Levene's test indicated that the variances

were homogeneous ( $F = 3.15$ ; d.f. = 1, 20;  $P > 0.05$ ), so the growth rates were compared by one-way analysis of variance. This test did not indicate that the growth rates were different ( $F = 3.69$ ; d.f. = 1, 20;  $P > 0.05$ ).

Turning now to the principal analyses, the complete set of data for 1980-1988 includes many fish less than 30 cm in length at release and many fish at liberty less than 1 year, and relatively few larger fish or fish at liberty more than 1 year. It is believed that better results could be obtained if more larger fish and more fish at liberty for longer periods of time were included in the data. To remedy this as much as possible the data were grouped by times at liberty and lengths at release, a procedure first used by Joseph and Calkins (1969) for skipjack tuna. The times at liberty and lengths at release selected were 1-30, 31-60, 61-90, . . . days and 151-200, 201-250, 251-300, . . . mm, respectively, and the means for each group were substituted for the individual values. The following four data sets were used: (1) all the data, regardless of which side of the ocean the fish were released or whether or not they were recaptured on the opposite side of the ocean (Appendix 1); (2) all the data for fish which were released in the western Pacific Ocean; (3) all the data for fish which were recaptured on the same side of the ocean they were released; (4) all the data for fish which were released and recaptured in the western Pacific Ocean.

The median growth, according to the model of Deriso and Parma (1987), follows the first-order difference equation

$$x_{t+1} = a + bx_t \quad (3)$$

where

$x$  is a transformation of length and

$t$  = time in days.

To fit the tagging release and recapture data, Equation (3) is rewritten as

$$x_{t_2} = x_{\infty} + (x_{t_1} - x_{\infty}) e^{-K(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

where

$$x_t = (L_t^{\lambda} - 1)/\lambda$$

in which

$L_t$  = length at time  $t$  and

$\lambda$  = a transformation parameter.

Such being the case, Equation (4) becomes

$$(L_{t_2}^{\lambda} - 1)/\lambda = (L_{\infty}^{\lambda} - 1)/\lambda + [(L_{t_1}^{\lambda} - 1)/\lambda - (L_{\infty}^{\lambda} - 1)/\lambda] e^{-K(t_2 - t_1)} \quad (5a)$$

or

$$L_{t_2}^{\lambda} = L_{\infty}^{\lambda} + (L_{t_1}^{\lambda} - L_{\infty}^{\lambda}) e^{-K(t_2 - t_1)} \quad (5b)$$

The parameters to be estimated in Equation (5) are  $L_\infty$ , the asymptotic length,  $\lambda$ , the exponent, and  $K$ , the coefficient of growth. When  $\lambda = 1$  Equation (5) is the von Bertalanffy growth equation, and when  $\lambda = 0$  it is the Gompertz growth equation.

To fit Equation (5), the lengths at release and recapture were substituted for  $L_{t_1}$  and  $L_{t_2}$ , respectively, and the days at liberty was substituted for  $t_2 - t_1$ . The measurement error was assumed to be additive and normal, and the procedure of Ruppert and Carroll (1985) was used to find the maximum likelihood estimates. The estimates of the parameters for all the data, with values for  $\lambda$  of 1.0 and 1.3 (which gave the maximum value for the likelihood), appear in the upper panel of Table 5.

A plot of the residuals (Figure 2, upper panel) showed a preponderance of positive values for smaller fish, suggesting that the growth occurs in two stanzas, so a further model was considered, in which:

Stanza 1 (curvilinear):  $L_t$  follows Equation (5) when  $L_t \leq L^*$

Stanza 2 (linear):  $L_t = L^* + \beta\Delta t$  for  $L_t > L^*$  (6)

where  $L^*$  is the size at which the growth changes to the second stanza and  $\Delta t$  is time in the second growth stanza.

Solving Equation (4) for  $t^*$ , at which  $x_t = x^*$ ,

$$t^* - t_1 = -(1/K)\ln\left(\frac{x^* - x_\infty}{x_1 - x_\infty}\right) \quad (7)$$

where  $x^* = (L^{*\lambda} - 1)/\lambda$ . This implies that

$$\Delta t = t_2 - t_1 - [t^* - t_1] \quad (8)$$

The two-stanza model has two additional parameters,  $L^*$ , the length at which the growth changes from the first to the second stanza, and  $\beta$ , the slope of the second stanza. A plot of the residuals (Figure 2, lower panel) shows a much more uniform distribution of positive and negative values.

The estimates of the parameters and the logarithms of the likelihoods for both the three- and five-parameter models are shown in Table 5. The best fit for the three-parameter model ( $\lambda = 1.3$ ) gives high and low values for  $L_\infty$  and  $K$ , respectively, as do the data of Anonymous (1986) (Table 3). All four combinations of data for the five-parameter model give better fits for  $\lambda = 0.001$  (Gompertz model) than for  $\lambda = 1$  (von Bertalanffy model). The logarithms of the likelihoods were significantly less for the three-parameter model, indicating that the growth of bluefin is expressed better by the five-parameter model.

Growth curves for both the three- and five-parameter models are shown in Figure 3. All four curves originate at 200 mm, which makes it appear that the growth is slower during the first 1,000 days for the three-parameter models. Such is not necessarily the case, however; if all four curves originated at about 250 mm they would nearly coincide between about 400 and 1,000 days.

Spawning of bluefin occurs principally in April, May, June, and July (Yamanaka and staff, 1963; Yabe *et al.*, 1966; Nishikawa *et al.*, 1985). The peak of spawning probably occurs in May (Yamanaka and staff, 1963), so the average date of hatching is about May 15. Juvenile bluefin 20 and 25 cm in length are most abundant in the troll catches south of Shikoku on about August 1 and 15, respectively, so day 0 for the five- and three-parameter models corresponds to ages of about 75 and 90 days, respectively.

## MOVEMENTS

A certain proportion of the fish which occur in a hypothetical Area A at Time 1 will occur later in a hypothetical Area B at Time 2. If there is a fishery this proportion can be estimated by releasing tagged fish in Area A and sampling the fish caught in Area B and other areas for tagged individuals, and then dividing the number of tagged fish recaptured in Area B by the number of tagged fish recaptured in all areas combined. There are various possible biases which should be considered, however.

Some of the fish which are destined to move to Area B will be recaptured in Area A before they have a chance to do so, and others will be recaptured in the areas, if any, between Area A and Area B through which the fish must pass. If the fishery in all areas is light a greater proportion of those destined to migrate to Area B will be recaptured there than if the fishery in all areas is heavy. If Areas B and C are equidistant from Area A the relative proportions which move to each can be estimated without bias regardless of the intensity of the fishery, provided the intensity is the same in all areas. If one area is closer to Area A than the other, however, the bias will be increasingly in favor of the closer area with increasing intensity of fishing.

The situation is further complicated by the fact that neither the fishing effort nor the vulnerability of the fish to capture is likely to be the same in all area-time strata. If the numbers of tagged fish occurring in two area-time strata are the same, and one has greater fishing effort or greater vulnerability of the fish to capture than the other, more tagged fish are likely to be recaptured in the first area than in the second. If estimates of the fishing effort are available for each area-time strata these can be used to adjust the data for recaptures of tagged fish to compensate for the fact that the effort is not equal in the various strata (Bayliff and Rothschild, 1974). Essentially, comparisons are made of the numbers of tagged fish returned per unit of fishing effort in the various area-time strata, rather than the numbers of tagged fish returned in those strata. It was not possible to do this for the present study, however. Bluefin are caught by a variety of gears in the vicinity of Japan, many of which fish for other species as well as for bluefin. Data which could be used to produce meaningful compilations of effort are not available for most of them. Such being the case, it is probably not possible to calculate useful estimates of the catches per unit of effort of bluefin for all areas, seasons, and gear types, and then standardize the data to a single gear type. In the eastern Pacific Ocean bluefin are caught almost entirely by purse seines. The eastern Pacific purse-seine fishery for tunas is directed principally at yellowfin and skipjack. It operates over a wide area of the eastern Pacific, and bluefin occur in only a small fraction of this area, and mostly during May to October. Calkins (1982) counted "as bluefin effort only the effort north of 23°N during May-October in 1-degree area-month strata in which purse-seine sets with bluefin occurred." Accordingly, charts of distribution of effort would differ little from the charts of distribution of catches shown by Calkins (1982: Figures 3 and 4).

In this report the movements of bluefin are analyzed chiefly by two methods, the map method and the Jones method.

The map method consists merely of analysis of maps of the locations of release and recapture of tagged fish. The locations of release and recapture of the fish of each group of releases for the experiments described in the present report are shown in Figures 4-5 and 9-10. These maps give a useful impression of the distances and directions travelled, but do not express these parameters in detailed quantitative terms. Furthermore, except for a few of the releases (Figures 5 and 10), there is no provision for indicating the times at liberty.

A more sophisticated method was devised by Jones (1959 and 1976). Fink and Bayliff (1970) modified the method by calculating the parameters for fish which had moved in eight different directions, as well as for all the fish combined, and Bayliff and Rothschild (1974) further modified it



by the introduction of a system of weighting by effort in the various area-time strata.

The dispersion of the fish is analyzed from data on the months of recapture, days at liberty, distances of movement, and directions of movement. Eight directions of movement,  $0^\circ-44^\circ$  true = 1,  $45^\circ-89^\circ$  true = 2, . . . ,  $315^\circ-359^\circ$  true = 8, are used for presentation of the data in Figures 6-7 and 11-12, but the calculations were made with the actual directions, to the nearest degree.

The following calculations were made by month of recapture, by all months combined, by direction of movement, and by all directions of movement combined.

$$\bar{t}_{jk} = \sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} t_{jk} / n_{jk} \quad (9)$$

where

$\bar{t}_{jk}$  = average time at liberty for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,  
 $t_{jk}$  = time at liberty for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ , and  
 $n_{jk}$  = number of fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$\bar{r}_{jk} = \sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} r_{jk} / n_{jk} \quad (10)$$

where

$\bar{r}_{jk}$  = average distance of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and  
 $r_{jk}$  = distance of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ ,

$$v_{jk} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} r_{jk} \sin \Theta_k\right)^2 + \left(\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} r_{jk} \cos \Theta_k\right)^2}}{\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} t_{jk}} \quad (11)$$

where

$v_{jk}$  = mean velocity of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$  and

$\Theta_k$  = direction of movement for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ , and

$$a_{jk}^2 = \frac{1}{n_{jk}} \left[ \sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} \frac{r_{jk}^2}{t_{jk}} - \frac{\left(\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} r_{jk} \sin \Theta_k\right)^2 + \left(\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} r_{jk} \cos \Theta_k\right)^2}{\sum_{n_{jk}}^{n_{jk}} t_{jk}} \right] \quad (12)$$

where

$a_{jk}^2$  = mean square dispersion coefficient for fish recaptured in month  $j$  which had moved in direction  $k$ .

The significances of the mean velocity of movement and the mean square dispersion coefficient have been discussed by Jones (1959 and 1976). Briefly, the former pertains to directional movement and the latter to random movement. The latter is a measure of the average amount of deviation from the mean direction of movement. A high value of  $v_j$  and a low value of  $a_j^2$  would indicate directional movement with little dispersion, while a low value of  $v_j$  and a high value of  $a_j^2$  would indicate the reverse. Even if the movement is random, the values of  $v_j$  would not be expected to equal 0 for the groups of fish which were released close to shore, as the fish were restricted in their movements toward shore.

The directions and average distances of movement are shown in Figures 6 and 11. The numbers near the heads of the arrows indicate the numbers of fish which moved in each direction and the average distances of movement, in nautical miles, respectively. The lengths of the lines are proportional to the average distances of movement.

The directions and average distances of movement by month of recapture are shown in Figures 7 and 12. The data for fish moving in different directions are shown in different panels of the graphs. The points for consecutive months are joined by solid lines and those for non-consecutive months by dashed lines. The numbers near the points indicate the numbers of fish in each month. In some cases the numbers in the bottom panels exceed the totals of those in the panels above them. The differences equal the numbers of fish which were recaptured at the locations of release and had net movements of 0 nautical miles (nm). The values of  $v_k$  appear in all the numbered panels, and the values of  $v_{..}$  and  $a_{..}$  appear in the bottom panels. The diagrams are useful for detecting seasonal migrations. For instance, if the fish were at the southern end of their range in January and at the northern end of it in July, and they were tagged and released in January,  $\bar{r}_j$  would increase for about 6 months and then decrease. Also, there would be many fish in the panels for Directions 1 and 8 and few in the panels for Directions 4 and 5 during February-June, whereas the reverse would be the case during August-December.

The mean square dispersion coefficients by month of recapture are shown in Figures 8 and 13. The points are plotted only for the months which include at least five returns. The numbers near the points indicate the numbers of fish recaptured during each month.

A great majority of the tagged fish were in their first year of life when they were released. Hatching occurs mostly in about May, so the ages of release of the fish were about 2 to 5 months for Kochi and Shizuoka, 3 months for Miyazaki, Cape Noma, and Okinawa, 6 months for Shimane, 6 to 9 months for Nagasaki, 7 to 12 months for Kagoshima, and 6 to 13 months for Toyama Bay (Table 1). Those released at Hokkaido were a little older; most were about 13 to 17 months old, but two fish released in July 1987 were about 26 months old. Most of the fish at liberty more than about 18 months were recaptured in the summer purse-seine fishery which takes place in offshore waters east of Honshu. This fishery takes mainly large fish, but some of them are as young as about 13 months when caught in June of Year 1 (Figure 5).

### *Within the western Pacific Ocean*

#### *Kochi*

Most of the recaptures of the 4,910 tagged fish released at Kochi were from fish caught near the area of release (Figure 4) and within 150 days of release. Twenty-two of them, however, were caught offshore east of  $147^\circ\text{E}$ . These were at liberty 300 to 699 days, and all of them were caught by purse seines. It appears from Figure 7 that the offshore movement begins in April or May.

#### *Miyazaki*

Eleven of the 163 tagged fish released at Miyazaki were recaptured in the 1-degree area of release or in adjacent 1-degree areas, and 5 others were recaptured within 216 nm of the location of release (Figure 4). All but one were recaptured within 150 days of release.

#### *Cape Noma*

The 141 tagged fish released at Cape Noma in August 1986 seemed to have moved more to the west than did those released at Kagoshima in December-April of various years, though the 1-

degree areas of release are nearly the same (Figure 4). The fish which moved to the west were at liberty 92-213 days, and the one which went to the east was free 315 days.

### *Okinawa*

Only two of the 188 tagged fish released at Okinawa were returned. One was recaptured by a trap at 40°42'N-139°57'E, 1,251 nm from the location of release, and the other by a purse seiner at 38°56'N-148°10'E, 1,490 nm from the location of release. The times at liberty for these fish were 323 and 307 days, respectively.

### *Shizuoka*

Most of the recaptures from the 2,502 tagged fish released at Shizuoka were from fish caught near the location of release (Figure 4) and within 150 days of release, as was the case for the fish released at Kochi. Four of them, however, were caught offshore east of 150°E. These were at liberty 243 to 676 days, and all of them were caught by purse seines. It appears from Figure 7 that the offshore movement begins in March, April, or May.

### *Shimane*

Most of the recaptures from the 523 tagged fish released at Shimane, in contrast to those released at Kochi, Miyazaki, and Shizuoka, were from fish caught relatively far from the location of release (Figure 4). Not surprisingly, 30 of the 49 recoveries were from fish recaptured west of Kyushu, Honshu, and Hokkaido. Eight fish were recaptured east of 145°E, all by purse seiners, after 204-609 days at liberty.

### *Nagasaki*

The recaptures from the 1,884 tagged fish released at Nagasaki were widely spread around Kyushu, Shikoku, Honshu, and Hokkaido, and offshore to the east of Honshu (Figure 4). The locations of recapture during various time periods are shown in Figure 5. Only two recaptures were made during October-December of Year 0, both during December west of Kyushu. (For fish released in the western Pacific Ocean, Year 0 refers to the calendar year of hatching of the fish.) During January-March of Year 1 all of the recaptures were made around Kyushu and Shikoku. During April-June of Year 1 the recaptures were widely spread around Kyushu, Shikoku, Honshu, and Hokkaido and offshore to the east of Honshu, mostly between 37° and 40°N. All of the tagged fish recaptured east of 143°E were caught by purse seiners during May and June. Those recaptured west of 143°E were caught by various types of gear during April-June. The distribution of the recaptures during July-September of Year 1 was more northerly than that during April-June. Only two fish were recaptured south of 35°N, and the offshore recaptures were made mostly between 39° and 41°N. Nearly all of the tagged fish recaptured east of 143°E were caught by purse seiners during July. Those recaptured west of 143°E were caught by various types of gear during July-September. During October-December of Year 1 fish were recaptured in widely scattered locations around Kyushu, Honshu, and Hokkaido. Only two recaptures were made during January-March of Year 2, one in the southern Sea of Japan in January and one southeast of Honshu in January. During the rest of Year 2 all the recaptures were made east of 146°E by purse seiners during June and July. As was the case in Year 1, the fish were distributed more to the north in July than in June. During Year 3 all the recaptures were made east of 143°E by purse seiners during June-July.

In Figure 7 two peaks can be seen for the fish which moved in Direction 2 and for all the fish. The first peak is probably the result of offshore movement of the tagged fish shortly after release, and the valleys following the peaks are probably the result of lack of offshore fishing effort during the winter.

### *Kagoshima*

The recaptures from the 1,658 tagged fish released at Kagoshima, like those of the tagged fish released at Nagasaki, were widely spread around Kyushu, Shikoku, Honshu, and Hokkaido, and offshore east of Honshu (Figure 4). The locations of recapture during various time periods are shown in Figure 5. During January-March of Year 1 all the recaptures were made in the vicinity of Kyushu and Shikoku. During April-June of Year 1 the recaptures were more widely distributed. By June some of the fish had moved as far north as northern Honshu, and others had moved offshore east of Honshu. All of those recaptured east of  $142^{\circ}\text{E}$  were caught by purse seiners in June. During July-September of Year 1 recaptures were made around Honshu and Hokkaido and offshore east of Honshu. Nearly all of the fish recaptured east of  $144^{\circ}\text{E}$  were caught by purse seiners in July. Only six fish were recaptured during October-December of Year 1, all in the southern Sea of Japan. Only four fish were recaptured during January-February of Year 2, all off southeastern Honshu. During May of Year 2 one fish was recaptured off southeastern Honshu, and during June and July of Year 2 all but one of the recaptures were made east of  $145^{\circ}\text{E}$  by purse seiners. The other fish was recaptured in Uchiura Bay, Hokkaido, in a trap. During June-July of Year 3 all the recaptures were made east of  $147^{\circ}\text{E}$ , nine by purse seiners and one by a gillnet vessel. All the fish recaptured during June of Year 4 were caught by purse seiners east of  $148^{\circ}\text{E}$ .

Two peaks similar to those for Nagasaki are also evident in Figure 7 for the tagged fish released at Kagoshima. These are probably also the result of offshore movement of tagged fish shortly after release and the valley between them the result of lack of offshore fishing effort during the winter.

### *Toyama Bay*

A great majority of the recaptures from the 1,103 tagged fish released at Toyama Bay were from fish caught in the 1-degree area of release (Figure 4) within 30 days of release. Only one was recaptured east of Kyushu, Shikoku, Honshu, and Hokkaido. This fish was caught by a purse seiner after 577 days at liberty.

### *Hokkaido*

Most of the recaptures from the 248 tagged fish released at Hokkaido were from fish caught west of Kyushu, Honshu, and Hokkaido (Figure 4) after 1 to 48 days at liberty. Three were caught by purse seiners east of  $147^{\circ}\text{E}$  after 219-240 days at liberty, however.

### *All areas*

There seems to be a northerly movement of fish from Kyushu, Shikoku, and western Honshu in the spring. In addition, the fish tend to move gradually offshore as they grow older. There were no offshore recaptures during October-April, which could be due to inshore movement of the fish, but it seems more likely to be due to lack of offshore fishing effort during the winter. There is considerable exchange of fish between the Sea of Japan and the area to the east of Kyushu, Shikoku, Honshu, and Hokkaido.

The only obvious temporal trends in the values of  $aj$ .<sup>2</sup> are peaks in June and July for the tagged fish released at Nagasaki and Kagoshima (Figure 8). The  $a$ .<sup>2</sup> values shown in Figure 7 range from 42 for fish released at Shizuoka to 954 for fish released at Kagoshima, as compared to values of 232 to 3,821 for yellowfin and 293 to 2,678 for skipjack in the eastern Pacific Ocean listed by Hunter *et al.* (1986: Table 2). It appears from these data that the yellowfin and skipjack disperse more widely than do the bluefin.

#### *From the western Pacific to the mid-Pacific area*

Tags from six fish released in the western Pacific have been returned after the fish were recaptured in the central Pacific (Table 6). Three 1981-year class fish were released at Kochi and Shizuoka in August 1981 and recaptured the following June west of 180°. Two 1981-year class fish were released at Nagasaki in November-December 1981 and recaptured the following June, one west of 180° and one east of 180°. In addition, one 1979-year class fish was released at Kagoshima in March 1980 and recaptured 2½ years later west of 180°. The last fish may have visited the eastern Pacific and been caught on the return trip to the western Pacific.

#### *From the western to the eastern Pacific*

Tags from 133 fish released in the western Pacific have been returned from fish which were recaptured in coastal waters of the eastern Pacific (Table 1). Most of the recaptures were made during May-October, since the eastern Pacific fishery takes place mostly during those months.

There were 35 returns from fish released at Kochi and Shizuoka during July and August. Of the fish released at Kochi, 25 were recaptured during Year 1 and 1 during Year 2 (Table 1). Eight of those released at Shizuoka were recaptured during Year 1 and one during Year 2.

Most of the transoceanic migrants were from releases at Nagasaki and Kagoshima. Of the fish released at Nagasaki, 15 were recaptured during Year 1, 39 during Year 2, and 1 during Year 3. Of those released at Kagoshima, 1 was recaptured during Year 1 and 38 during Year 2.

All three of the fish released at Shimane which were recaptured in the eastern Pacific were caught during Year 2.

The fish released at Hokkaido which was recaptured in the eastern Pacific was caught during Year 2. It should be noted that this fish was 1 year of age when it was released (Table 1), whereas those released in the summer at Kochi and Shizuoka were 0 years of age when they were released. (In this report fish in their first year of life are referred to as 0-year-olds, age-0 fish, or fish 0 years of age, those in their second year of life as 1-year-olds, age-1 fish, or fish 1 year of age, and so on.)

It can be seen in Table 1 that only the 1981 year class contributed significant numbers of returns to the mid-and eastern Pacific fisheries during Year 1. It can also be seen that for Year 2 nearly half the returns for the 1979 year class and more than half of those for the 1983 and 1984 year classes were from fish caught in the eastern Pacific. This information suggests that the proportion of age-1 fish which migrated to the eastern Pacific was greatest for the 1981 year class and that the proportions of age-2 fish which migrated to the eastern Pacific were greatest for the 1983 and 1984 year classes, intermediate for the 1979 year class, and least for the 1980, 1981, 1982, and 1985 year classes. A large proportion of the catch of bluefin in the eastern Pacific in 1982 consisted of smaller fish, probably mostly age-1 fish, with a mode at 66 cm (Anonymous, 1986: Figure 19). This is consistent with the evidence from tagging that a large proportion of the fish of the 1981 year class appeared in the eastern Pacific as age-1 fish in 1982. The catch of bluefin in the eastern

Pacific was poor in 1983, however, perhaps because the fish of the 1981 year class experienced heavy mortalities in the eastern Pacific in 1982 or mostly began their return trip to the western Pacific before the start of the 1983 season. The greatest catches of bluefin in the eastern Pacific in recent years were those of 1985 and 1986 (Figure 1), and the catches in those years consisted mostly of fish between about 70 and 90 cm in length (Anonymous, 1989: Figure 20). These are believed to have been mostly age-2 fish, *i.e.* 1983-year-class fish in 1985 and 1984-year-class fish in 1986. If it were certain that the fish which were tagged in the western Pacific were selected randomly it would be concluded that greater proportions of age-2 fish of the 1983 and 1984 year classes migrated to the eastern Pacific, and that this resulted in greater catches of bluefin in the eastern Pacific in 1985 and 1986. It is possible, however, that there are separate non-migrant and migrant subpopulations, and that greater proportions of the migrant subpopulation were selected for tagging during the first year of life of the 1979, 1983, and 1984 year classes. Thus the relatively high proportion of eastern Pacific returns for the 1979 year class, even though the catch in the eastern Pacific in 1981 was poor, might be the result of heavy concentration of tagging effort on a relatively small subpopulation of migrants. Table 7 has been prepared to examine this possibility for both age-1 and age-2 fish. For the age-1 fish it appears that the proportions of migrants were high for the 1981 year class and low for the other year classes, regardless of the areas or months of release of the fish. A chi-square test of the totals for the 1981 year class indicated no significant differences among areas ( $\chi^2 = 2.55$ , d.f. = 6,  $P > 0.05$ ). For the age-2 fish it can be seen that fish of the 1980-1982 and 1985 year classes released during December and January tended to be non-migrants, while those of the 1983 and 1984 year classes released during December and January tended to be migrants. Fish of all year classes released during August-November tended to be non-migrants, but there were only 10 returns of these from the 1983 and 1984 year classes, and all of these fish were released at Shimane in the Sea of Japan. These fish would seem to be less likely than any others, because of the physical barriers, to migrate to the eastern Pacific. These data offer little or no support for the subpopulation hypothesis. They indicate that for the age-1 fish the tendency to migrate to the eastern Pacific was strong for the 1981 year class and much weaker for all the others, and that for the age-2 fish the tendency to migrate was strongest for the fish of the 1983 and 1984 year classes, intermediate for those of the 1979 year class, and weakest for those of the 1980-1982 and 1985 year classes. Thus the results of the tagging tend to support the tentative conclusion from a catch-at-age analysis (Anonymous, 1989) that variations in the proportions of western Pacific fish which migrate to the eastern Pacific are at least partly responsible for variations in catches in the eastern Pacific.

It was thought that inferences concerning the times of arrival and departure of the fish to and from the eastern Pacific Ocean might be made by comparing the monthly distributions of recaptures of tagged fish in the eastern Pacific with estimated monthly distributions of numbers of fish of the age groups in question caught (IATTC, unpublished data). The pertinent data are shown in Table 8. The expected values for the recaptures of tagged fish were estimated from the numbers of fish caught. For example, there were 59.5 thousand fish caught during May-September 1981, and 24 of these were tagged. The number of fish caught during May-June was 19.9 thousand, or 33.4 percent of the total for May-September. Accordingly, the expected number of tag returns for May-June is 33.4 percent of 24, or 8.0. None of the tests produced significant results, which appears to indicate that the times of arrival and/or departure of the fish do not coincide with the months of greatest catches of bluefin. Not much importance should be attached to this, however, as the numbers of tagged fish involved were small.

***Within the eastern Pacific Ocean******Oregon***

One gillnet-caught bluefin tagged and released at 42°02'N-126°40'W on July 20, 1961 (Anonymous, 1961; Iselin, no date) was recaptured at Lusitania Bank (23°35'N-111°42'W) in 1962 (Clemens, 1966).

***Guadalupe Island, 1958***

Two of the 122 tagged fish released in the vicinity of Guadalupe Island in February 1958 were recaptured within a few miles of the locations of release in the same month, two were recaptured between 32° and 34°N in April 1958, two were recaptured between 27° and 29°N in July 1958, and one was recaptured between 31° and 32°N in August 1958 (Figure 8). The fish recaptured in April seem to have been unusually far north for that time of year, as none from any of the other releases was recaptured north of 29°N during April, May, or June.

***24°N-25°N, 1966***

Of the tagged fish released between 24° and 25°N, 23 were recaptured in June 1966 between 24° and 26°N, 35 were recaptured during July and August 1966 between 25° and 33°N (Figure 10), and two were recaptured during June and July 1967 between 26° and 27°N. (For the fish released in the eastern Pacific Ocean, Year 0 in Figure 10 refers to the calendar year of release, as the ages of these fish cannot be determined with certainty.) It is evident in Figure 12 that the movement was predominantly to the northwest from June to August.

***27°N-30°N, 1962-1979***

There appears to have been a seasonal north-south movement of the tagged fish released between 27° and 30°N during 1962, 1963, 1964, and 1979, with the fish being furthest north during July-October and furthest south during May-June (Figures 9 and 10). It can be seen in Figure 12 that there was movement to the northwest from June to August of the year of release and July to September of the following year.

***30°N-34°N, 1962-1980***

There also appears to have been a seasonal north-south movement of the tagged fish released between 30° and 34°N during 1962, 1963, 1964, 1968, 1979, and 1980, with the fish being furthest north during July-October and furthest south during April-June (Figures 9 and 10). In Figure 12 it can be seen that most of the movement was to the southeast sometime between September of the year of release and May of the following year. In May of the following year 35 tagged fish were recaptured an average of 498 nm to the southeast. The corresponding values for June, July, and September were 34 fish and 411 nm, 28 fish and 197 nm, and 9 fish and 104 nm, respectively.

***All areas***

The north-south pattern of movement indicated by the tag return data appears to be the same as that indicated by data on the distribution of the catches (Calkins, 1982: Tables 3 and 4).

The values of  $a_j$  tended to decrease with time for the fish released between 24° and 25°N, 27° and 30°N, and 30° and 34°N (Figure 13), implying that they tended to come closer together with the passage of time. No reason for this is evident. The  $a_{..}^2$  values in Figure 12 ranged from 199 for the fish released between 24° and 25°N to 495 for those released between 27° and 30°N. These values are roughly equal to those for the tagged bluefin released in the western Pacific, but less than those for yellowfin and skipjack in the eastern Pacific mentioned previously.

#### *From the eastern to the western Pacific*

Tags from 10 of the 3,535 fish released in the eastern Pacific have been returned after the fish were recaptured in the western Pacific (Table 9). The first longline-caught fish was recaptured south of 30°N. Of the other fish, two were recaptured off southern Honshu, two off northern Honshu, one in the Sea of Japan, and four in or near the Strait of Tsugaru, between Honshu and Hokkaido. Four of these were recaptured after 2 years at liberty, three after 3 years at liberty, two after 4 years at liberty, and one after 5 years at liberty. The times at liberty were, for the most part, considerably greater than those of the west-east migrants.

#### ATTRITION

If it is assumed that the fishing effort is constant from year to year and that tagged fish released in a given year are equally vulnerable to the fishery in that and the following years, the recapture data can be used to estimate the total rate of attrition, which includes fishing and natural mortality, emigration, mortalities due to carrying the tags, and losses due to tag shedding. The last two are probably small relative to fishing and natural mortality and emigration.

The numbers of returns in the eastern Pacific Ocean during the first, second, and third years after tagging from the releases in the eastern Pacific in 1962, 1963, 1964, and 1966 are shown in Table 10. Data for fish recaptured during the months of release are not included in this analysis, as it is believed that they would not have had time to mix with the rest of the population, which could adversely affect the results. No attempts were made to estimate the total rate of attrition from tag return data for the western Pacific because fish of different ages are caught by different gears, and it seems highly unlikely that under such conditions the vulnerability to capture of fish of different ages would be equal.

The method of Paulik (1962) was used to estimate the annual instantaneous total rates of attrition. The estimates are shown in Table 10. The estimates for the fish released in 1962-1964 are reasonably close to one another, but that for the fish released in 1966 indicates a higher rate of attrition. This might be due to lesser availability or vulnerability of the tagged fish to capture during 1967. The former seems more likely, that is, a large proportion of the fish could have begun their migration to the western Pacific after the 1966 season.

There are no data available for estimating directly the coefficient of natural mortality of northern bluefin in the Pacific Ocean. Pauly (1980) used data on the growth, mortality, and mean environmental temperatures of 175 stocks of fish to calculate the following equation:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (13)$$

where

- $M$  = coefficient of natural mortality,
- $L_{\infty}$  = asymptotic length in von Bertalanffy equation,



$K$  = coefficient of growth in von Bertalanffy equation, and  
 $T$  = mean environmental temperature.

Values of 223 cm and 0.18 for  $L_{\infty}$  and  $K$ , respectively, are given in Table 5, line 1. (It should be noted, however, that the best fit to the growth data was not a von Bertalanffy curve, but a Gompertz curve for fish between 16 and 56.4 cm and a straight line for fish from 56.4 cm to 153 cm.) Pauly (1980) states that, "the values of  $L_{\infty}$  used [to derive the equation] pertain mostly to total length," so the value of 223 cm for the fork length was converted to 257 cm for the total length by the formula

$$TL = -17.42 + 1.158FL \quad (14)$$

where  $TL$  = total length and  $FL$  = fork length, both in millimeters. Bell (1963a) states that bluefin are found in water with surface temperatures of 17° to 23°C, so 20 was substituted for  $T$ . This gives an estimate of 0.276 for  $M$  for fish in the range of about 16 to 153 cm. The standard deviation for  $\ln M$  is 0.245 (Pauly, 1980), so the 90-percent confidence limits of the estimate are about 0.161 and 0.471.

### LIFE HISTORY AND STOCK STRUCTURE

A model of the life history and stock structure of northern bluefin in the Pacific Ocean has been formulated. This model was first described by Bayliff (1980), but it has been modified considerably since then due to the acquisition of additional data for returns of tagged fish. Data on the geographical distribution of bluefin pertinent to this discussion are given by Bayliff (1980). It is anticipated that, as additional data accumulate, or as different interpretations are made of the data presently available, the model will be amplified, modified, or rejected in favor of one which appears to offer a better explanation of what has been observed.

Figure 14 is a diagram of the model. The migrations shown by dashed lines are more speculative than those shown by solid lines. The diagram is intended to show the general areas where the migrations are believed to begin and end, but not the precise routes, as space limitations would make this impractical even if the routes were known. For example, it appears that the route of migration of juveniles bound for the eastern Pacific is south of the route of migration of maturing fish bound in the opposite direction, but such is not necessarily the case.

The spawning of bluefin occurs between Japan and the Philippines in April, May, and June, off southern Honshu in July, and in the Sea of Japan in August (Yamanaka and staff, 1963; Yabe *et al.*, 1966; Okiyama, 1974 and 1979; Nishikawa *et al.*, 1985). The larvae, postlarvae, and juveniles produced south of Japan are carried northward by the Kuroshio Current toward Japan. Fish of age 0 about 15 to 60 cm in length are caught in the vicinity of Japan during the summer, fall, and winter of their first year of life (Yabe *et al.*, 1966; Yukinawa and Yabuta, 1967). Some of these remain in the western Pacific Ocean and others depart for the eastern Pacific during the fall or winter of their first year of life or the summer, fall, or winter of their second year of life (see below).

The journey from the western to the eastern Pacific takes as little as 7 months, or perhaps even less. Of 121 such migrants for which dates of recapture were obtained, 23 had been at liberty 215 to 358 days and 98 had been free for 368 to 999 days. Most of the recaptures of transoceanic migrants released in July and August were made during the following summer (Figure 15), whereas most of the recaptures of such fish released during November-June were made about 1½ years later (Figure 16), which makes it appear that the migration begins mostly in the fall. Unpublished length-frequency data in the files of the IATTC indicate that in many years the ratio of age-1

to age-2 fish in the catches increases during the May-October period, which may indicate that the 1-year-olds arrive in the eastern Pacific during that period. It can be seen in Figures 15 and 16 that the recaptures of tagged age-1 and age-2 fish were made almost entirely during August-October and June-October, respectively.

It is possible that other fish migrate from the western to the eastern Pacific later in life, but there is no information concerning this from tagging because few tagged fish greater than about 1 year of age have been released in the western Pacific.

A total of 49 returns from 13,353 tagged fish released in the western Pacific and recaptured in the eastern Pacific during the year after release have been received (Table 1). All but four of these were members of the 1981 year class. In addition, five of the six returns of tagged fish recaptured in the central Pacific (Tables 1 and 6) were from members of the 1981 year class. These five may have been *en route* to the eastern Pacific when they were caught. A total of 83 returns of tagged fish released in the western Pacific and recaptured in the eastern Pacific during the second year after release have been received (Table 1). Of these, 24 were members of the 1979 year class, 19 of the 1983 year class, 26 of the 1984 year class, and 14 of other year classes. These differences could be due to differences in the vulnerability of the various year classes to capture in the eastern Pacific. There is no evidence to suggest that such is the case, however, so that possibility will be discounted until such evidence becomes available. It appears that something induced a large proportion of the age-0 fish of the 1981 year class to migrate to the eastern Pacific during late 1981 or early 1982. Likewise it appears that for some reason the proportions of age-1 migrants to the eastern Pacific were greatest for the 1983 and 1984 year classes, intermediate for the 1979 year class, and least for the 1980, 1981, 1982, and 1985 year classes. On the other hand, it is possible that there are separate non-migrant and migrant subpopulations, and that greater proportions of the migrant subpopulation were selected for tagging during the first year of life of the year classes which contributed the greatest numbers of tagged fish to the eastern Pacific. The data presented in Table 7 offer little or no support for this hypothesis, however.

The fish which migrate from the western to the eastern Pacific form the basis for the fishery in the eastern Pacific, which takes place principally during May through October. In Figure 14 it appears that the fish in the eastern Pacific occur further and further offshore and have an increasingly restricted north-south distribution as they grow older. It was necessary for the sake of clarity to make the diagram this way, but actually such is not necessarily the case. Fish less than about 100 cm in length, which make up the bulk of the eastern Pacific catch, may or may not leave the eastern Pacific Ocean each fall or winter and return each spring or summer. Bluefin of that size are seldom caught in the eastern Pacific during November-April, which might indicate that they have left that region. They probably do not go all the way to the western Pacific, however, as no tagged fish released in the eastern Pacific have been recaptured in the western Pacific after less than 674 days at liberty (Table 9). If most of them migrated to the western Pacific each fall or winter and back to the eastern Pacific each spring some would probably have been recaptured in the western Pacific in the winter or early spring after less than about 100 to 150 days at liberty. Also, the energy costs of making such a long migration would be so high that it would probably not be feasible for a fish to make two such migrations each year for several years.

The length of the sojourn in the eastern Pacific appears to be variable. Tagged fish believed to have been 1 year of age at release have been recaptured 2 years later in the western Pacific, but other tagged fish released in the eastern Pacific have been recaptured in the eastern Pacific after as long as 2 years at liberty. Fish of at least 6 or 7 age groups are caught in the eastern Pacific (Bell, 1963b; Schultze and Collins, 1977), so it is possible that some fish stay in that region for at least 5 or 6 years.

After a sojourn in the eastern Pacific, which may or may not be interrupted by temporary visits to the central or western Pacific, the survivors return to the western Pacific, where they eventually spawn. The return journey from the eastern to the western Pacific may take nearly 2 years, as 674 days is the minimum time recorded between release and recapture of a tagged fish making this migration (Table 9).

Large fish are occasionally caught in the eastern Pacific Ocean, especially in the vicinity of Guadalupe Island, Mexico, and the Channel Islands, off Southern California (Calkins, 1982: Figures 5 and 6; Anonymous, 1989: Figure 20; Foreman and Ishizuka, 1990). The largest of these are probably over 10 years old. These have not necessarily resided in the eastern Pacific Ocean since they were about 1 to 2 years old. They may have arrived for the first time shortly before they were caught, or they may have made more than one round trip across the Pacific. It seems unlikely that all the large fish could spawn in the western Pacific each year, as some have been caught during or shortly before or after the spawning season, *e.g.* July 1978 (Calkins, 1982: Figure 6).

Many of the fish caught by longliners in the central Pacific (Anonymous, 1974, 1975, 1976, 1977a, and 1978; Figure 17) are probably *en route* from the eastern to the western Pacific. Upon arriving in the western Pacific they presumably proceed to one or more of the spawning areas to spawn, either immediately or eventually.

Northern bluefin are also caught by longline vessels east of the Philippines, northeast of Papua New Guinea, and southeast of Australia, especially in the vicinity of New Zealand (Shingu *et al.*, 1974; Anonymous, 1974, 1975, 1976, 1977a, and 1978; Figure 17), and by sport gear in the Gulf of Papua (Collette and Smith, 1981). The question arises as to whether these fish grew from juveniles which went south from one of the spawning areas, grew from immature fish which migrated south from Japan after a brief sojourn there, or are older fish which migrated south from the spawning area after spawning. If either the first or second possibility is the case there should be small bluefin south of 20°N. Small numbers of baitboat-caught bluefin have been recorded north of Papua New Guinea and in the vicinity of the Solomon and Marshall Islands (Anonymous, 1977b, 1977c, 1977d, 1977e, and 1977f; Figure 18), so it appears that at least some of the bluefin caught south of the spawning grounds by longline vessels are the result of movement of juveniles from the spawning area or the result of migration of immature fish south from Japan. However, this does not mean that none of them are the result of movement of adult fish south from the spawning areas after spawning.

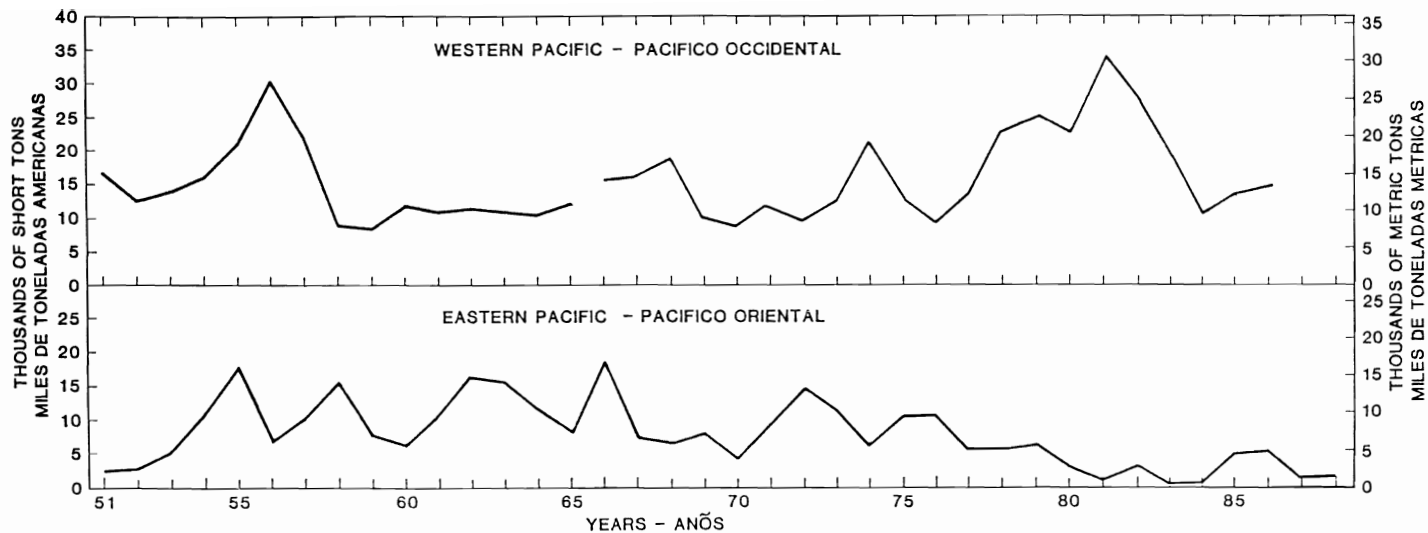
Larvae or postlarvae of bluefin have not been found in the Australia-New Zealand area, so it is unlikely that the fish which were caught there by longlines would have spawned there. Rather, they would have to migrate back to the spawning area or not spawn at all. It seems unlikely that all the large fish found in the southwestern Pacific spawn in the northwestern Pacific each year, as the large bluefin reported by Collette and Smith (1981) off Papua New Guinea was caught in April. Also, the bluefin reported by de Buen (1958) in the southeastern Pacific were caught in April and May, during the spawning season.

After spawning the fish probably disperse from the spawning area to other areas of the western Pacific. Some may even migrate to the eastern Pacific, as large fish are found there (see above). The following year, if they have not travelled too far, they presumably return to the spawning areas to spawn again.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

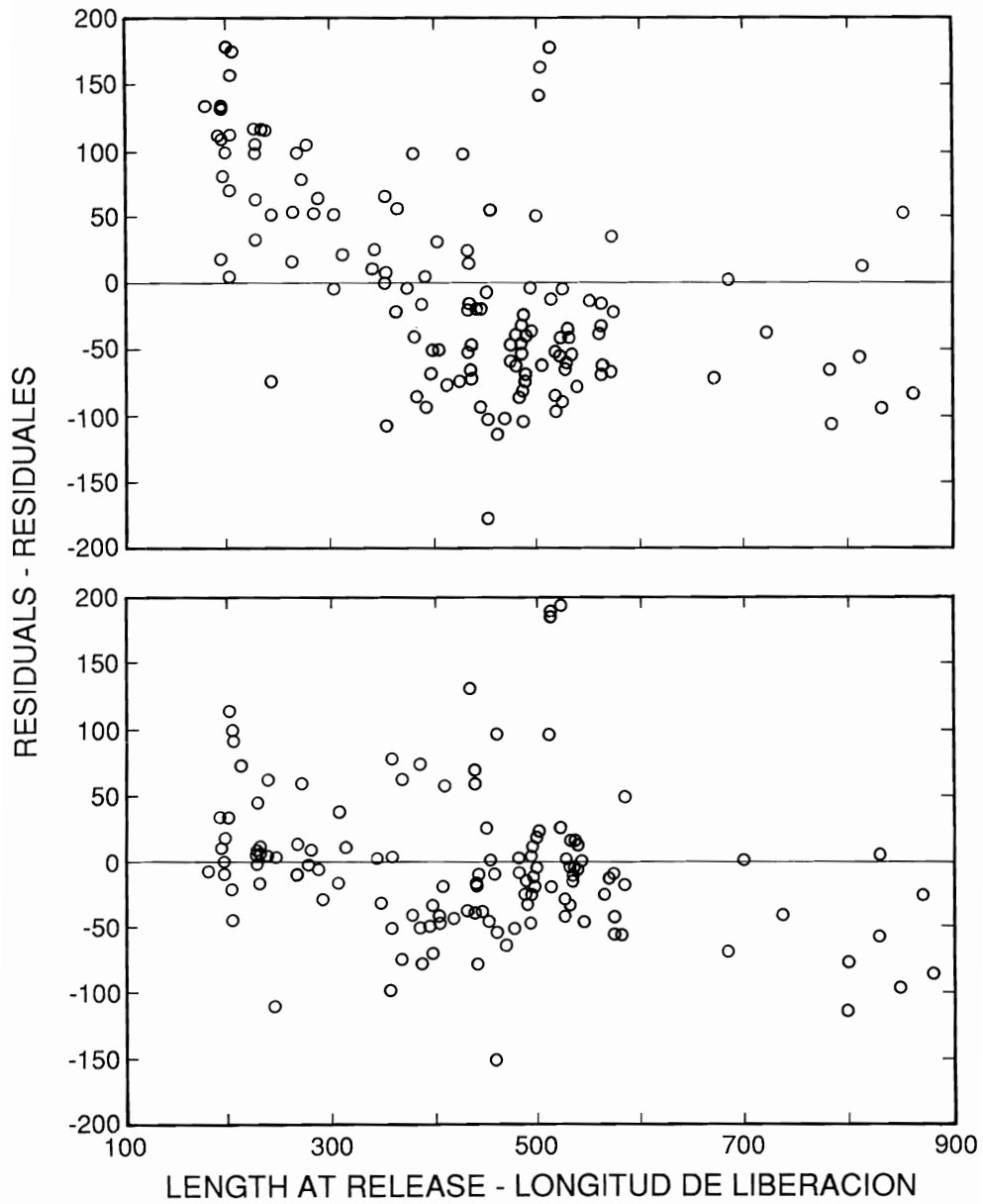
Many employees of the California Department of Fish and Game (CDFG), the U.S. Bureau of Commercial Fisheries (BCF), the Far Seas Fisheries Research Laboratory, and the IATTC, too

numerous to mention individually, participated in the tagging of the fish and the processing of the data for the tagged fish which were returned. The data for the experiments conducted by the CDFG, BCF, and Mission Bay Research Foundation were made available by Messrs. Doyle A. Hanan of the CDFG and Atilio L. Coan of the U.S. National Marine Fisheries Service. Many helpful suggestions for improvement of the manuscript were received from Drs. Douglas Clay, Martín A. Hall, William S. Hearn, and Alexander Wild.



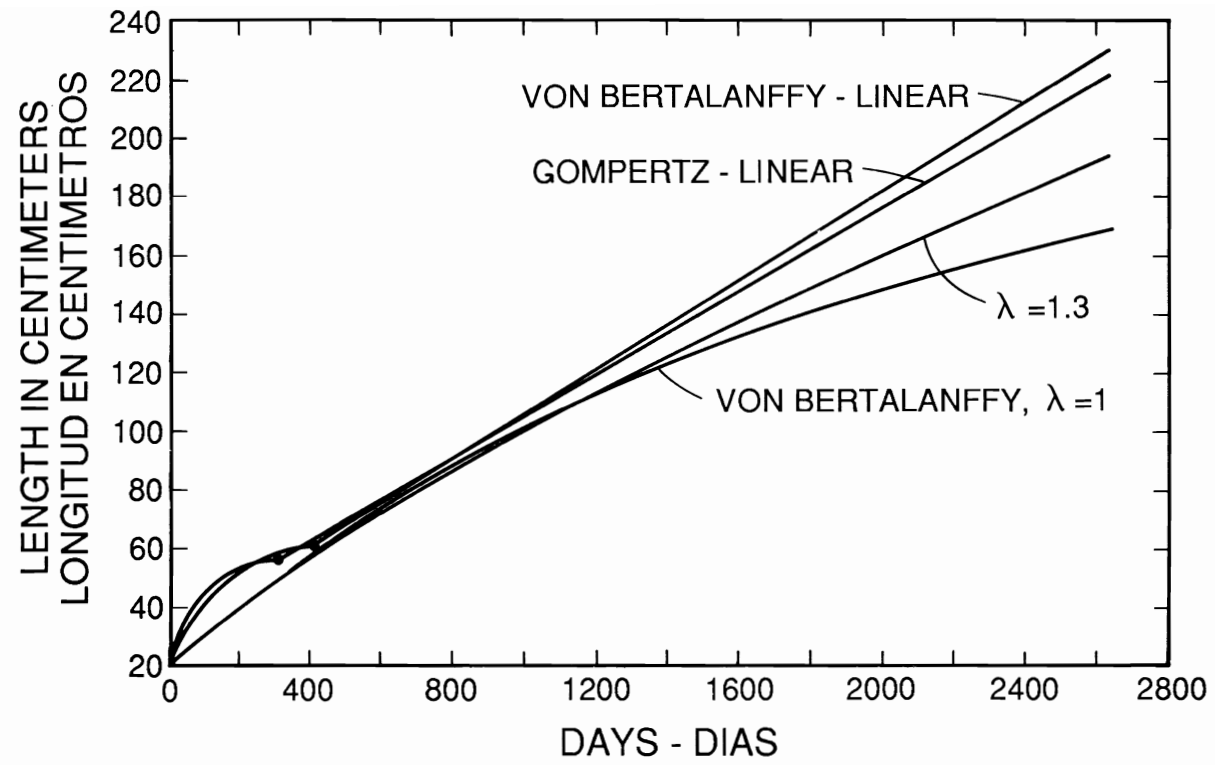
**FIGURE 1.** Annual catches of bluefin in the Pacific Ocean. The data in the top panel are from unpublished files of the NRIFS. The 1951-1965 data include only large fish (greater than about 15 kg). The 1966-1986 data include both small and large fish. The data for the small fish were estimated from the catches of *meji* (small bluefin, bigeye, and yellowfin) by a proration process based on the catches of large bluefin, bigeye, and yellowfin. The data in the bottom panel are from Anonymous (1989: Table 1).

**FIGURA 1.** Capturas anuales de aleta azul en el Océano Pacífico. Los datos en el recuadro superior provienen de archivos inéditos del NRIFS. Los datos de 1951-1965 incluyen solamente peces grandes (de más de unos 15 kg). Los datos de 1966-1986 incluyen peces grandes y pequeños. Se estimaron los datos de los peces pequeños a partir de las capturas de *meji* (aletas azules y amarillas y patudos pequeños) por un procedimiento de prorrateo basado en las capturas de aletas azules y amarillas y patudos grandes. Los datos en el recuadro inferior provienen de Anónimo (1989: Tabla 1).



**FIGURE 2.** Residuals for the three-parameter model (second equation in Table 5; top panel) and five-parameter model (fourth equation in Table 5; bottom panel) for the growth of bluefin.

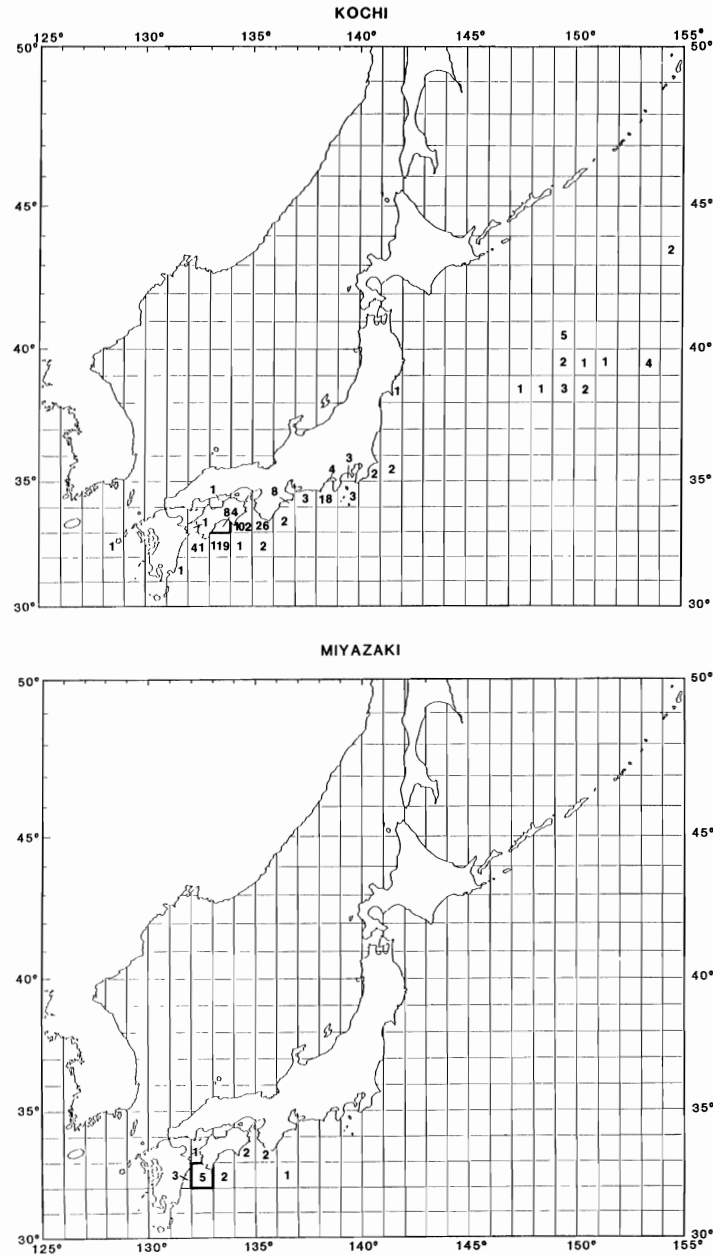
**FIGURA 2.** Residuales del modelo de tres parámetros (segunda ecuación en la Tabla 5; recuadro superior) y del modelo de cinco parámetros (cuarta ecuación en la Tabla 5; recuadro inferior) del crecimiento del aleta azul.



NORTHERN BLUEFIN TUNA

FIGURE 3. Growth curves representing the first four equations in Table 5 for the growth of bluefin.

FIGURA 3. Curvas de crecimiento representando las cuatro primeras ecuaciones en la Tabla 5 para el crecimiento del aleta azul.



**FIGURE 4.** Locations of recapture of tagged bluefin released in the western Pacific Ocean during 1980-1988 and recaptured in the western Pacific Ocean. The 1-degree areas of release are delineated by heavy lines, and the numbers of fish recaptured in each 1-degree area are indicated by numerals.

**FIGURA 4.** Lugares de recaptura de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental durante 1980-1988 y recapturados en el mismo océano. Las áreas de 1° de liberación están delineadas por líneas gruesas, y las cifras corresponden al número de peces recapturados en cada área de 1°.



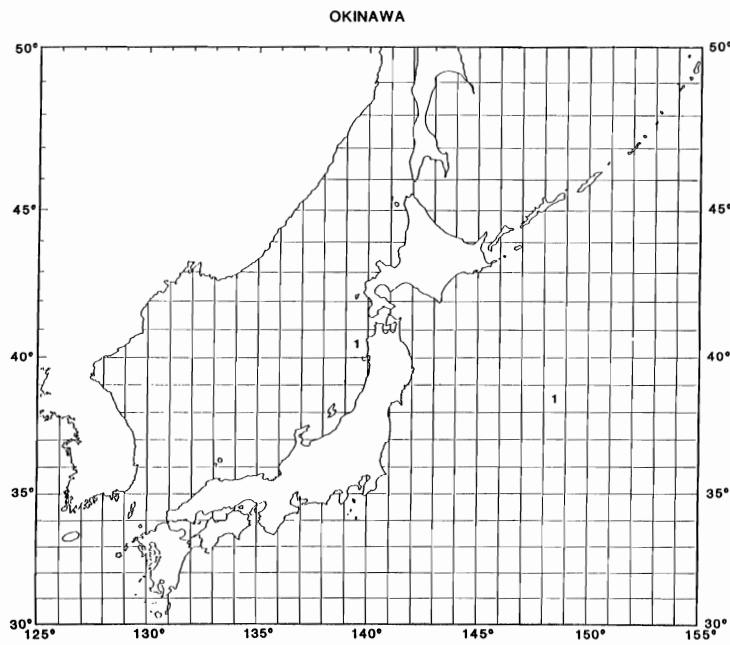
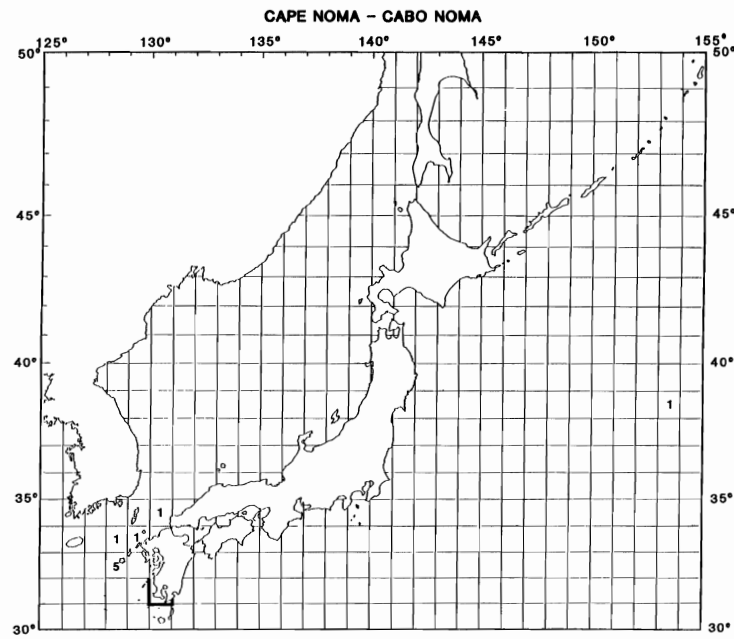


FIGURE 4. (continued).

FIGURA 4. (continuación).

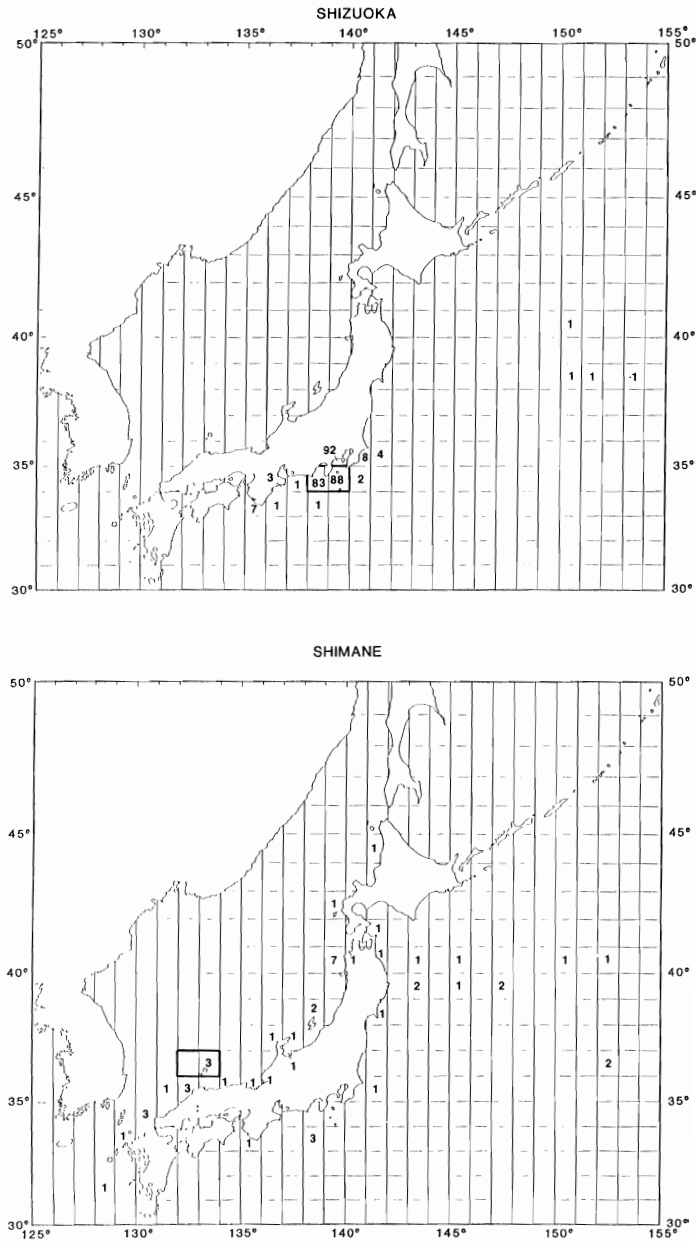


FIGURE 4. (continued).

FIGURA 4. (continuacion).

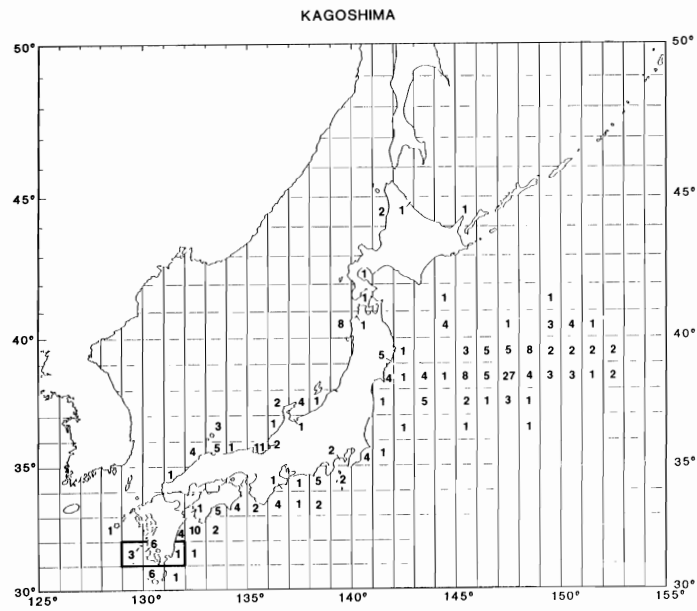
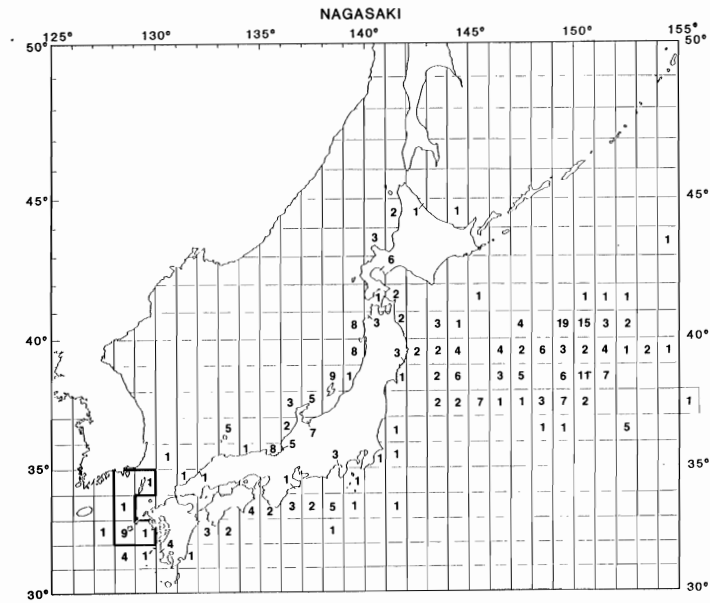


FIGURE 4. (continued).  
 FIGURA 4. (continuación).

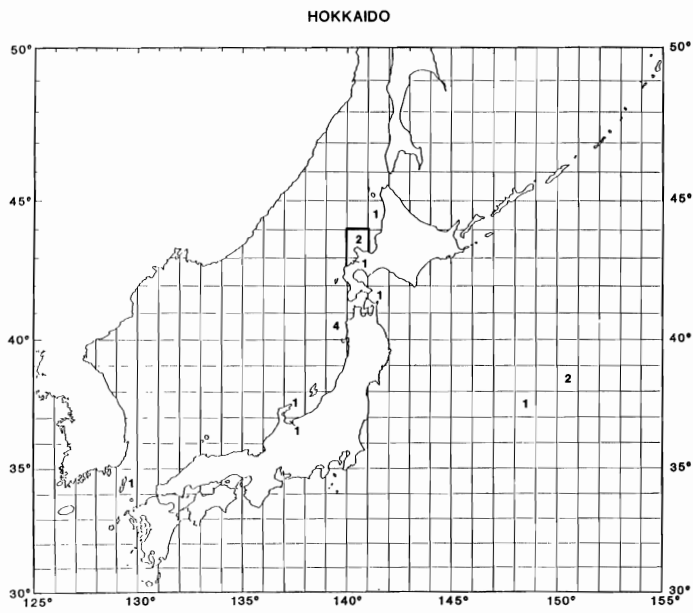
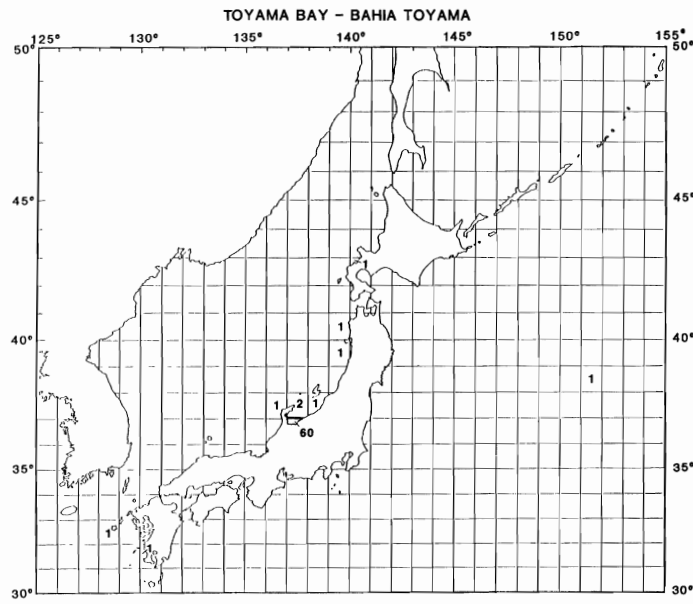
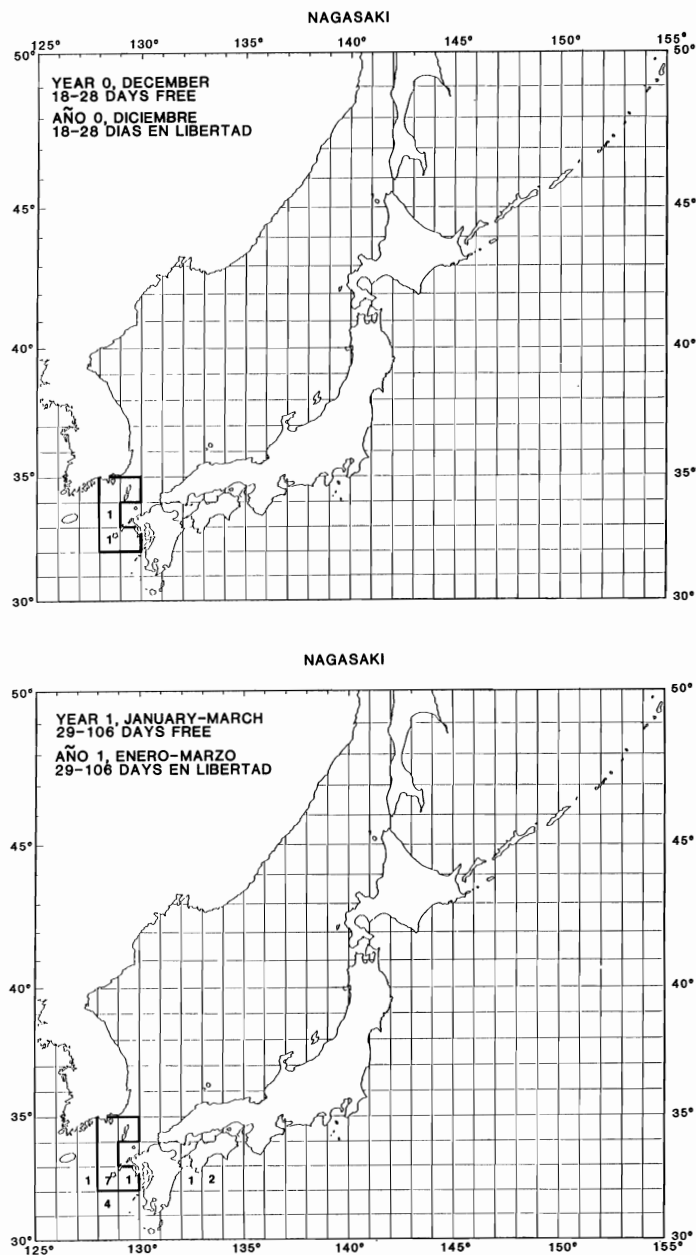


FIGURE 4. (continued).

FIGURA 4. (continuación).



**FIGURE 5.** Locations of recapture of tagged bluefin, during various periods, released at Nagasaki and Kagoshima during 1980-1987 and recaptured in the western Pacific Ocean. The 1-degree areas of release are delineated by heavy lines, and the numbers of fish recaptured in each 1-degree area are indicated by numerals.

**FIGURA 5.** Lugares de recaptura, durante varios períodos, de aletas azules marcados liberados en Nagasaki y Kagoshima durante 1980-1987 y recapturados en el Océano Pacífico occidental. Las áreas de 1° de liberación están delineadas por líneas gruesas, y las cifras corresponden al número de peces recapturados en cada área de 1°.

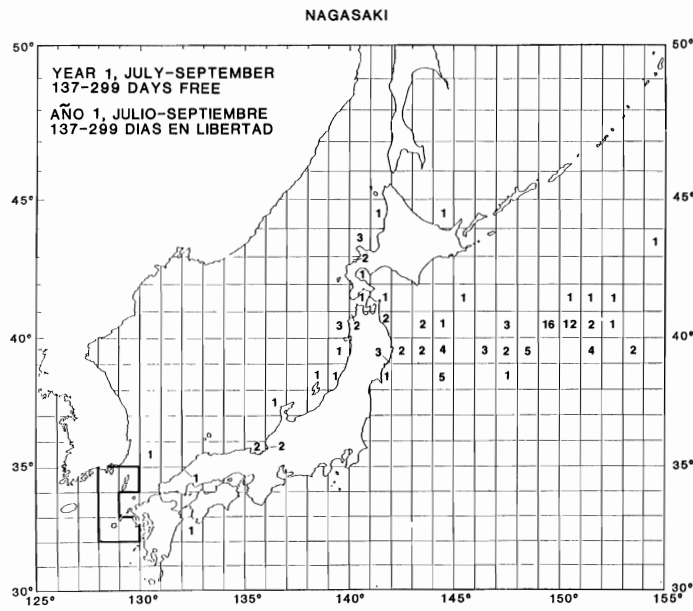
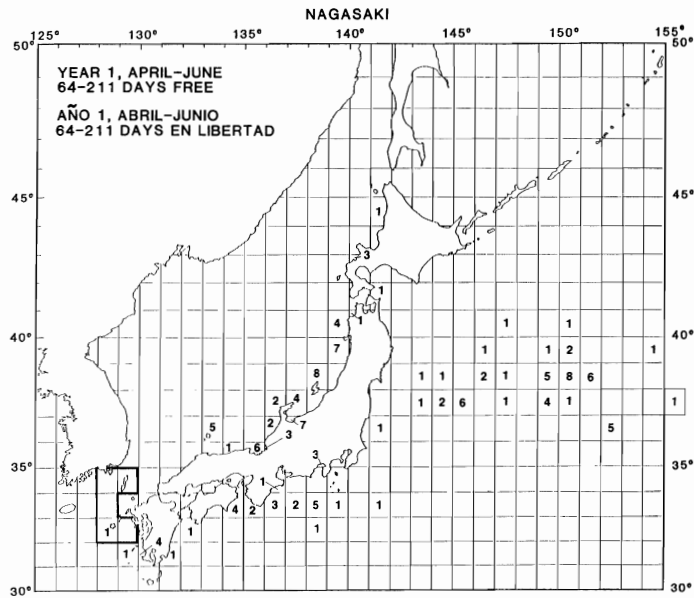


FIGURE 5. (continued).

FIGURA 5. (continuación).

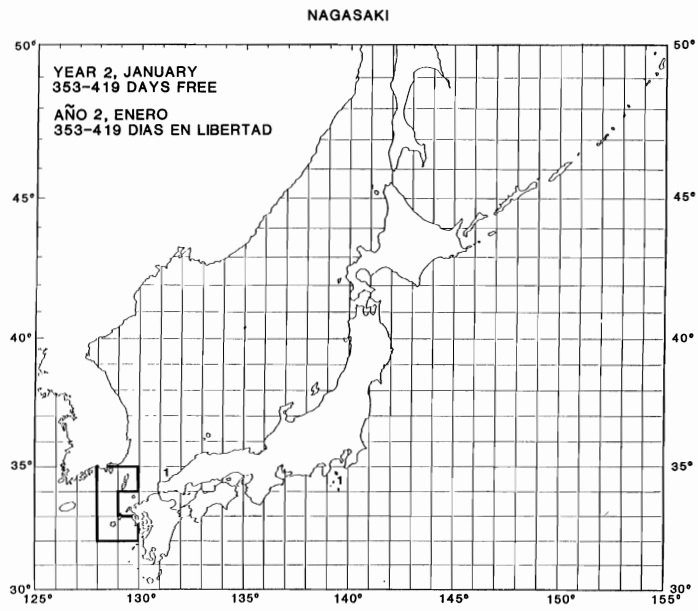
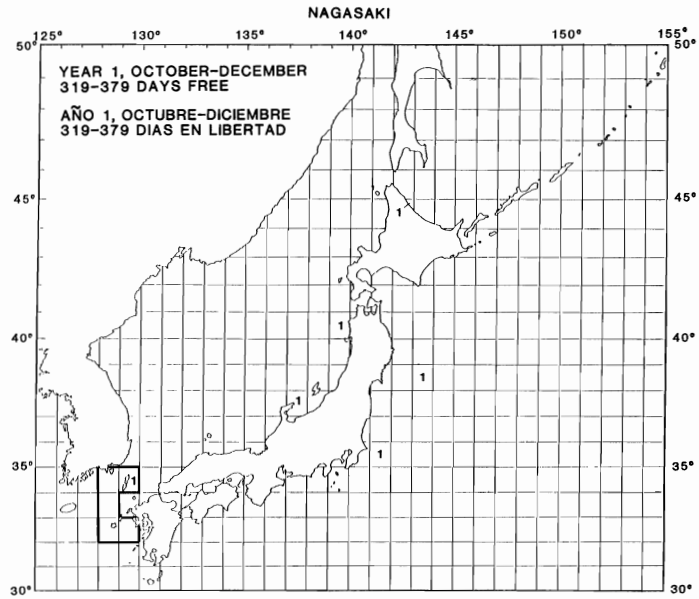


FIGURE 5. (continued).

FIGURA 5. (continuación).

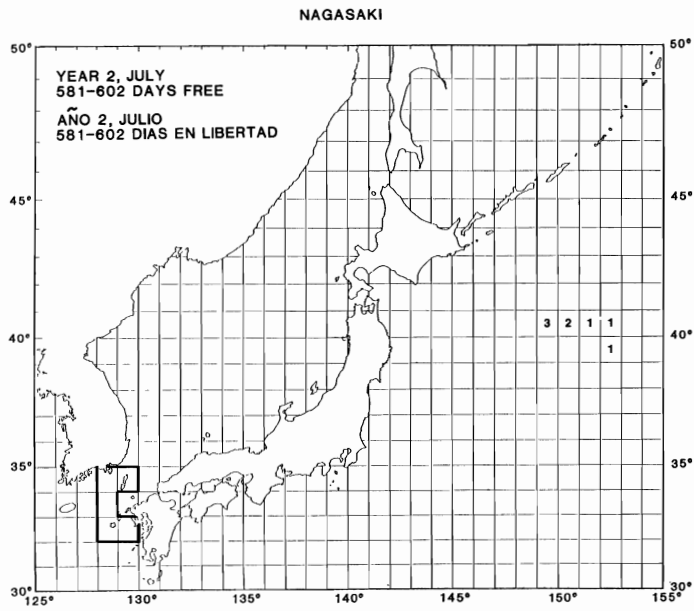
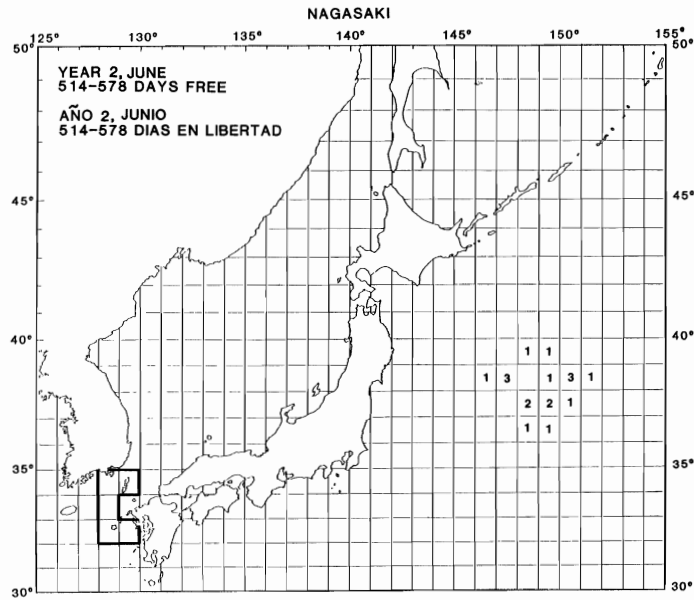
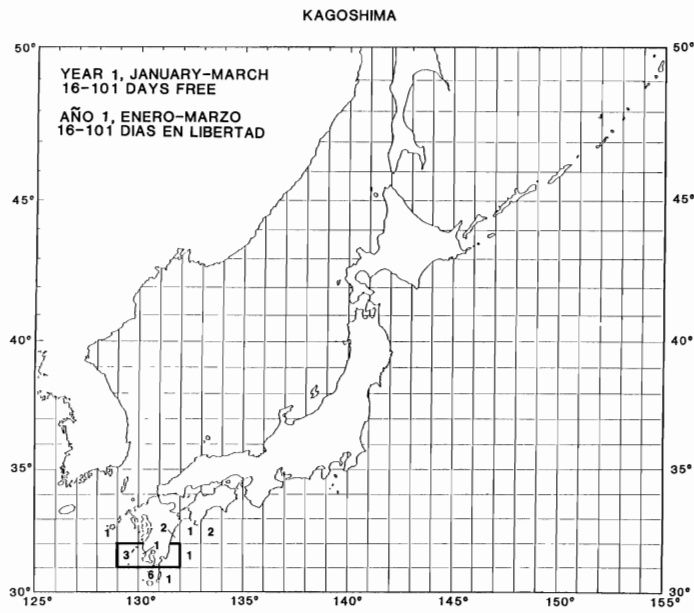
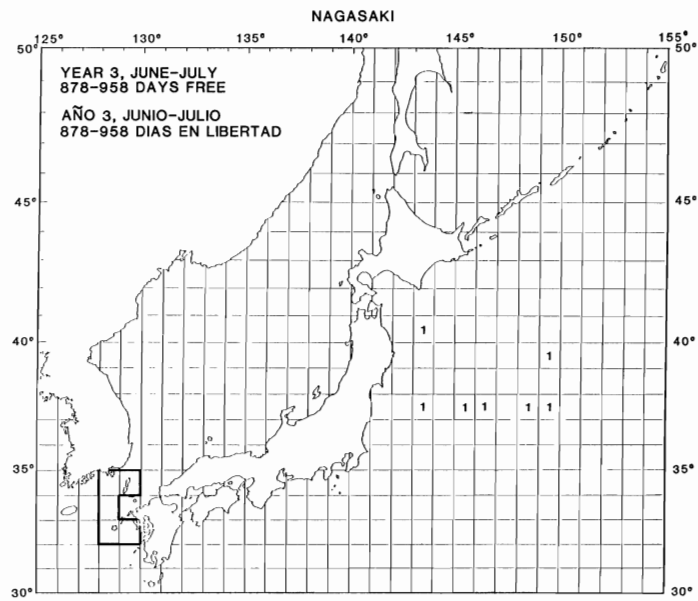


FIGURE 5. (continued).  
FIGURA 5. (continuacion).





**FIGURE 5.** (continued).  
**FIGURA 5.** (continuación).

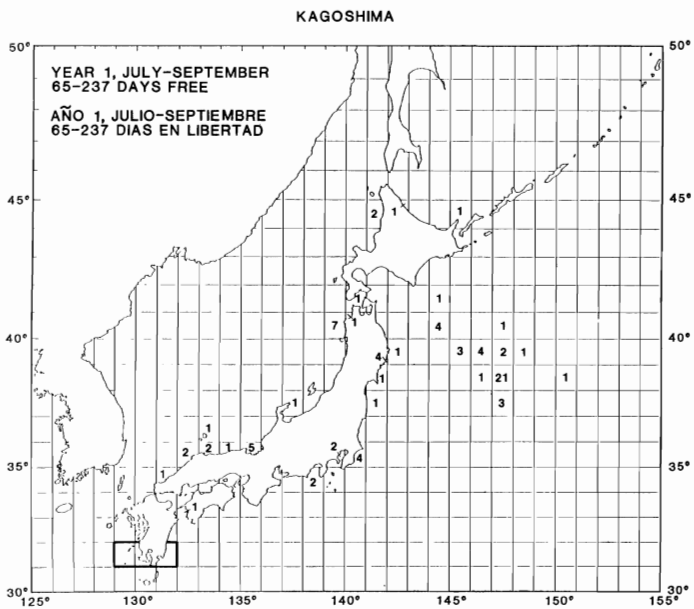
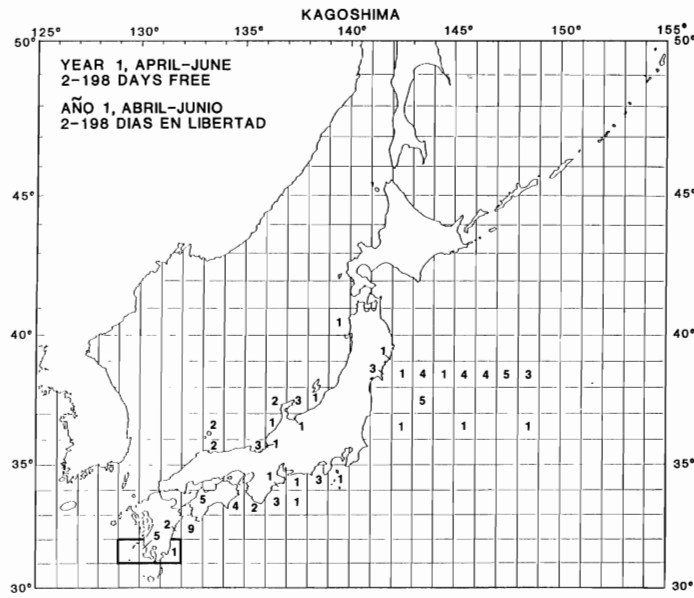


FIGURE 5. (continued).

FIGURA 5. (continuación).

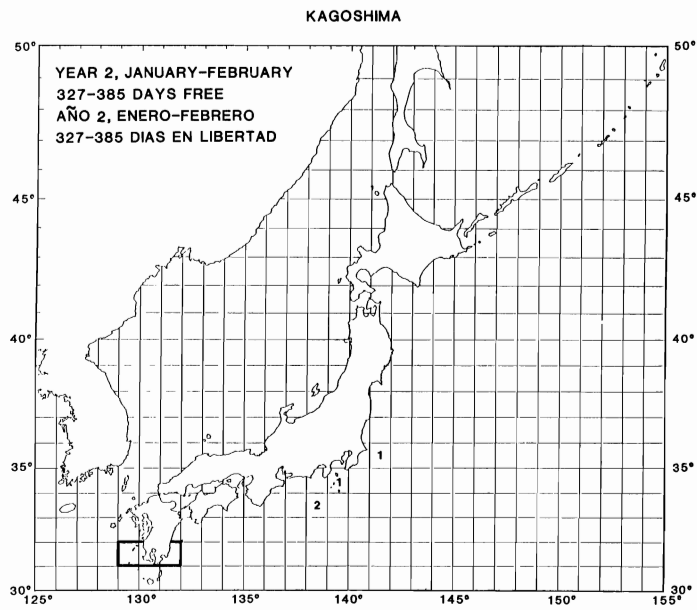
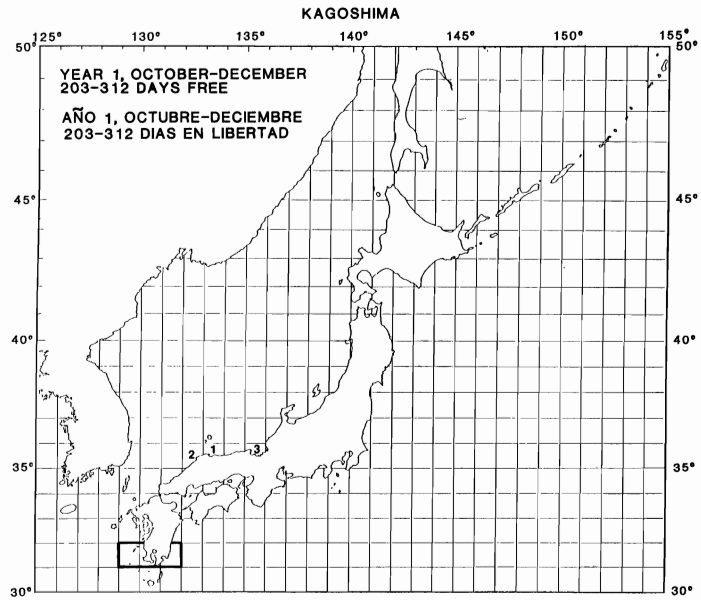


FIGURE 5. (continued).

FIGURA 5. (continuación).

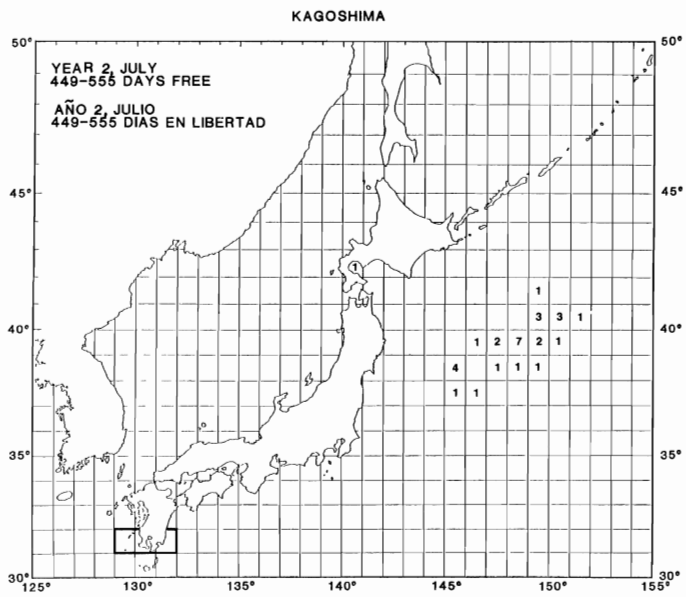
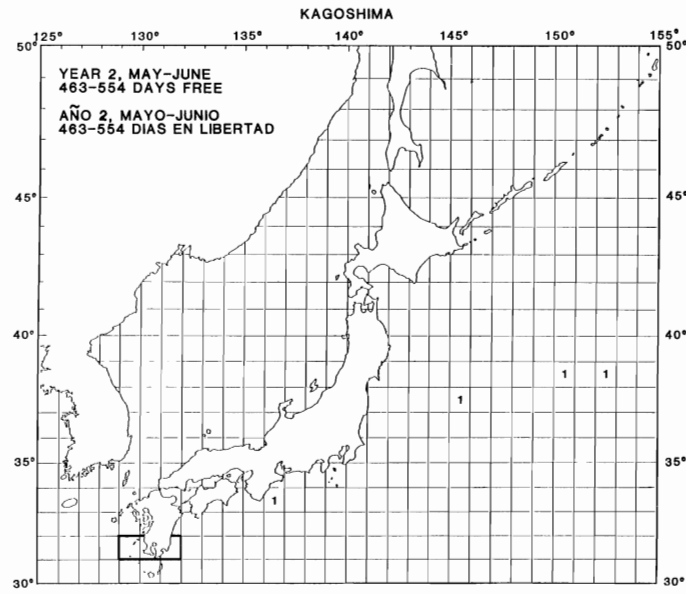


FIGURE 5. (continued).  
FIGURA 5. (continuacion).

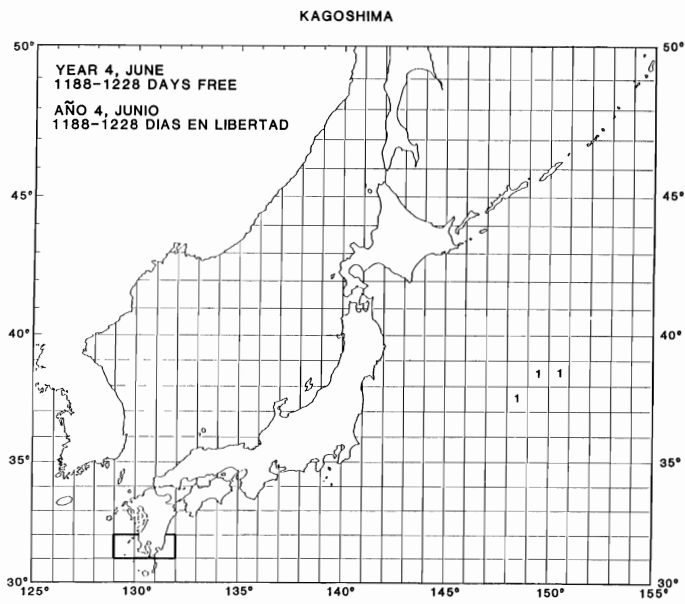
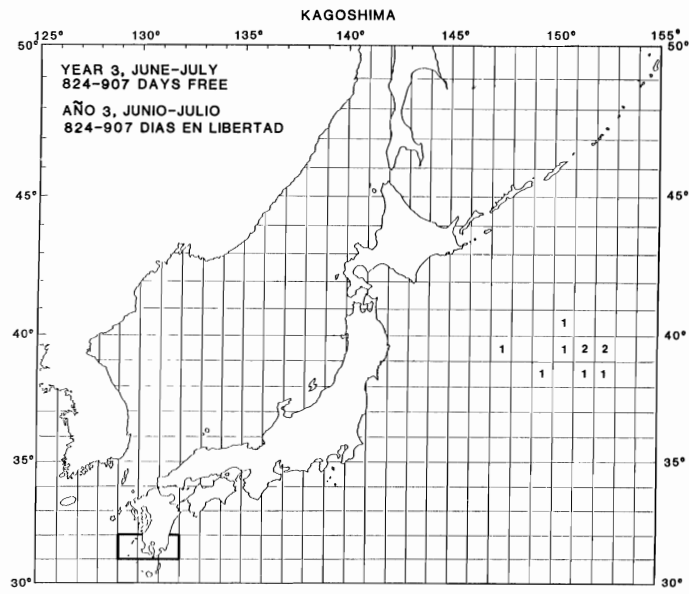
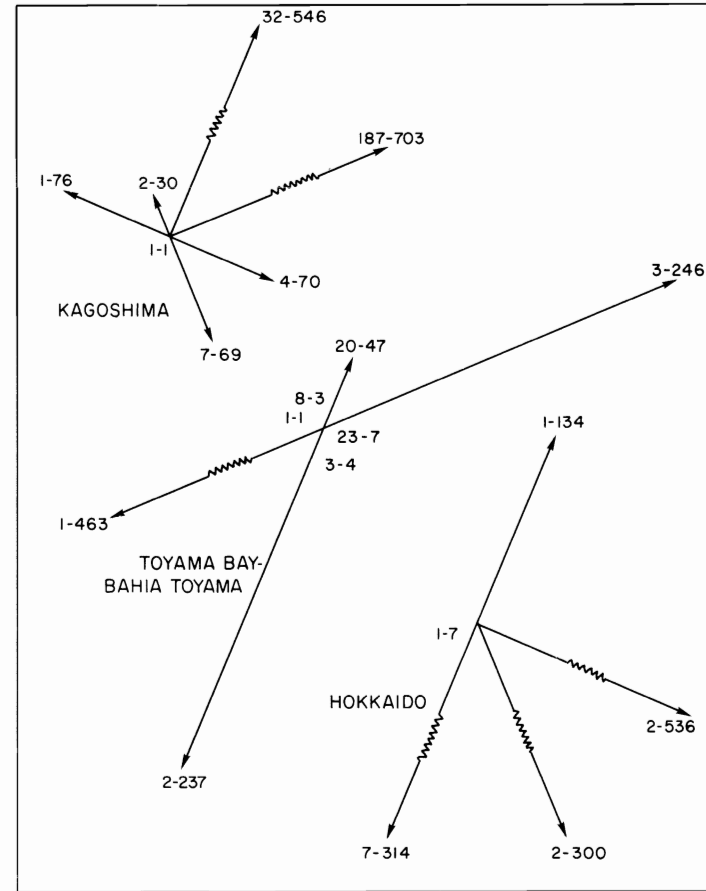
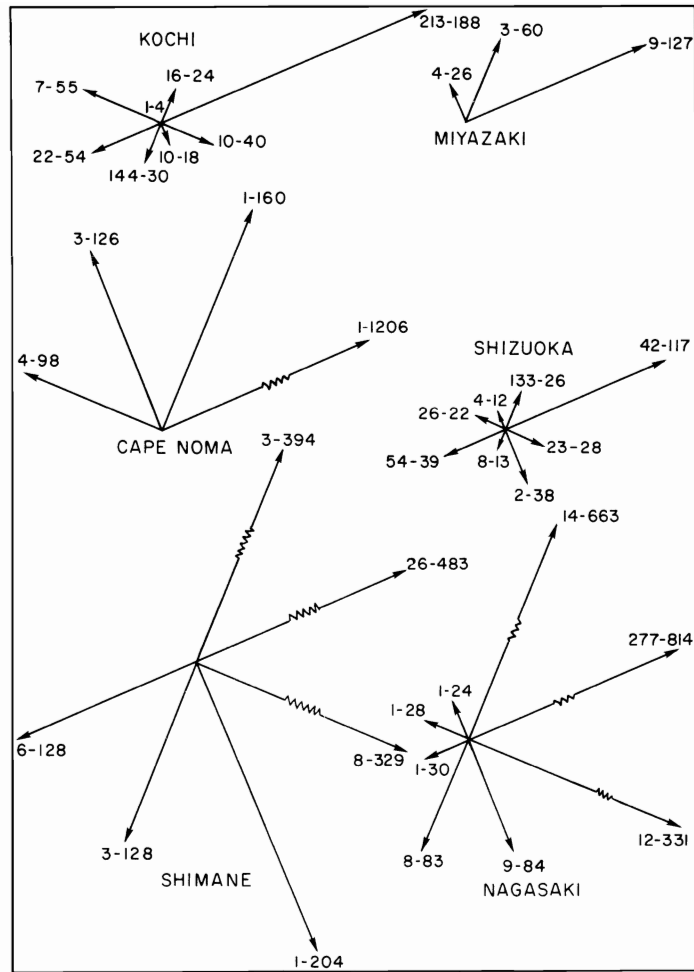


FIGURE 5. (continued).

FIGURA 5. (continuación).



**FIGURE 6.** Directions and mean distances of movement for tagged bluefin released in the western Pacific Ocean. The diagrams are explained in the text.

**FIGURA 6.** Dirección y distancia media de movimientos de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental. En el texto se explican los diagramas.

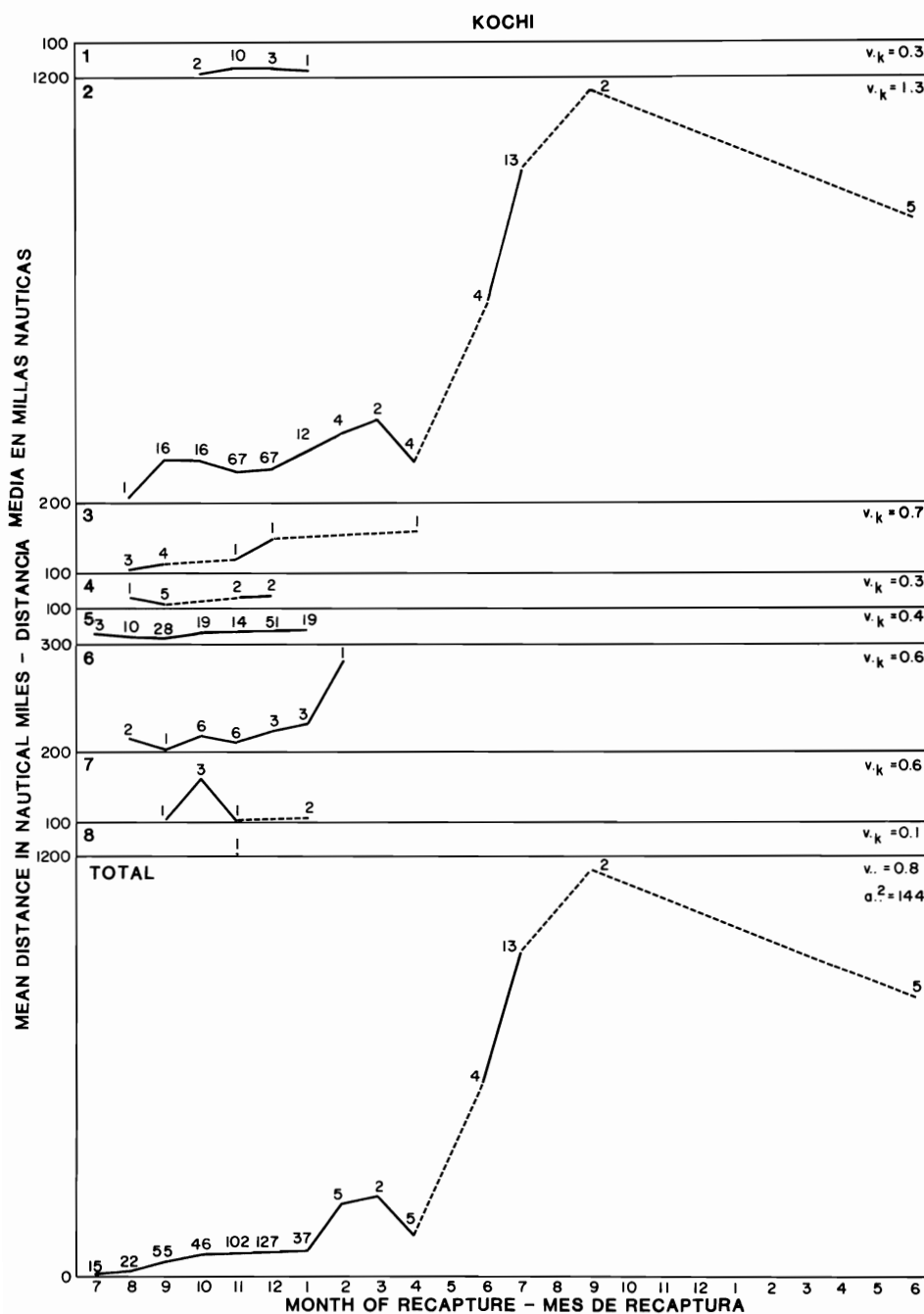


FIGURE 7. Dispersion, by directions and months of recapture, for tagged bluefin released in the western Pacific Ocean. The numbers in the upper left corners of the panels indicate the directions of movement.

FIGURA 7. Dispersión, por dirección y mes de recaptura, de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental. Las cifras en la esquina superior izquierda de cada recuadro indica la dirección del movimiento.

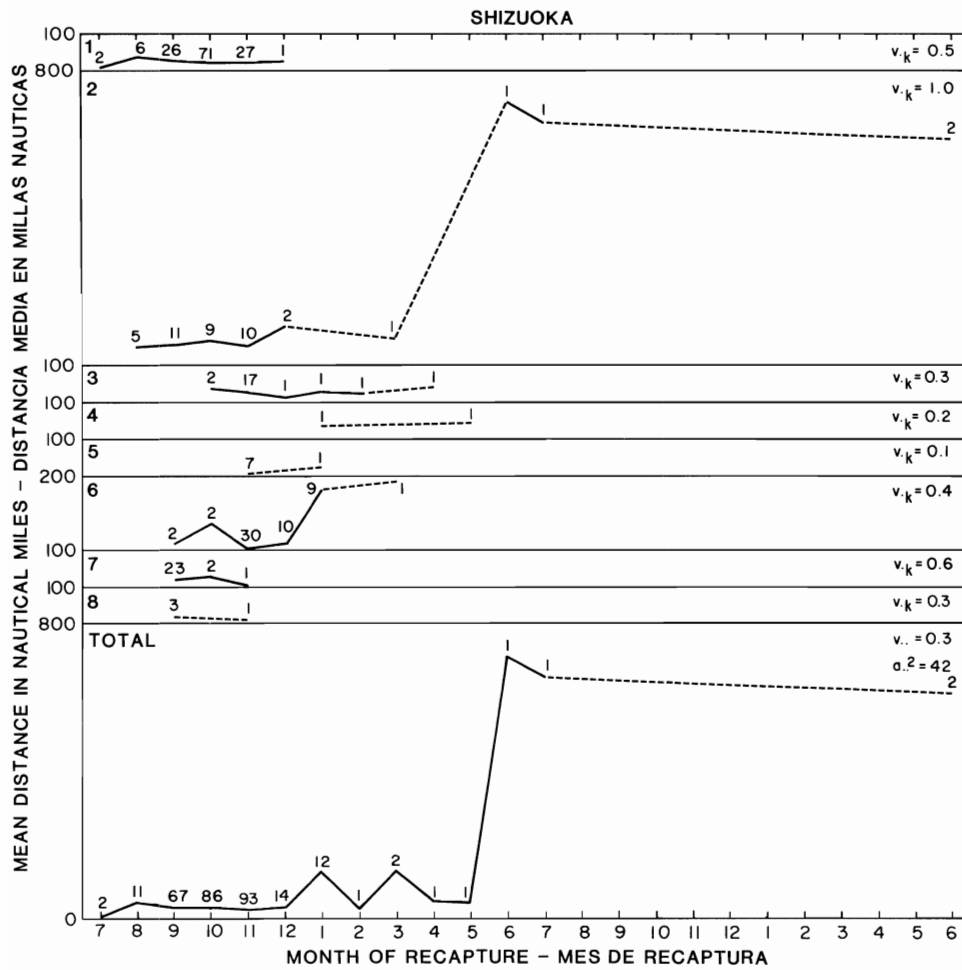


FIGURE 7. (continued).

FIGURA 7. (continuacion).



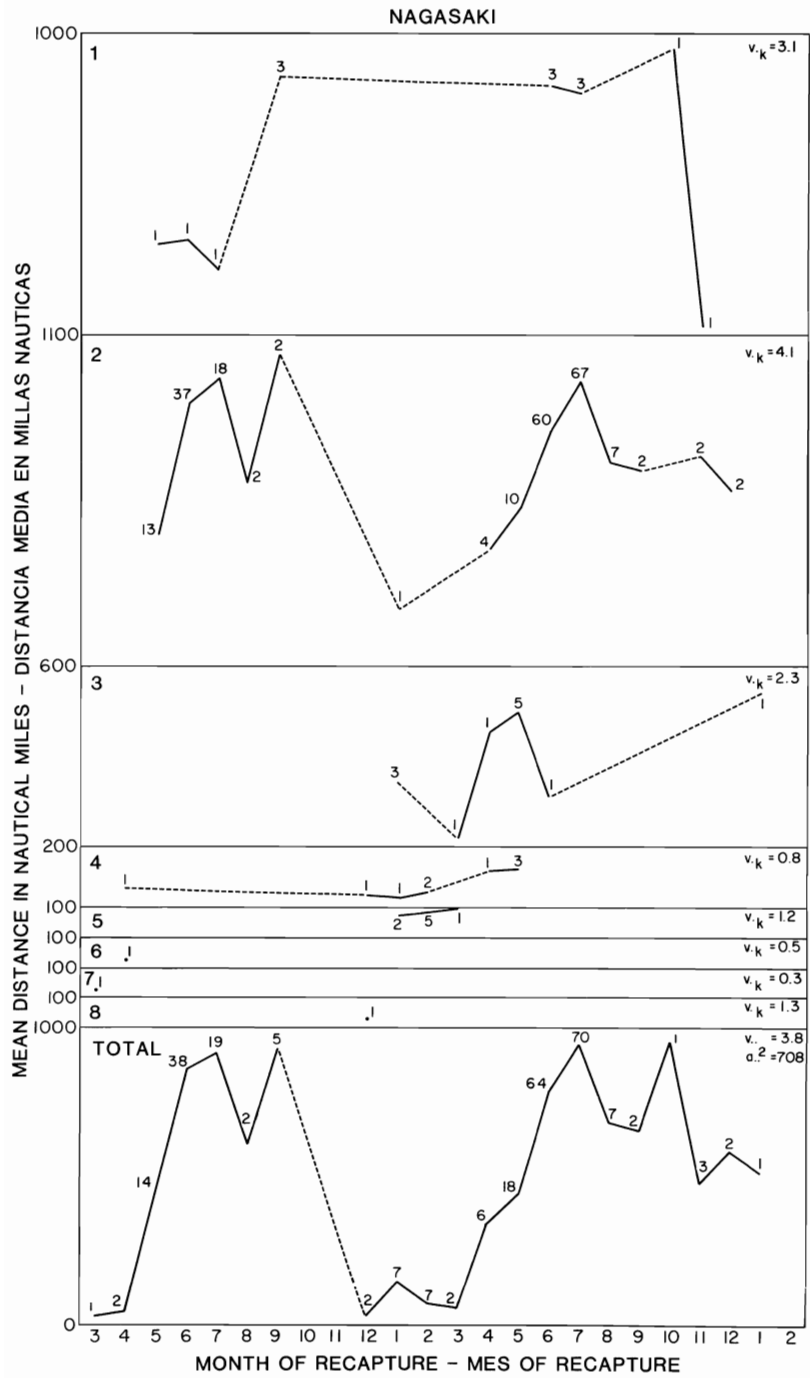


FIGURE 7. (continued).

FIGURA 7. (continuación).

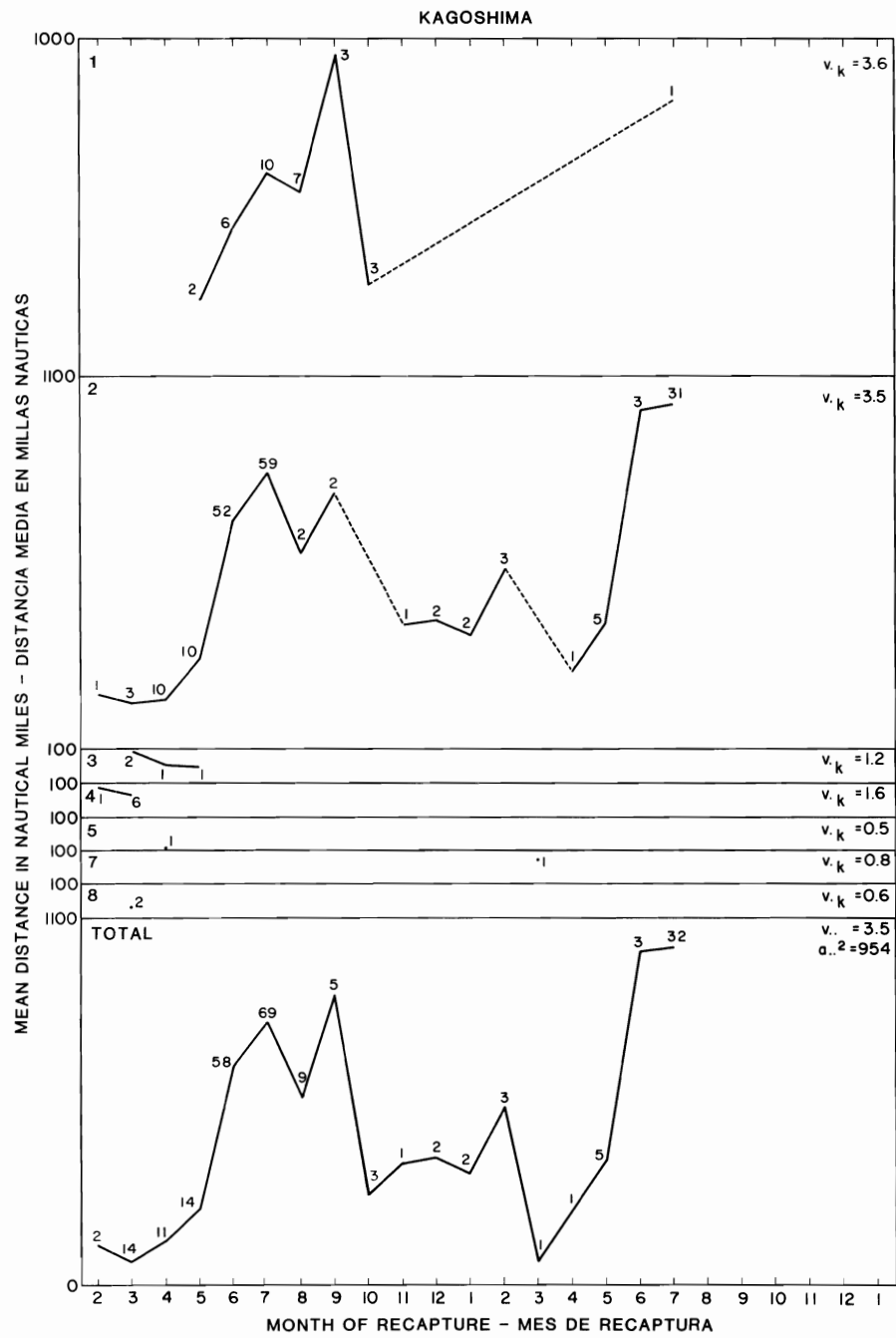


FIGURE 7. (continued).

FIGURA 7. (continuación).

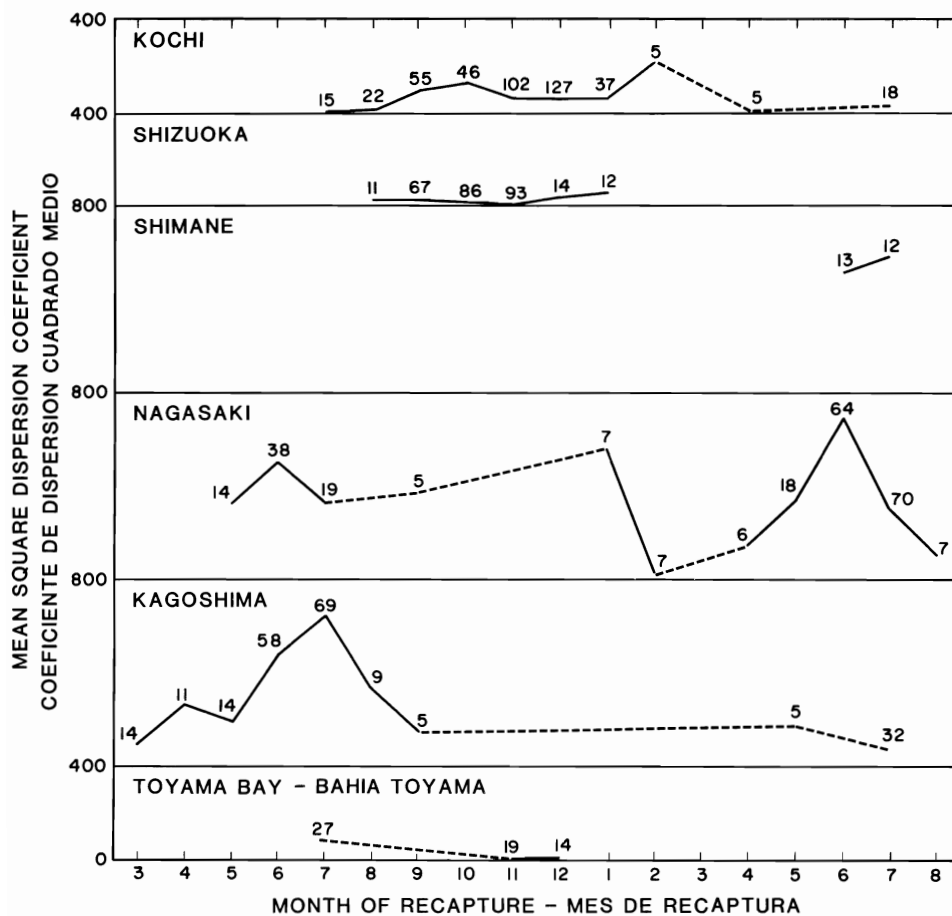
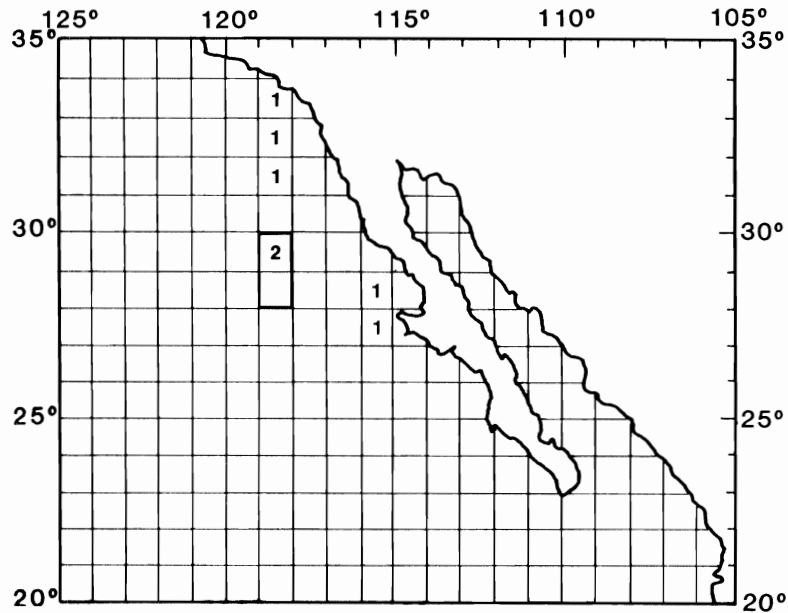


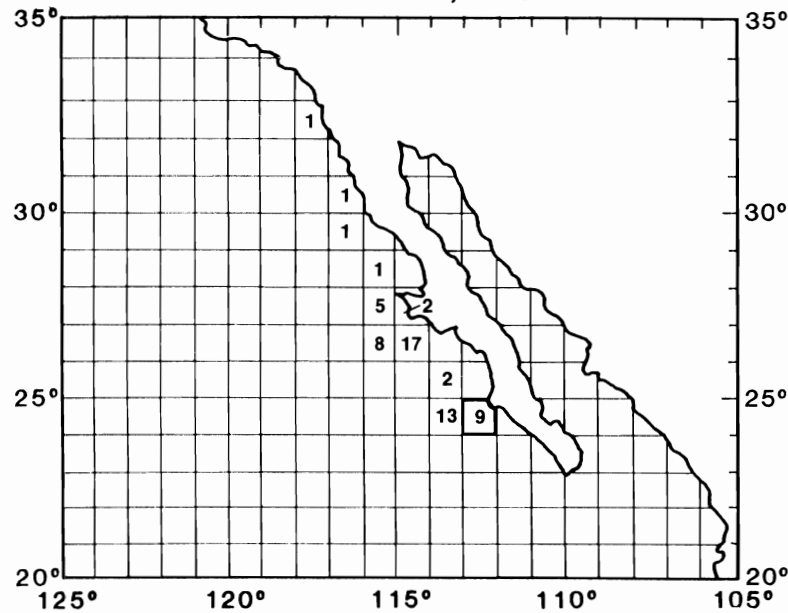
FIGURE 8. Mean square dispersion coefficients, by months of recapture, for tagged bluefin released in the western Pacific Ocean.

FIGURA 8. Coeficientes de dispersión cuadrados medios, por mes de recaptura, de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental.

BAYLIFF, ISHIZUKA, AND DERISO  
 GUADALUPE ISLAND, 1958



24° N - 25° N, 1966

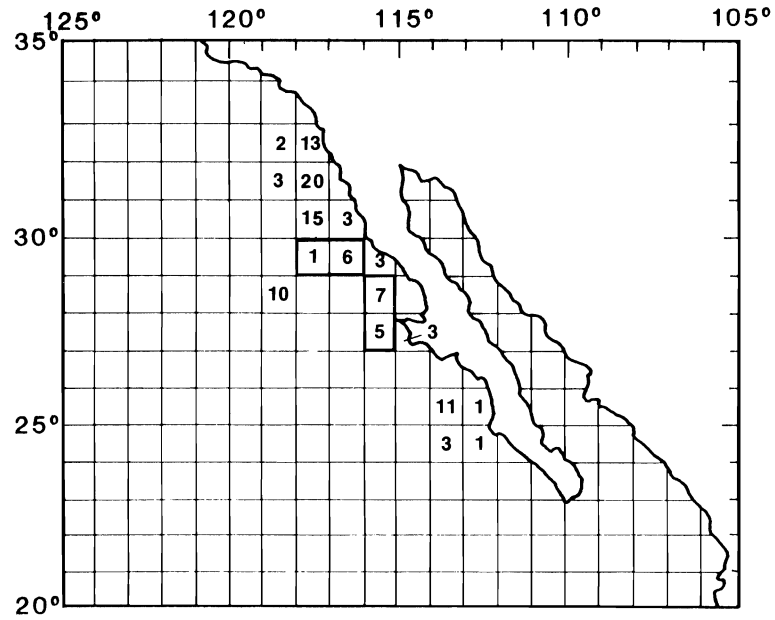


**FIGURE 9.** Locations of recapture of tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean during 1958-1980 and recaptured in the eastern Pacific Ocean. The 1-degree areas of release are delineated by heavy lines, and the numbers of fish recaptured in each 1-degree area are indicated by numerals.

**FIGURA 9.** Lugares de recaptura de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental durante 1958-1980 y recapturados en el mismo océano. Las áreas de 1° de liberación están delineadas por líneas gruesas, y las cifras corresponden al número de peces recapturados en cada área de 1°.

NORTHERN BLUEFIN TUNA

27° N - 30° N, 1962-1979



30° N - 34° N, 1962-1980

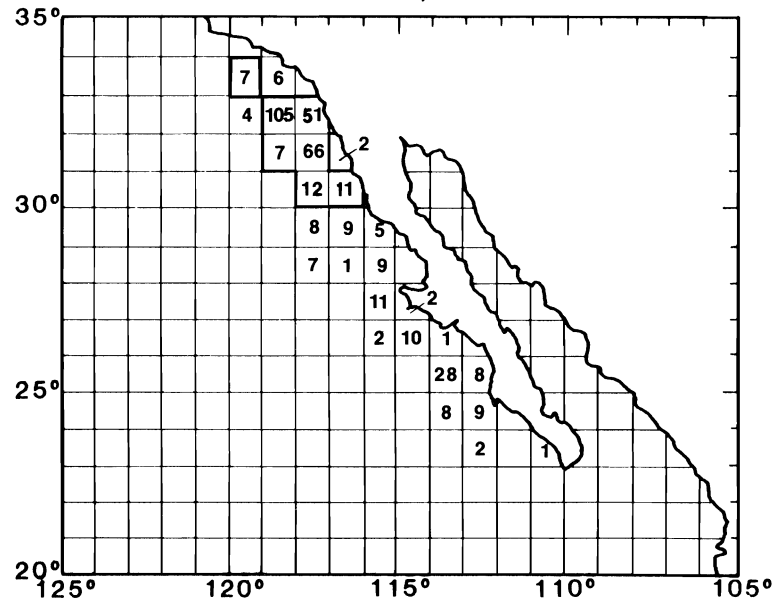
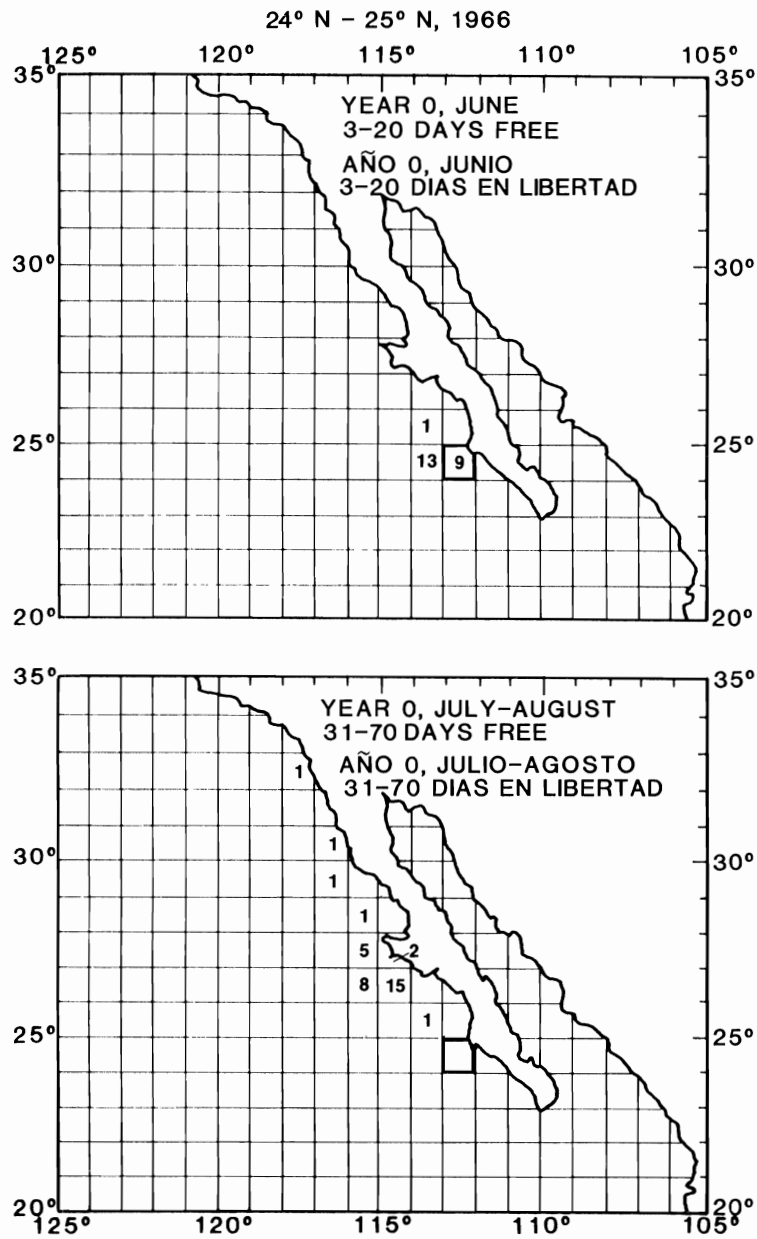


FIGURE 9. (continued).

FIGURA 9. (continuación).



**FIGURE 10.** Locations of recapture of tagged bluefin, during various periods, released between 24° and 25°N, 27° and 30°N, and 30° and 34°N during 1962-1980 and recaptured in the eastern Pacific Ocean. The 1-degree areas of release are delineated by heavy lines, and the numbers of fish recaptured in each 1-degree area are indicated by numerals.

**FIGURA 10.** Lugares de recaptura de aletas azules marcados, durante varios períodos, entre 24° y 25°N, 27° y 30°N, y 30° y 34°N durante 1962-1980 y recapturados en el Océano Pacífico oriental. Las áreas de 1° de liberación están delineadas por líneas gruesas, y las cifras corresponden al número de peces recapturados en cada área de 1°.

NORTHERN BLUEFIN TUNA

27° N - 30° N, 1962-1979

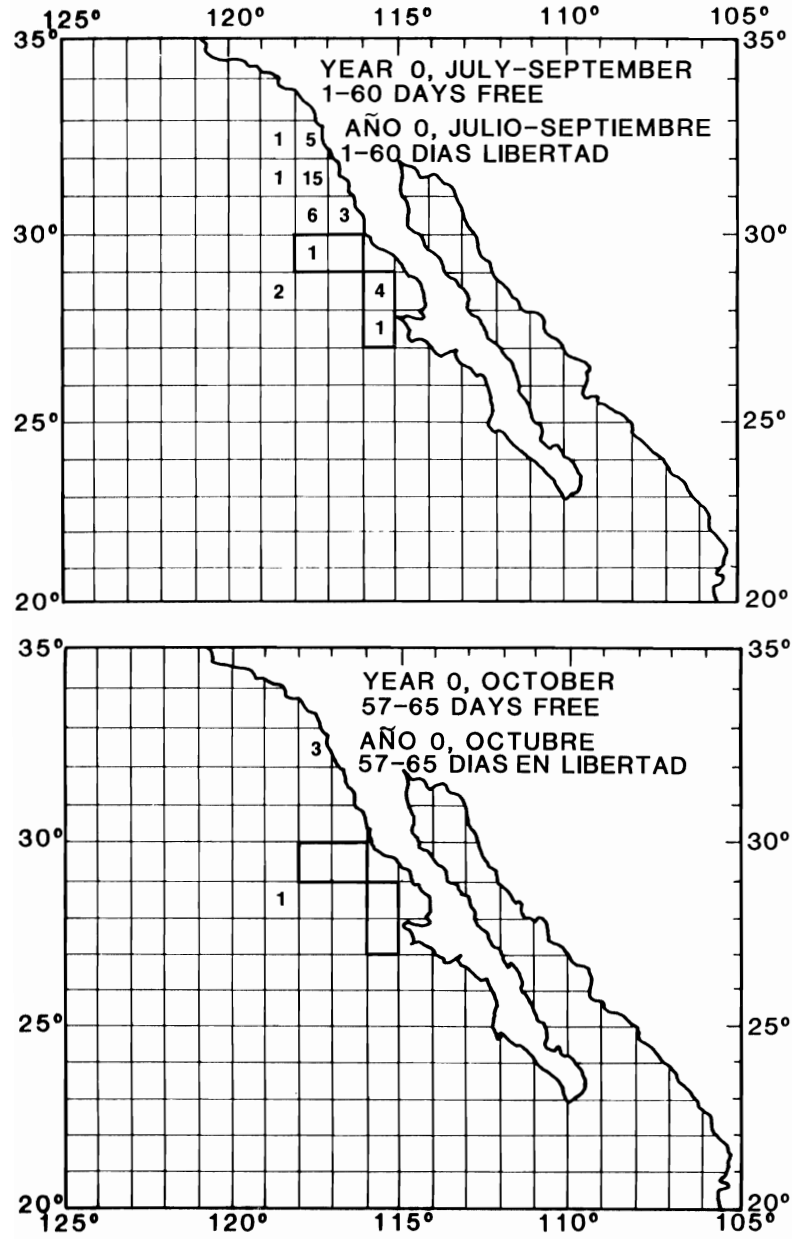


FIGURE 10. (continued).

FIGURA 10. (continuación).

27° N - 30° N, 1962-1979

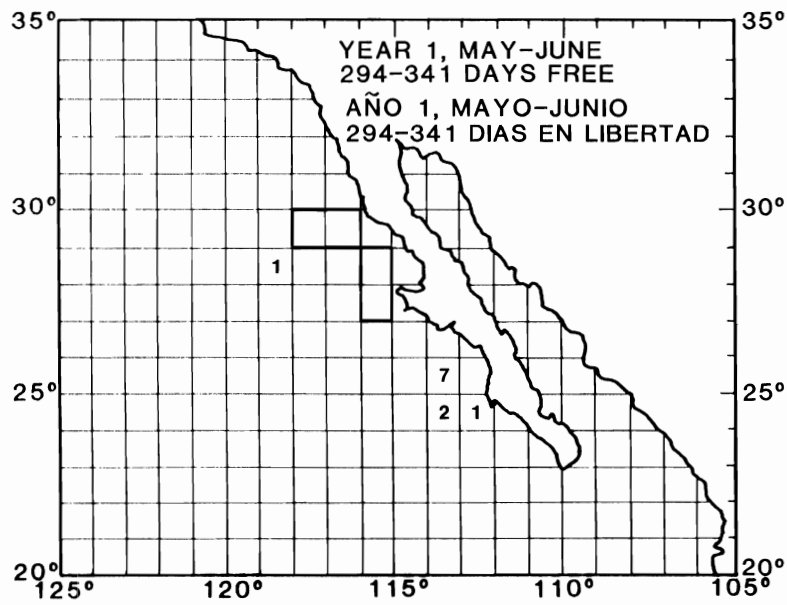
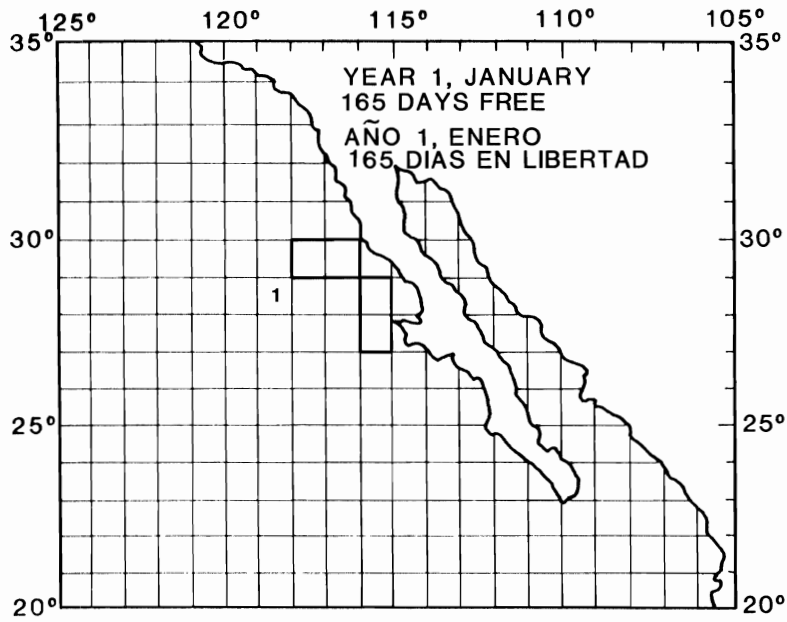


FIGURE 10. (continued).

FIGURA 10. (continuación).



NORTHERN BLUEFIN TUNA

30° N - 34° N, 1962-1980

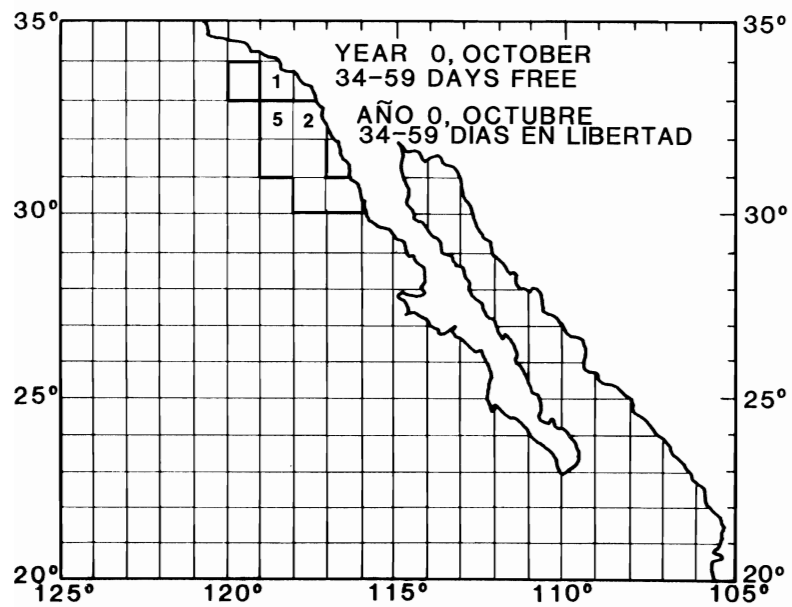
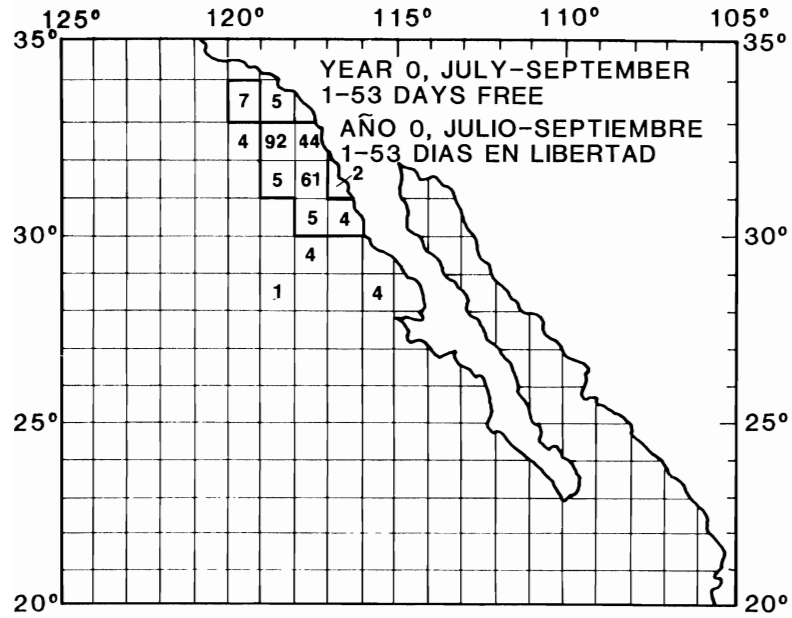


FIGURE 10. (continued).

FIGURA 10. (continuación).

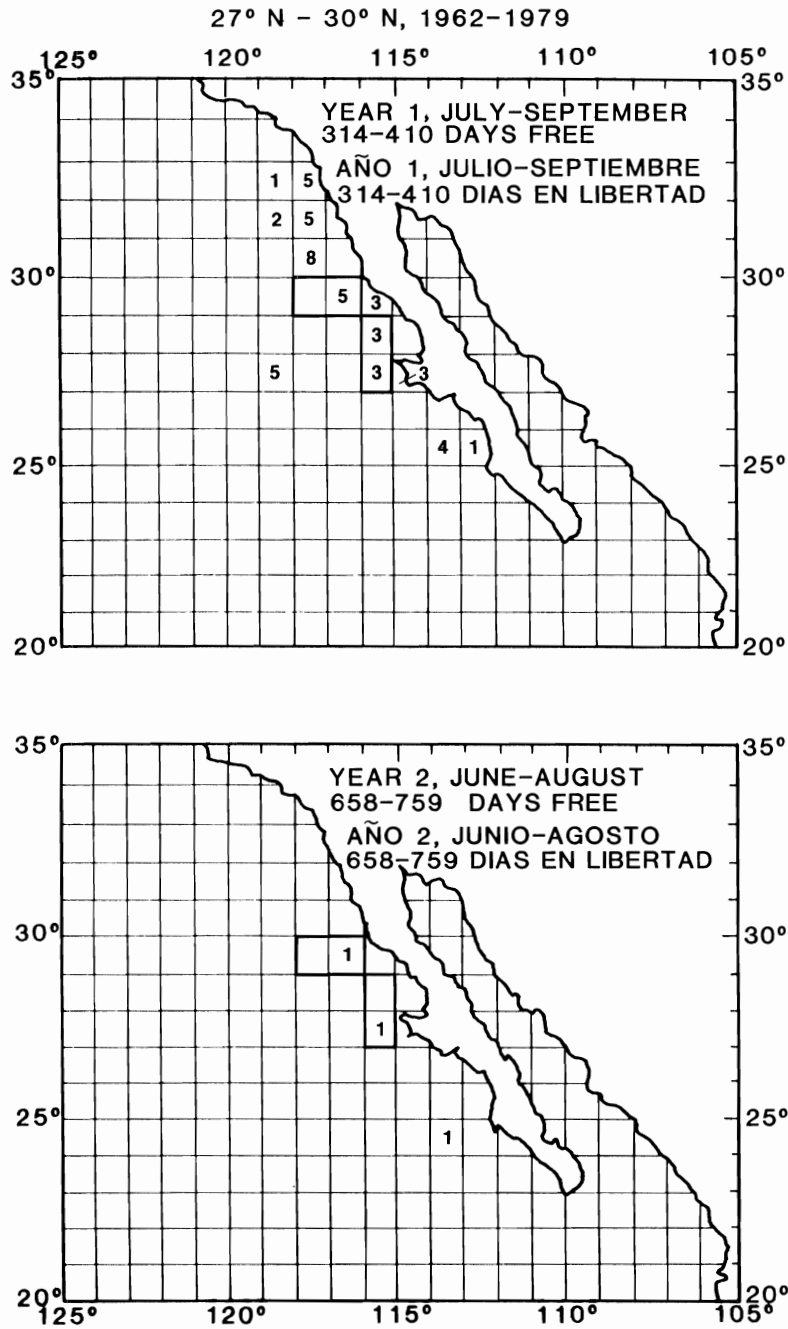


FIGURE 10. (continued).

FIGURA 10. (continuación).

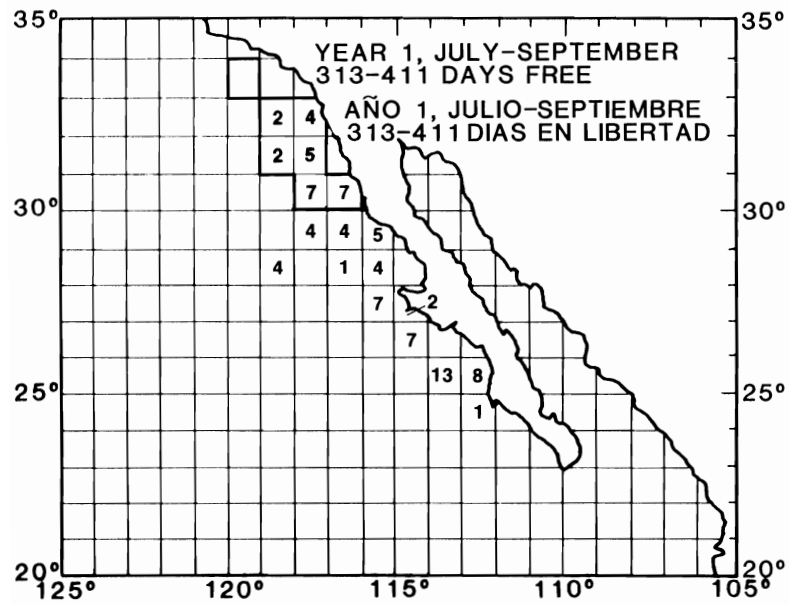
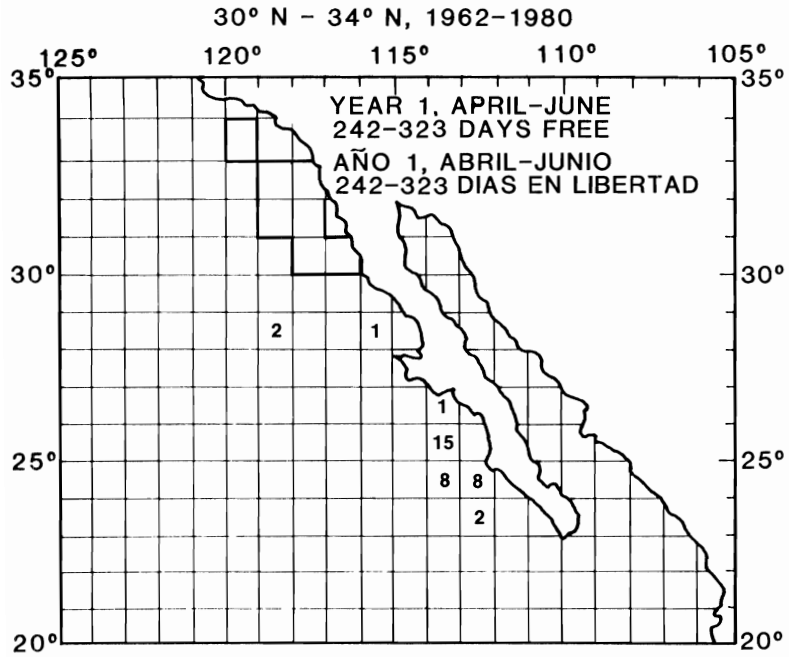


FIGURE 10. (continued).  
FIGURA 10. (continuacion).

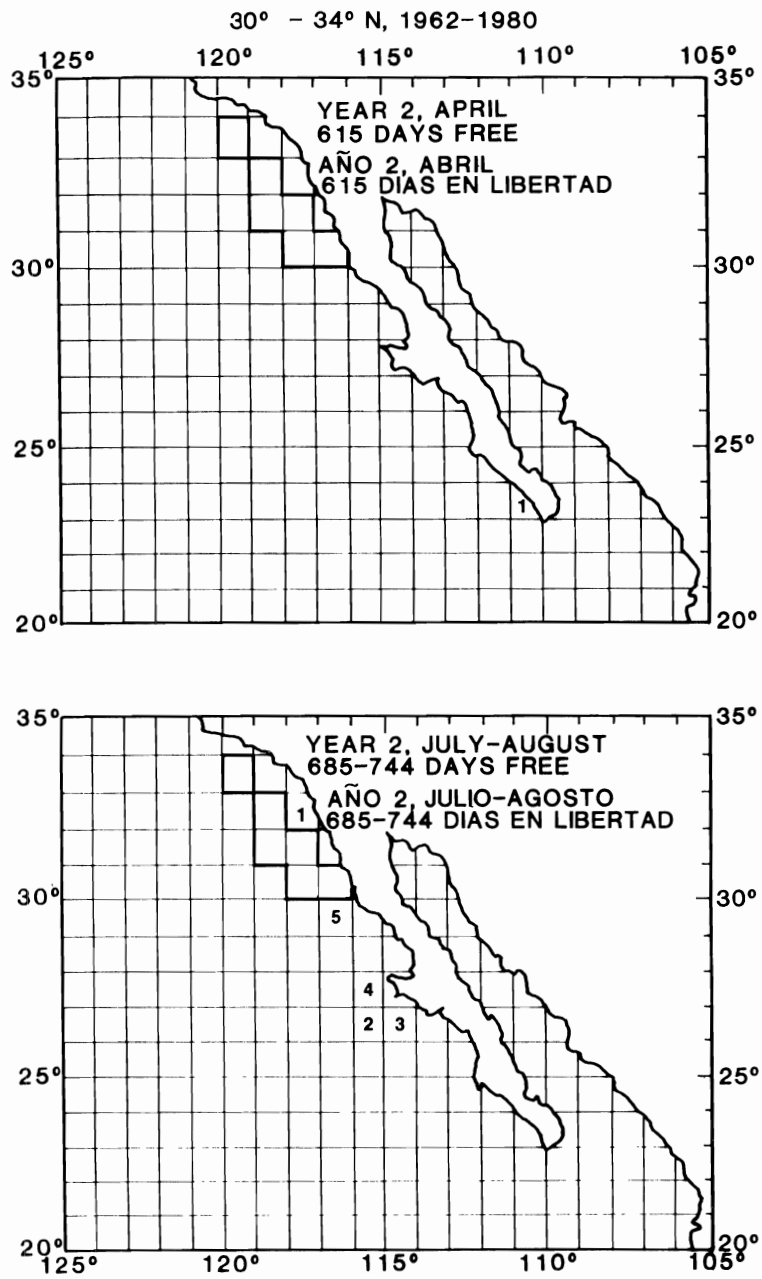
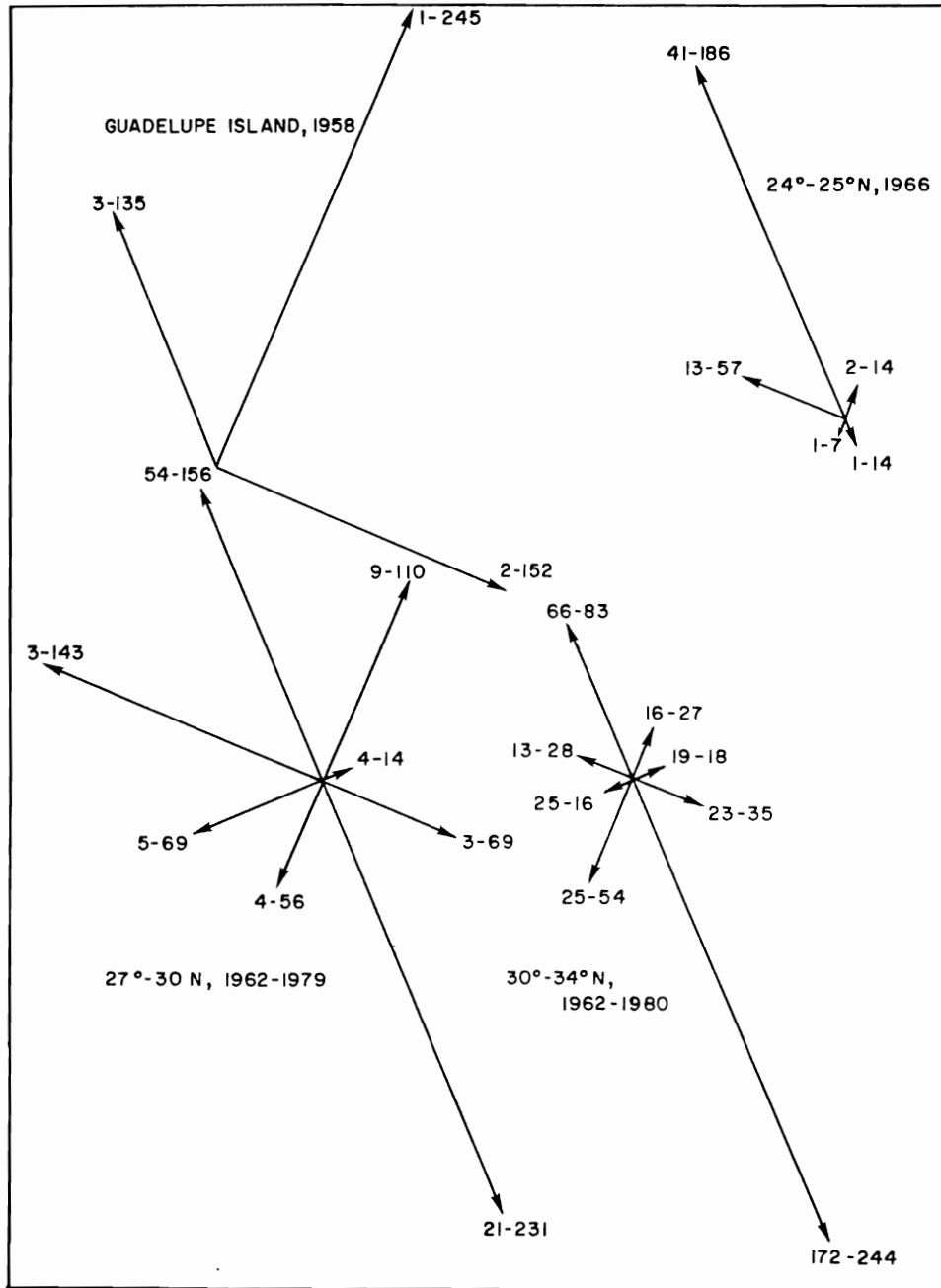


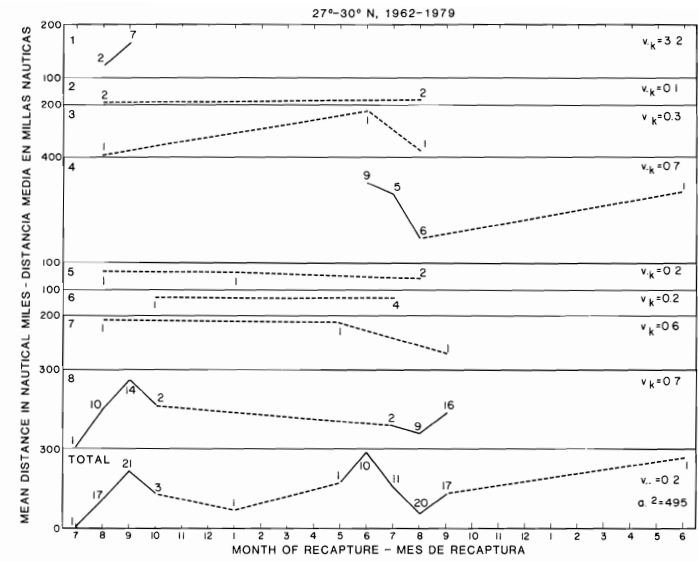
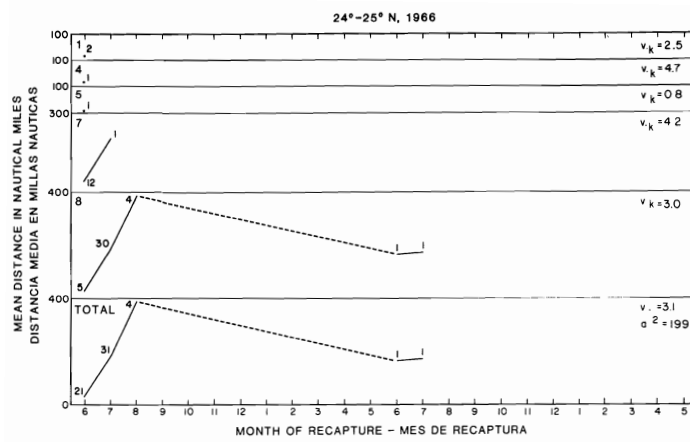
FIGURE 10. (continued).

FIGURA 10. (continuación).



**FIGURE 11.** Directions and mean distances of movement for tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean. The diagrams are explained in the text.

**FIGURA 11.** Dirección y distancia media de movimientos de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental. En el texto se explican los diagramas.



**FIGURE 12.** Dispersion, by directions and months of recapture, for tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean. The numbers in the upper left corners of the panels indicate the directions of movement.

**FIGURA 12.** Dispersión, por dirección y mes de recaptura, de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental. Las cifras en la esquina superior izquierda de cada recuadro indica la dirección del movimiento.

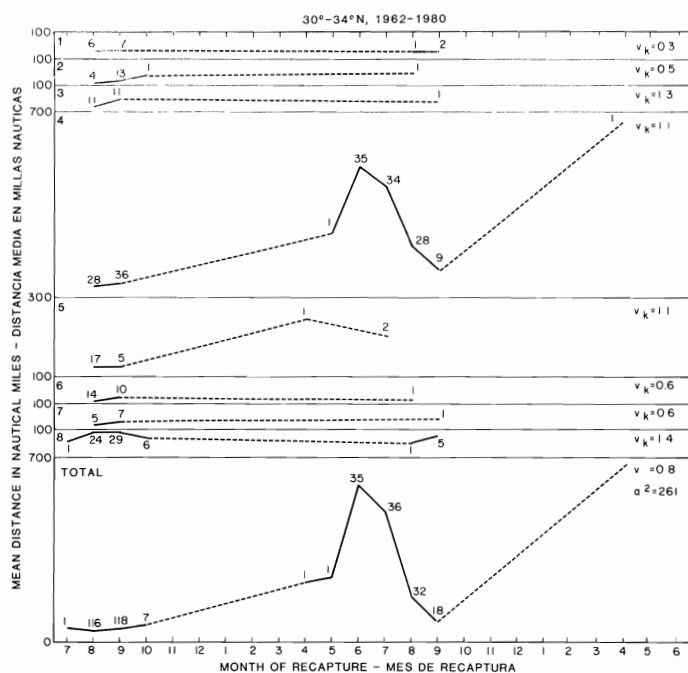


FIGURE 12. (continued).

FIGURA 12. (continuación).

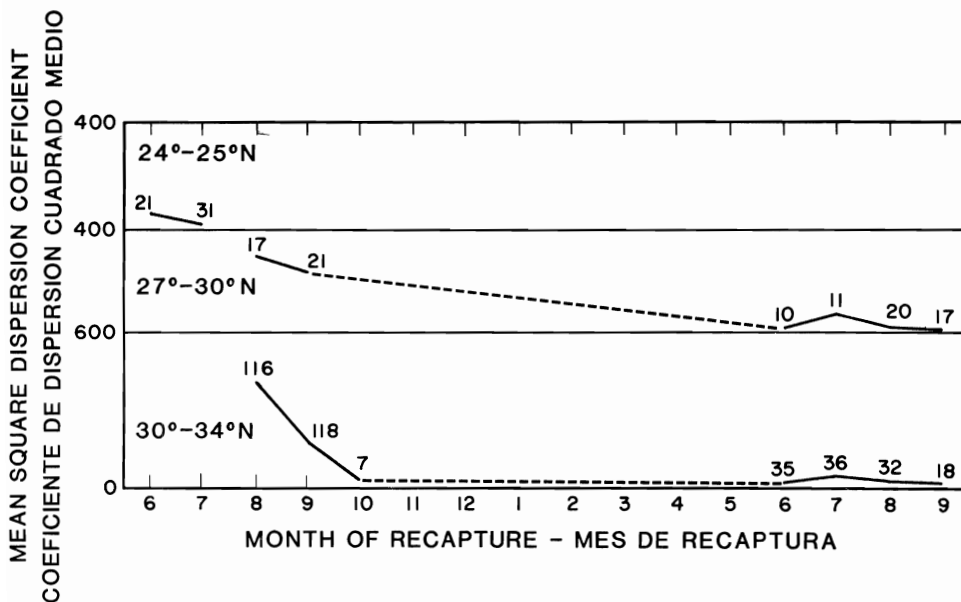


FIGURE 13. Mean square dispersion coefficients, by months of recapture, for tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean.

FIGURA 13. Coeficientes de dispersión cuadrados medios, por mes de recaptura, de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental.

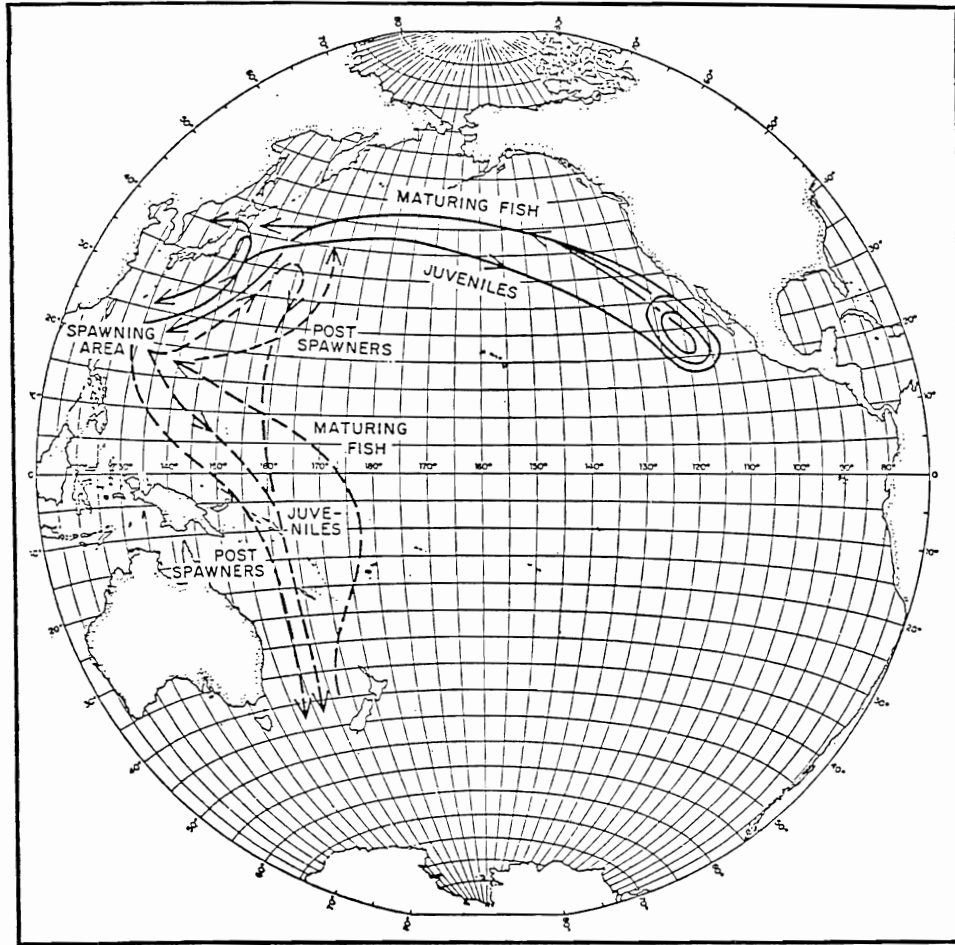
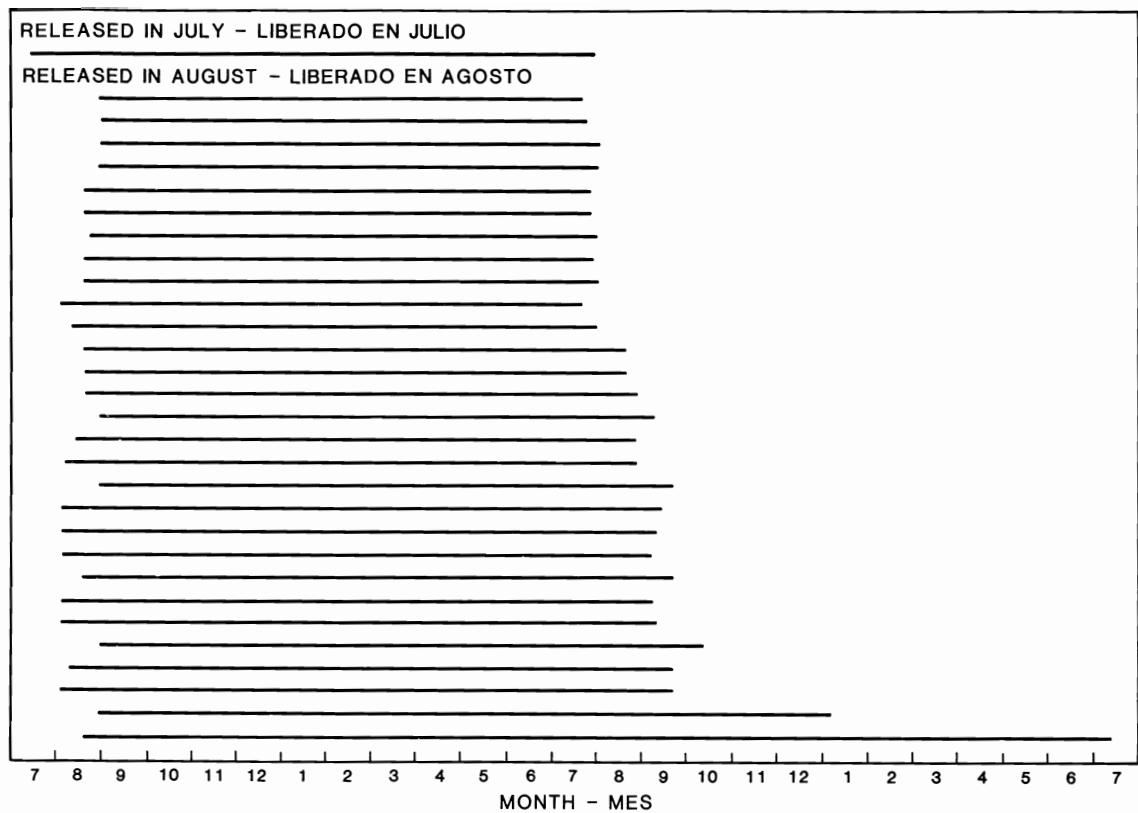


FIGURE 14. A model for northern bluefin migration in the Pacific Ocean.

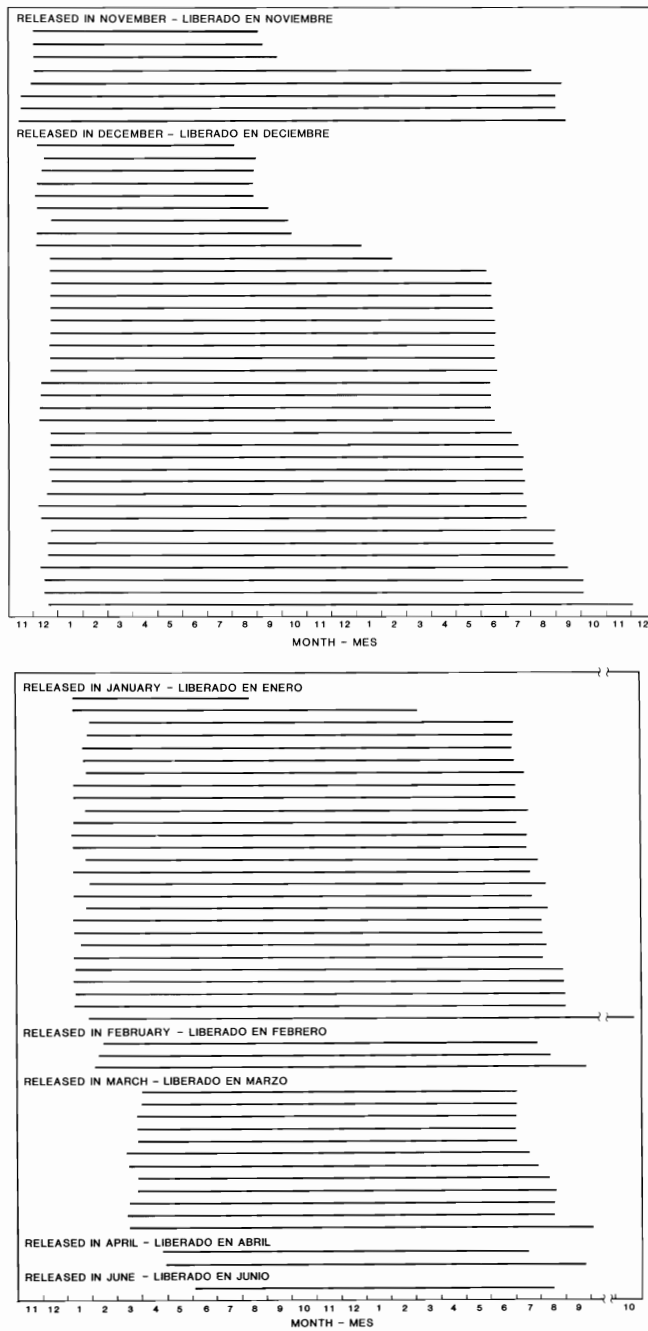
FIGURA 14. Un modelo de la migración del aleta azul del norte en el Océano Pacífico.





**FIGURE 15.** Dates of release and recapture of northern bluefin released in the western Pacific in July and August and recaptured in the eastern Pacific.

**FIGURA 15.** Fecha de liberación y recaptura de aletas azules del norte liberados en el Pacífico occidental en julio y agosto y recapturados en el Pacífico oriental.



**FIGURE 16.** Dates of release and recapture of northern bluefin released in the western Pacific during November-June and recaptured in the eastern Pacific.

**FIGURA 16.** Fecha de liberación y recaptura de aletas azules del norte liberados en el Pacífico occidental entre noviembre y junio y recapturados en el Pacífico oriental.

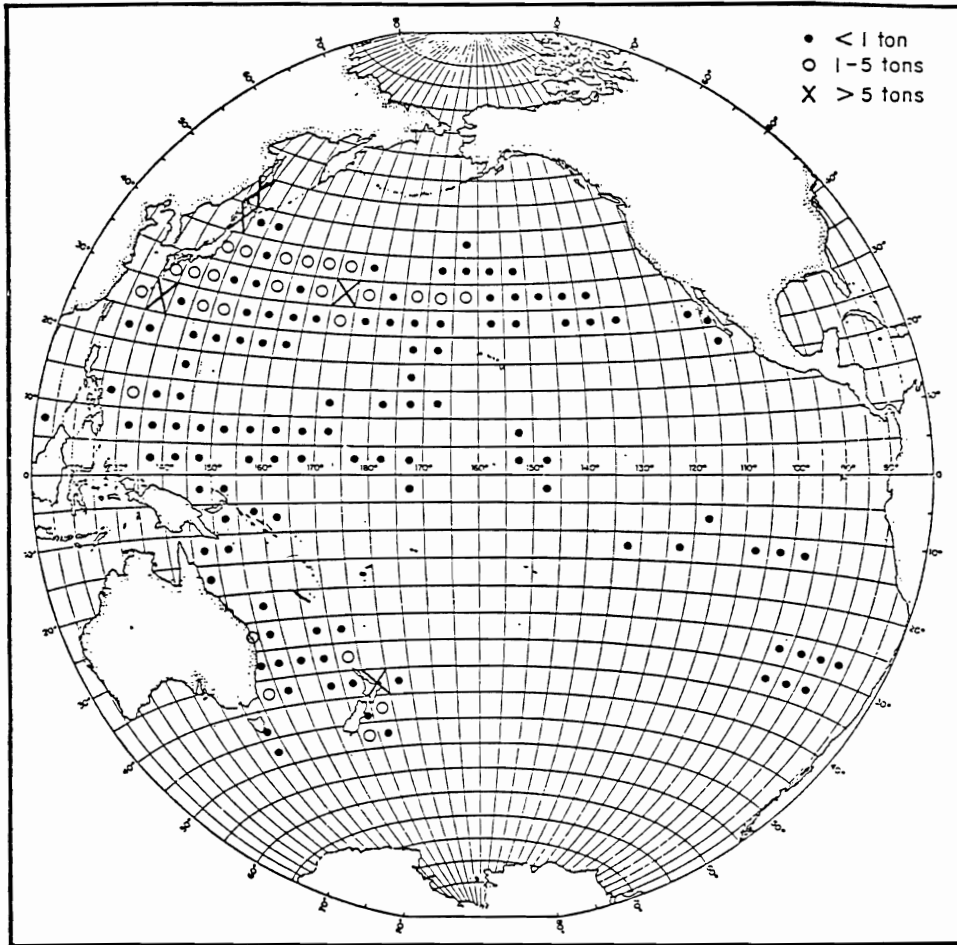
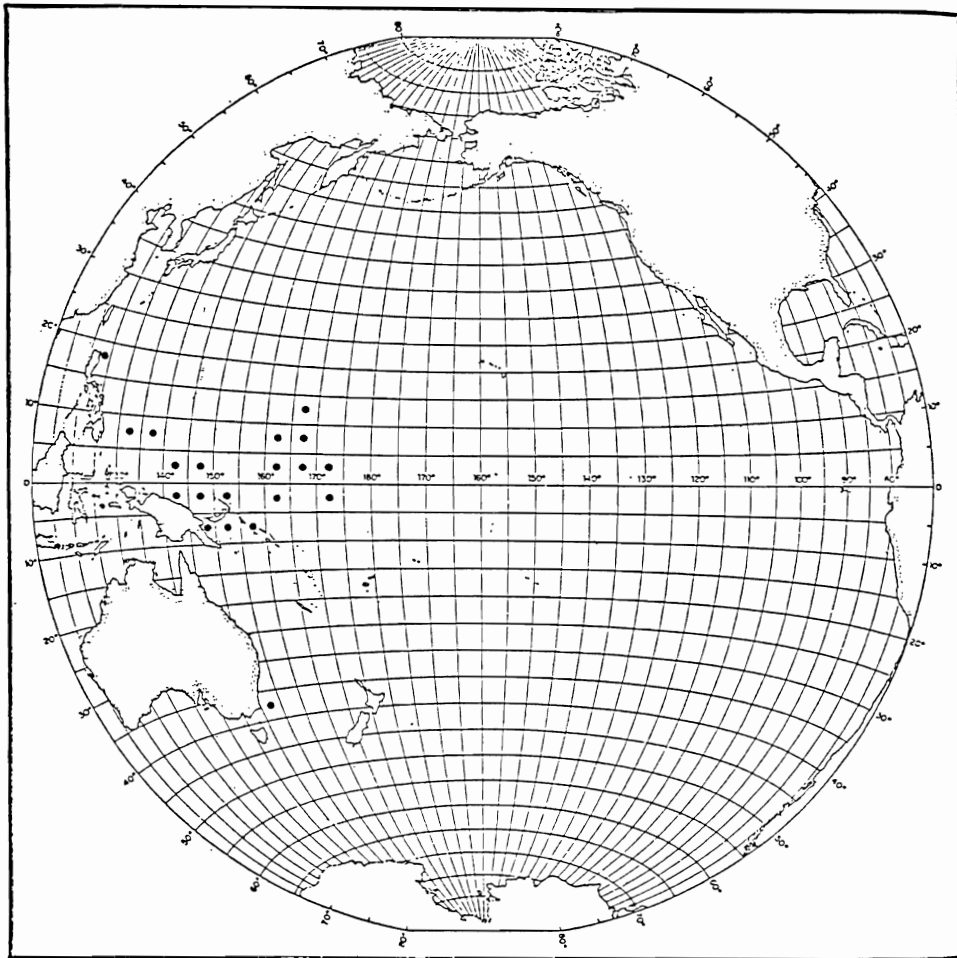


FIGURE 17. Average annual distribution of catches of northern bluefin in the Pacific Ocean by Japanese longliners during 1972-1976 (from Bayliff, 1980).

FIGURA 17. Distribución anual media de las capturas de aletas amarillas del norte en el Océano Pacífico de palangreros japoneses durante 1972-1976 (de Bayliff, 1980).



**FIGURE 18.** Five-degree areas south of 20°N in the Pacific Ocean in which northern bluefin were caught by surface gear during 1972-1976 (from Bayliff and Calkins, 1979).

**FIGURA 18.** Areas de 5° al sur de 20°N en el el Océano Pacífico donde se capturaron aletas azules del norte con artes de superficie durante 1972-1976 (de Bayliff y Calkins, 1979).

**TABLE 1.** Summary of data for tagged bluefin released in the western Pacific Ocean during the 1980-1988 period. The abbreviations W, C, and E stand for western Pacific, central Pacific (between 160°E and 130°W), and eastern Pacific, respectively. The 1983-1988 year class fish were all tagged by the NRIFSF. **TABLA 1.** Resumen de los datos de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental en el período de 1980-1988. Las abreviaturas W, C, y E significan el Pacífico occidental, central (entre 160°E y 130°W), y oriental, respectivamente. Los peces de las clases anuales de 1983-1988 fueron marcados por el NRIFSF.

Year class	Organiza-tion	Areas of release	Dates of release	Gear at release	Released	Returned — Devueltos												Percent returned						
						Year-Año 0			Year-Año 1			Year-Año 2			Year-Año 3				Year-Año 4			Total		
						W	C	E	W	C	E	W	C	E	W	C	E		W	C	E	W	C	E
1979	IATTC	Kagoshima	Jan.-Apr. 1980	troll	671	—	—	—	122	0	0	33	0	24	9	1	0	3	0	0	167	1	24	28.6
	IATTC	Kagoshima	May 1980	trap	33	—	—	—	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9.1
	IATTC	Toyama Bay	Jun.-Jul. 1980	trap	35	—	—	—	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	91.4
1980	IATTC	Kochi	Aug.-Sep. 1980	troll	106	10	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	11.3
	NRIFSF	Shizuoka	Aug.-Oct. 1980	troll	394	58	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	15.5
	NRIFSF	Nagasaki	Nov.-Dec. 1980	troll	288	0	0	0	40	0	0	8	0	4	2	0	0	0	0	0	50	0	4	20.1
	NRIFSF	Toyama Bay	Nov.-Dec. 1980	trap	140	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	6.4
1981	IATTC	Kochi	Jul.-Sep. 1981	troll	3,297	264	0	0	48	2	24	5	0	1	0	0	0	0	0	317	2	25	10.4	
	NRIFSF	Shizuoka	Aug.-Sep. 1981	troll	693	108	0	0	6	1	8	2	0	1	0	0	0	0	0	116	1	9	18.2	
	NRIFSF	Nagasaki	Nov.-Dec. 1981	troll	443	2	0	0	57	2	13	11	0	2	2	0	0	0	0	72	2	15	20.1	
	NRIFSF	Toyama Bay	Nov.-Dec. 1981	trap	467	17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	3.9	
	NRIFSF	Hokkaido	Oct. 1982	trap	50	—	—	—	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	14.0	
1982	IATTC	Kochi	Jul.-Aug. 1982	troll	237	24	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	12.2	
	NRIFSF	Shizuoka	Aug.-Sep. 1982	troll	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	25.0	
	NRIFSF	Shimane	Nov. 1982	troll	233	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	0	1	2.6	
	NRIFSF	Toyama Bay	Nov.-Dec. 1982	trap	257	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.4	
	NRIFSF	Nagasaki	Jan. 1983	troll	109	—	—	—	21	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	25	0	1	23.9	
	NRIFSF	Hokkaido	Aug. 1983	trap	11	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1983		Shizuoka	Sep.-Oct. 1983	troll	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7.7	
		Shimane	Nov. 1983	troll	290	3	0	0	33	0	0	8	0	2	0	0	0	0	0	44	0	2	15.9	
		Toyama Bay	Nov.-Dec. 1983	trap	45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	6.7	
		Nagasaki	Dec. 1983	troll	315	0	0	0	72	0	1	1	0	16	1	0	0	0	0	74	0	17	28.9	
	Hokkaido	Jun.-Oct. 1984	trap	112	—	—	—	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	1	6.2		
1984		Shizuoka	Jul.-Oct. 1984	troll	1,345	102	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	0	0	7.9	
		Toyama Bay	Oct.-Dec. 1984	trap	159	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	4.4	
		Kagoshima	Dec. 1984	troll	203	0	0	0	9	0	1	1	0	11	0	0	0	0	0	10	0	12	10.8	
		Nagasaki	Jan. 1985	troll	203	—	—	—	40	0	1	2	0	15	0	0	0	0	0	42	0	16	28.6	
		Hokkaido	Aug.-Nov. 1985	trap	34	—	—	—	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2.9	

TABLE 1. (continued)  
 TABLA 1. (continuación)

Year class Clase anual	Organiza- tion Organi- zación	Areas of release Area de liberación	Dates of release Fecha de liberación	Gear at release Arte de liberación	Released Liberados	Returned – Devueltos															Percent returned Porcentaje devuelto			
						Year-Año 0			Year-Año 1			Year-Año 2			Year-Año 3			Year-Año 4				Total		
						W	C	E	W	C	E	W	C	E	W	C	E	W	C	E		W	C	E
1985		Shizuoka	Sep.-Oct. 1985	troll	30	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	5	0	0	16.7
		Nagasaki	Nov.-Dec. 1985	troll	165	0	0	0	16	0	0	4	0	1	0	0	0	—	—	—	20	0	1	12.7
		Kagoshima	Jan.-Feb. 1986	troll	784	—	—	—	64	0	0	6	0	3	1	0	0	—	—	—	71	0	3	9.4
		Hokkaido	Aug.-Oct. 1986	trap	12	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0.0
		Hokkaido	Jul. 1987	trap	2	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0.0
1986		Kochi	Aug.-Oct. 1986	troll	219	27	0	0	12	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	39	0	0	17.8
		Miyazaki	Aug. 1986	troll	163	15	0	0	1	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	16	0	0	9.8
		Cape Noma	Aug. 1986	troll	141	2	0	0	7	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	9	0	0	6.4
		Okinawa	Aug. 1986	troll	66	0	0	0	2	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	2	0	0	3.0
		Shizuoka	Oct. 1986	troll	10	1	0	0	2	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	3	0	0	30.0
		Nagasaki	Feb. 1987	troll	237	—	—	—	12	0	0	0	0	1	—	—	—	—	—	—	12	0	1	5.5
		Hokkaido	Jul.-Oct. 1987	trap	27	—	—	—	1	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	1	0	0	3.7
		1987		Kochi	Jul.-Aug. 1987	troll	463	35	0	0	2	0	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37	0
Okinawa	Aug. 1987			troll	122	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0.0
Nagasaki	Feb. 1988			troll	144	—	—	—	8	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	0	0	5.6
1988		Kochi	Jul. 1988	troll	588	14	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	0	0	2.4
Totals		Kochi	Jul.-Oct.	troll	4,910	374	0	0	68	2	25	6	0	1	0	0	0	0	0	0	448	2	26	9.7
		Miyazaki	Aug.	troll	163	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	9.8
		Cape Noma	Aug.	troll	141	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	6.4
		Okinawa	Aug.	troll	188	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1.1
		Shizuoka	Jul.-Oct.	troll	2,502	273	0	0	19	1	8	2	0	1	0	0	0	0	0	0	294	1	9	12.2
		Shimane	Nov.	troll	523	3	0	0	37	0	0	9	0	3	0	0	0	0	0	0	49	0	3	9.9
		Nagasaki	Nov.-Feb.	troll	1,884	2	0	0	266	2	15	28	0	39	7	0	1	0	0	0	303	2	55	19.1
		Kagoshima	Dec.-Apr.	troll	1,658	0	0	0	195	0	1	40	0	38	10	1	0	3	0	0	248	1	39	17.4
		Kagoshima	May	trap	33	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9.1
		Toyama Bay	Nov.-Jun.	trap	1,103	34	0	0	35	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	6.3
		Hokkaido	Jun.-Oct.	trap	248	0	0	0	12	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	15	0	1	6.5
				troll	11,969	669	0	0	595	5	49	85	0	82	17	1	1	3	0	0	1,369	6	132	12.6
				trap	1,384	34	0	0	50	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	88	0	1	6.4
				both	13,353	703	0	0	645	5	49	89	0	83	17	1	1	3	0	0	1,457	6	133	12.0

**TABLE 2.** Summary of data for tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean. USBCF, CDFG, and MBRF stand for U.S. Bureau of Commercial Fisheries, California Department of Fish and Game, and Mission Bay Research Foundation, respectively.

**TABLA 2.** Resumen de los datos de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental. USBCF, CDFG, y MBRF significan el U.S. Bureau of Commercial Fisheries, el California Department of Fish and Game, y la Mission Bay Research Foundation, respectivamente.

Organization(s)	Dates of release	Gear at release	Released	Returned		Percent returned
				East	West	
Organizacion(es)	Fecha de liberación	Arte de liberación	Liberados	Devueltos Este	Oeste	Porcentaje devuelto
CDFG	Aug. 1953	troll	3	*	*	*
CDFG	Aug.-Sep. 1954	troll	1	*	*	*
CDFG	Sep. 1955	purse seine	50	*	*	*
CDFG	Aug.-Sep. 1956	troll	9	≥1	*	*
IATTC	Jan.-Feb. 1958	purse seine	122	8	1	7.4
USBCF	Jul. 1961	gill net	1	1	0	100.0
USBCF-CDFG	Aug. 1962	purse seine	960	170	5	18.2
USBCF-CDFG	Jul-Aug. 1963	purse seine	543	83	0	15.3
CDFG-MBRF	Aug. 1963	purse seine	100	32	0	32.0
USBCF-CDFG	Aug. 1964	purse seine	782	172	3	22.4
CDFG-MBRF	Aug. 1964	purse seine	175	28	0	16.0
CDFG-MBRF	Aug.-Sep. 1964	sport	2	0	0	0.0
CDFG-MBRF	Aug. 1965	sport	1	0	0	0.0
CDFG-MBRF	Jun. 1966	purse seine	237	65	0	27.4
CDFG	Jul. 1968	purse seine	35	6	0	17.1
IATTC	Aug. 1979	purse seine	300	39	1	13.3
IATTC	Aug.-Sep. 1980	purse seine	114	7	0	6.1
Total		purse seine	3,418	610	10	18.1
		other	17	≥2	*	*

\*no information available — faltan datos

**TABLE 3.** Age and growth data for bluefin in the Pacific Ocean. The lengths are given in centimeters. Schultze and Collins' (1977) estimates are attributed to an unpublished thesis (their Table 1). The sample of Bell (1963) consisted of 247 fish, of which approximately half had legible scales.  
**TABLA 3.** Datos de la edad y crecimiento del aleta azul en el Océano Pacífico. Las tallas se expresan en centímetros. Se atribuyen las estimaciones de Schultze y Collins (1977) a una tesis inédita (su Tabla 1). La muestra de Bell (1963) consistió de 247 peces, aproximadamente la mitad de los cuales tenían escamas legibles.

Method Método	Sample size Tamaño de la muestra	Age – Edad										$L_{\infty}$	$K$ (annual)	$t_0$ (annual)	Reference Referencia
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
hard parts	21	43	69	94	118	145	168	190	210	230	250				Aikawa and Katô, 1938
length frequencies	4,156	50.0	90.0	125.0	154.0	178.0	198.0	215.0	229.0	241.0		300.0			Yokota et al., 1961
hard parts	about 124	57.10	72.08	90.65	106.95	128.50	142.00								Bell, 1963
hard parts	97	51.8	78.2	102.0	123.5	142.9	160.3	176.1	190.3	203.1	214.6	320.5	0.1035	-0.7034	Yukinawa and Yabuta, 1967
hard parts	2,743	53.0	80.4	104.8	126.3	145.5	162.4					295.4			Schultze and Collins, 1977
hard parts	232	49.1	71.1	92.4	113.1	133.0	152.2					703.6	0.0343	1.107	Anonymous, 1986



**TABLE 4.** Linear growth rates (millimeters per day) of bluefin recaptured on the same side of the ocean they were released (local) and of transoceanic migrants.

**TABLA 4.** Tasas de crecimiento lineal (milímetros/día) de aletas azules recapturados en el mismo lado del océano en el que fueron liberados (locales) y de migrantes transoceánicos.

Days at liberty Días en libertad	Movement Movimiento	Length at release – Talla de liberación					
		151-300		301-450		451-600	
		Number Número	Growth rate Tasa de crecimiento	Number Número	Growth rate Tasa de crecimiento	Number Número	Growth rate Tasa de crecimiento
271-360	local	15	1.28	7	0.71	1	0.54
	trans.	2	1.05	0	—	2	0.58
361-540	local	1	1.03	9	0.74	24	0.71
	trans.	4	1.17	0	—	19	0.54
541-720	local	5	0.80	3	0.58	9	0.69
	trans.	0	—	1	0.65	13	0.56

**TABLE 5.** Parameters of growth for bluefin, using the one- and two-stanza models.  
**TABLA 5.** Parámetros de crecimiento del aleta azul, usando los modelos de una estrofa y de dos.

Area of release	Movements	Model for Stanza 1	Number of groups	$L^*$ (mm)	$\lambda$	$L_\infty$ (mm)	$K$ (annual)	$\beta$	ln likelihood
Area de liberación	Movimientos	Modelo para la Estrofa 1	Número de grupos	$L^*$ (mm)	$\lambda$	$L_\infty$ (mm)	$K$ (annual)	$\beta$	probabilidad ln
One stanza (three parameters) – Una estrofa (tres parámetros)									
all	all	von Bertalanffy	133	—	1.0	2,230	0.18	—	–775.41
			133	—	1.3	12,044	0.0035	—	–770.98
Two stanza (five parameters) – Dos estrofas (cinco parámetros)									
all	all	von Bertalanffy	133	614	1.0	653	2.24	0.759	–716.1
		Gompertz	133	564	0.001	581	4.32	0.709	–693.3
western Pacific	all	von Bertalanffy	125	635	1.0	668	2.11	0.833	–664.9
		Gompertz	125	565	0.001	580	4.35	0.722	–647.2
all	local	von Bertalanffy	122	587	1.0	624	2.44	0.744	–656.2
		Gompertz	122	563	0.001	579	4.25	0.735	–634.8
western Pacific	local	von Bertalanffy	115	594	1.0	627	2.43	0.806	–611.5
		Gompertz	115	563	0.001	579	4.25	0.750	–593.8

**TABLE 6.** Data on central Pacific recaptures of tagged bluefin released in the western Pacific.  
**TABLA 6.** Datos de recapturas del Pacífico central de aletas azules marcados liberados en el Pacífico occidental.

Tag number	Release			Recapture			Days free	Distance (nautical miles)	Gear
	Date	Location	Length	Date	Location	Length			
Marca número	Liberación			Recaptura			Días en libertad	Distancia (millas náuticas)	Arte
	Fecha	Posición	Talla	Fecha	Posición	Talla			
X0535	Aug. 3, 1981	33°06'N-133°17'E	201	Jun. 2, 1982	37°32'N-171°52'E	?	304	1,894	gill net
X0911	Aug. 7, 1981	33°06'N-133°17'E	200	Jun. 2, 1982	37°52'N-161°01'E	660	300	1,379	gill net
C6442	Aug. 29, 1981	34°35'N-139°00'E	?	May 15, 1982	34°38'N-161°28'E	?	260	1,106	gill net
Y0720	Nov. 30, 1981	33°10'N-128°48'E	500	Jun. 24, 1982	38°41'N-162°01'E	700	207	1,638	gill net
Y0872	Dec. 6, 1981	33°10'N-128°48'E	?	Jun. 24, 1982	39°26'N-161°40'W	622	201	3,300	gill net
H4738	Mar. 8, 1980	31°20'N-129°55'E	500	Nov. 23, 1982	37°37'N-166°35'E	?	991	1,840	bait-boat

**TABLE 7.** Data for tagged fish released in the western Pacific and recaptured during Year 1 (upper panel) and Year 2 (lower panel) in the western (W) and eastern (E) Pacific.

**TABLA 7.** Datos de peces marcados liberados en el Pacífico occidental y recapturados durante el Año 1 (recuadro superior) y el Año 2 (recuadro inferior) en el Pacífico occidental (W) y oriental (E).

Year classes Clases anuales	Areas released Areas de liberación	Month of release – Mes de liberación																										
		7		8		9		10		11		12		1		2		3		4		5		6		Total		
		W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	
1979-1980	Kochi	2	1	18	0																					20	1	
1982-1987	Shizuoka	1	0	2	0	7	0	3	0																	13	0	
	Nagasaki									20	0	108	1	61	1	20	0									209	2	
	Kagoshima											9	1	45	0	65	0	67	0	8	0	3	0			197	1	
	Hokkaido								2	0													6	0		8	0	
	Total	3	1	20	0	7	0	5	0	20	0	117	2	106	1	85	0	67	0	8	0	3	0	6	0	447	4	
1981	Kochi	1	0	40	24	7	0																			48	24	
	Shizuoka			4	8	2	0																			6	8	
	Nagasaki									19	6	38	7													57	13	
	Hokkaido									4	0															4	0	
	Total	1	0	44	32	9	0			23	6	38	7													115	45	
1979	Kagoshima													10	10			17	12	6	2					33	24	
1980-1982	Kochi			6	1																						6	1
1985	Shizuoka			2	1																						2	1
	Shimane									1	1																1	1
	Nagasaki									10	2	13	5	2	0												25	7
	Kagoshima															6	3										6	3
	Toyama Bay									1	0																1	0
	Hokkaido							3	0																		3	0
	Total			8	2			3	0	12	3	13	5	2	0	6	3										44	13
1983-1984	Shimane									8	2																8	2
	Nagasaki											1	16	2	15												3	31
	Kagoshima											1	11														1	11
	Hokkaido																							0	1	0	1	
	Total									8	2	2	27	2	15								0	1	0	1	12	45

**TABLE 8.** Temporal distributions in the eastern Pacific Ocean of logged catches and of recaptures of fish with tags applied to them in the western Pacific. The catches are given in thousands of fish.  
**TABLA 8.** Distribución temporal en el Océano Pacífico oriental de las capturas registradas y de las recapturas de peces con marcas fijadas en el Pacífico occidental. Las capturas se expresan en miles de peces.

Year class	Year of recapture					Chi-square value	Degrees of freedom	P
Clase anual	Año de recaptura					Valor de ji cuadrado	Grados de libertad	P
1979	1981	Months	5-6	7	8-9	2.238	2	>0.05
		Catch	20	9	30			
		Obs. recap.	9	6	9			
		Exp. recap.	8.0	3.8	12.2			
1981	1982	Months	7	8	9-10 ?	5.162	2	>0.05
		Catch	97	101	82			
		Obs. recap.	6	16	14 9			
		Exp. recap.	12.4	13.0	10.5			
1983	1985	Months	2-6	7-12		0.375	1	>0.05
		Catch	167	105				
		Obs. recap.	13	6				
		Exp. recap.	11.7	7.3				
1984	1986	Months	1-7	8-12	?	0.053	1	>0.05
		Catch	195	174				
		Obs. recap.	13	12	1			
		Exp. recap.	13.2	12.8				

**TABLE 9.** Data on releases and recaptures of tagged bluefin which crossed the Pacific Ocean from east to west.**TABLA 9.** Datos de las liberaciones y recapturas de aletas azules marcados que cruzaron el Océano Pacífico de este a oeste.

Tag number	Release			Recapture			Days free	Distance (nautical miles)	Gear
	Date	Location	Length	Date	Location	Length			
Marca número	Liberación			Recaptura			Días en libertad	Distancia (millas náuticas)	Arte
	Fecha	Posición	Talla	Fecha	Posición	Talla			
N1033	Feb. 2, 1958	28°45'N-118°15'W	?	Apr. 23, 1963	29°03'N-139°42'E	1,825	1,907	5,147	long-line
A0374	Aug. 15, 1962	29°43'N-117°20'W	?	Jun. 18, 1964	40°44'N-140°00'E	?	674	4,781	trap
A0405	Aug. 15, 1962	29°43'N-117°20'W	?	Aug. 17, 1964	41°39'N-141°09'E	1,150	734	4,708	long-line
A0575	Aug. 16, 1962	29°50'N-117°13'W	?	Aug. 29, 1964	41°15'N-140°43'E	?	745	4,737	sport
A0189	Aug. 14, 1962	29°48'N-116°57'W	?	Jun. 23, 1965	34°16'N-136°54'E	1,380	1,045	5,124	trap
A0603	Aug. 21, 1962	33°21'N-119°01'W	?	Aug. 10, 1965	41°43'N-141°03'E	1,200	1,086	4,514	troll
A1950	Aug. 20, 1964	32°41'N-117°55'W	600	Jul. 1, 1966	38°25'N-139°15'E	1,100	681	4,746	trap
A1608	Aug. 13, 1964	30°30'N-116°45'W	850	Jul. 4, 1968	38°49'N-142°28'E	?	1,422	4,734	purse seine
A2123	Aug. 20, 1964	32°41'N-117°55'W	650	Jul. 14, 1968	39°37'N-143°16'E	1,580	1,425	4,549	purse seine
P3134	Aug. 16, 1979	31°19'N-117°50'W	850	Apr. 29, 1982	33°00'N-136°30'E	1,526	988	5,092	purse seine

**TABLE 10.** Returns in the eastern Pacific Ocean and estimated annual instantaneous rates of total attrition ( $Z'$ ), by year, for tagged bluefin released in the eastern Pacific Ocean.**TABLA 10.** Devoluciones en el Océano Pacífico oriental y tasas de agotamiento total instantáneas anuales estimadas ( $Z'$ ), por año, de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico oriental.

Year released	Returns by year				
	First — Primero		Second — Segundo		$Z'$
	Dates Fecha	Number Número	Dates Fecha	Number Número	
1962	Sep. 62-Aug. 63	93	Sep. 63-Aug. 64	15	1.97
1963	Sep. 63-Aug. 64	71	Sep. 64-Aug. 65	9	2.18
1964	Sep. 64-Aug. 65	114	Sep. 65-Aug. 66	33	1.49
1966	Jul. 66-Jun. 67	37	Jul. 67-Jun. 68	1	3.64

CRECIMIENTO, MOVIMIENTOS, Y AGOTAMIENTO DEL ATUN  
ALETA AZUL DEL NORTE, *THUNNUS THYNNUS*, EN EL OCEANO  
PACIFICO, DETERMINADO A PARTIR DEL MARCADO

por

William H. Bayliff, Yoshio Ishizuka<sup>1</sup> y Richard B. Deriso

RESUMEN

El crecimiento del atún aleta azul del norte es descrito por un modelo de dos estadios. Para los peces de entre 191 y 564 mm de talla 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 por día.

Peces de edad 0 marcados y liberados en el Pacífico occidental han sido recapturados en el Pacífico occidental, central, y oriental. La demora mínima entre la liberación en el Pacífico occidental y la recaptura en el Pacífico oriental es de 215 días. Peces mayores, principalmente de 1 ó 2 años de edad, marcados y liberados en el Pacífico oriental han sido recapturados en el Pacífico occidental y oriental. La demora mínima entre la liberación en el Pacífico oriental y la recaptura en el Pacífico occidental es de 674 días.

Se estima el coeficiente de mortalidad natural a partir de los datos de crecimiento y temperatura ambiental en un 0.276 anual, con límites de confianza al 90% de 0.161 y 0.471.

El aleta azul del norte desova únicamente en el Pacífico occidental. Algunos de los juveniles migran al Pacífico oriental, donde permanecen entre varios meses y varios años antes de regresar al Pacífico occidental. La porción de los peces que migran al Pacífico oriental varía entre años, y esto parece ser una causa importante de la variación anual en las capturas en el Océano Pacífico oriental.

INTRODUCCION

El atún aleta azul del norte, *Thunnus thynnus*, ocurre en el Océano Atlántico y en el Pacífico. Las capturas mundiales y del Océano Pacífico de la especie son muy inferiores a aquellas del barrilete (*Katsuwonus pelamis*), el aleta amarilla (*Thunnus albacares*), el patudo (*T. obesus*), o la albacora (*T. alalunga*) (Anónimo, 1989: Figuras 6 y 7), pero la pesquería es no obstante de valor económico considerable. Las capturas en el Pacífico oriental han disminuído en los últimos años (Figura 1), fenómeno que preocupa al National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF) del Japón y la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). El aleta azul ocurre en el Pacífico oriental y occidental, pero se ha reportado el desove solamente en el Pacífico occidental (Yamanaka y colaboradores, 1963; Yabe *et al.*, 1966; Nishikawa *et al.*, 1985), y peces marcados liberados tanto en el Pacífico occidental como en el oriental han efectuado migraciones transoceánicas (Clemens y Flittner, 1969; Anónimo, 1989: Tablas 14 y 15). Es por lo tanto apropiado que ambas organizaciones cooperen entre sí en sus estudios de esta especie.

No se ha publicado nada sobre los aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico occidental, excepto dos frases que describen experimentos fracasados realizados con peces "jóvenes" frente en el Mar del Japón frente a Hokkaido en 1933 y 1934 (Yamanaka y colaboradores, 1963) y mención hecha por Clemens y Flittner (1969) de dos recapturas en el Océano Pacífico oriental de "varios centenares" de peces marcados liberados en el Pacífico occidental en 1965. Chatwin y Orange (1960), Bayliff y Calkins (1979), Bayliff (1980), y Hanan (1983) han tratado de los movimientos y la mortalidad de aletas azules marcados liberados y recapturados en el Océano

<sup>1</sup> Dirección actual: National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japan.

Pacífico oriental, y Orange y Fink (1963) y Clemens y Flittner (1969) han descrito migraciones de aletas azules del Pacífico oriental al occidental. El presente informe incluye, además de análisis más detallados de lo anterior, información sobre el crecimiento del aleta azul, sus movimientos dentro del Pacífico occidental, y su migración del Pacífico occidental al oriental.

### MATERIALES Y METODOS

Los métodos para marcar los atunes y recuperar los peces marcados son descritos por Bayliff y Holland (1986). La mayoría de los peces marcados liberados en el Pacífico occidental fueron capturados con curricán, y el resto con trampas (Tabla 1). En la mayoría de los casos, las tasas de devolución fueron más bajas para los peces capturados con trampa que para aquellos capturados con curricán. Las tasas de devolución fueron elevadas para los peces marcados liberados en la Bahía de Toyama en junio y julio de 1980, pero la mayoría de éstos fueron recapturados en las mismas trampas o en otras cercanas al cabo de pocos días, y los datos de devolución son por lo tanto de poco valor. Casi todos de los peces marcados liberados en el Pacífico oriental fueron capturados con red de cerco (Tabla 2), método que desgraciadamente es inadecuado para la captura de peces para el marcado, ya que es baja la supervivencia de peces marcados capturados de esta manera (Bayliff, 1973). No obstante, no existía ninguna alternativa, ya que rara vez es capturado el aleta azul en el Pacífico oriental con otros métodos.

Al marcar los peces, la mayoría de ellos fueron medidos a los 5 cm, 1 cm, ó 1 mm más cercanos, de la punta del hocico a la furca caudal (talla furcal). Al ser recapturados, la mayoría fue medida de la punta del hocico a la furca caudal, pero algunos fueron medidos de la punta del hocico al punto central de una línea imaginaria entre la punta dorsal y la ventral de la aleta caudal (talla total), unos pocos fueron medidos de la punta del hocico al "extremo posterior de la protuberancia muscular en la base caudal" (talla del cuerpo) (Kimura, 1956), mientras que otros fueron pesados o ni medidos ni pesados. Se convirtieron las tallas totales y del cuerpo en tallas furcales con las fórmulas

$$FL = 9.41 + 0.892TL \quad (1a)$$

o

$$FL = 1.090BL \quad (1b)$$

donde  $FL$  = talla furcal,  $TL$  = talla total, y  $BL$  = talla del cuerpo, todas en milímetros. En general, no se convirtieron los pesos a tallas porque se creía que entremezclar estimaciones de la talla derivadas de un procedimiento de este tipo con mediciones de la talla reduciría la calidad general de los datos. Además, no era siempre posible saber cuáles de los pesos fueron medidos con precisión y cuáles estimados. No obstante, los pesos de dos peces fueron convertidos a tallas. Se hizo así porque ambos habían permanecido en libertad durante un período largo (marzo de 1980 a junio de 1983), y se juzgó que las ventajas de usar estos datos para la estimación de una curva de crecimiento valían más que las objeciones al procedimiento. Se usó la fórmula

$$\ln l = (\ln w + 17.5)/2.97 \quad (2)$$

(Anónimo, 1981: 39), donde  $l$  = talla en milímetros y  $w$  = peso en kilogramos, para convertir el peso en talla.



## RESULTADOS Y ANALISIS

## CRECIMIENTO

La longitud y peso máximos registrados para el aleta azul del norte en el Océano Pacífico, según Foreman e Ishizuka (1990), son como sigue:

Posición	Fecha	Talla (cm)	Peso (kg)
entre 27° y 29°N y 130° y 133°E	Abril, 1986	ca. 300	ca. 555.5
Isla San Nicolás (ca. 33°30' N-119°30' W)	18 diciembre, 1988	271	458

Los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para el aleta azul en el Océano Pacífico han sido estimados por varios investigadores a partir de análisis de las partes duras y datos de frecuencia de talla. Se resumen estos datos en la Tabla 3. Las estimaciones de la talla media a edad 1-6 se aproximan bastante bien, pero las estimaciones de  $L_{\infty}$  y  $K$  de Anónimo (1986) son considerablemente mayores y menores, respectivamente, que aquellas de los otros investigadores.

Bayliff y Calkins (1979) intentaron estimar los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para el aleta azul a partir de datos de peces marcados liberados en el Pacífico oriental durante 1963 y 1964 por el Bureau of Commercial Fisheries de los Estados Unidos, el California Department of Fish and Game, y la Mission Bay Research Foundation. Estos peces fueron medidos solamente a los 5 cm más cercanos antes de ser liberados. Una comparación de las tallas de liberación y recaptura de 30 peces en libertad entre 1 y 20 días señaló que existía un sesgo por exceso en las mediciones de la talla de liberación, y se hicieron por lo tanto ajustes para eliminar dicho sesgo. A pesar de estos ajustes, se obtuvieron de estos datos estimaciones no realistas de los parámetros de crecimiento. En conclusión, se recomendó que "si se marcan aletas azules del norte en el futuro . . . deberían ser medidos al centímetro más cercano, y con suficiente cuidado como para minimizar el sesgo."

Para el presente estudio, se usaron datos de los aletas azules marcados y liberados durante 1980-1988 para estudiar su crecimiento. Estos peces habían sido medidos al centímetro más cercano o, en algunos casos, al milímetro más cercano, y con bastante cuidado, para así minimizar el sesgo.

Antes de proceder con los análisis principales, se reunieron datos (Tabla 4) sobre las tasas de crecimiento lineal de peces liberados y recapturados en el mismo lado del océano (peces locales) y de migrantes transoceánicos, para ver si eran distintas las tasas de crecimiento. Se estratificaron los datos por talla de liberación y días en libertad porque se creía que la curva de crecimiento era convexa hacia arriba, y si eso fuera así entonces serían de esperar tasas de crecimiento más elevadas para los peces menores y aquellos en libertad durante períodos más cortos. Se realizaron pruebas para los peces de talla de liberación de entre 451 y 600 mm que permanecieron en libertad entre 361 y 540 días y entre 541 y 720 días. Para el primer grupo, la prueba de Levene (Brown y Forsythe, 1974a) indicó que las varianzas no eran homogéneas ( $F = 6.95$ ; g.l. = 1, 41;  $P < 0.05$ ), y por lo tanto se usó el método de Brown-Forsythe (Brown y Forsythe, 1974b) para comparar las tasas de crecimiento. Esta prueba señaló que dichas tasas eran significativamente diferentes ( $F = 44.47$ ; g.l. = 1, 38;  $P < 0.01$ ). Para el segundo grupo, la prueba de Levene indicó que las varianzas eran homogéneas ( $F = 3.15$ ; g.l. = 1, 20;  $P > 0.05$ ), y por lo tanto se compararon las tasas de crecimiento

mediante un análisis de varianza de una entrada. Dicho análisis no indicó que las tasas fueran diferentes ( $F = 3.69$ ; g.l. = 1, 20;  $P > 0.05$ ).

En cuanto a los análisis principales, el conjunto de datos entero de 1980-1988 incluye muchos peces de talla de liberación inferior a los 30 cm y muchos peces que permanecieron menos de un año en libertad, y relativamente pocos de talla mayor o que permanecieron más de un año en libertad. Se cree que sería posible obtener resultados mejores si los datos incluyeran más peces de talla mayor o que permanecieron más de un año en libertad. Para resolver esto en la medida posible se agruparon los datos por tiempo en libertad y talla de liberación, procedimiento usado por primera vez por Joseph y Calkins (1969) para atunes barrilete. Los tiempos en libertad y las tallas de liberación seleccionados fueron 1-30, 31-60, 61-90, . . . días y 151-200, 201-250, 251-300, . . . mm, respectivamente, y se sustituyeron los valores individuales con los promedios de cada grupo. Se usaron los cuatro conjuntos de datos siguientes: (1) todos los datos, sin tener en cuenta el lado del océano en el cual fueron liberados los peces o si fueron recapturados en el otro lado o no (Anexo 1); (2) todos los datos de los peces liberados en el Océano Pacífico occidental; (3) todos los datos de los peces recapturados en el mismo lado del océano en que fueron liberados; (4) todos los datos de los peces liberados y recapturados en el Océano Pacífico occidental.

El crecimiento mediano, según el modelo de Deriso y Parma (1987), sigue la ecuación de diferencia de primer orden

$$x_{t+1} = a + bx_t \quad (3)$$

donde

$x$  es una transformación de talla y

$t$  = tiempo en días.

Para ajustar los datos del marcado de liberación y recaptura, se modificó la ecuación (3) a

$$x_{t2} = x_{\infty} + (x_{t1} - x_{\infty}) e^{-K(t2 - t1)} \quad (4)$$

donde

$$x_t = (L_t^{\lambda} - 1)/\lambda$$

en el cual

$L_t$  = talla al momento  $t$  y

$\lambda$  = un parámetro de transformación.

En este caso, la ecuación (4) se convierte en

$$(L_{t2}^{\lambda} - 1)/\lambda = (L_{\infty}^{\lambda} - 1)/\lambda + [(L_{t1}^{\lambda} - 1)/\lambda - (L_{\infty}^{\lambda} - 1)/\lambda] e^{-K(t2 - t1)} \quad (5a)$$

o

$$L_{t2}^{\lambda} = L_{\infty}^{\lambda} + (L_{t1}^{\lambda} - L_{\infty}^{\lambda}) e^{-K(t2 - t1)} \quad (5b)$$

Los parámetros estimados por la ecuación (5) son  $L_{\infty}$ , la talla asintótica,  $\lambda$ , el exponente, y  $K$ , el

coeficiente de crecimiento. Cuando  $\lambda = 1$  la ecuación es la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, y cuando  $\lambda = 0$  la ecuación (5) es la ecuación de crecimiento de Gompertz.

Para ajustar la ecuación (5), se sustituyeron las tallas de liberación y recaptura por  $L_{t_1}$  y  $L_{t_2}$ , respectivamente, y los días en libertad por  $t_2 - t_1$ . Se supuso que el error de medición era aditivo y normal, y se usó el procedimiento de Ruppert y Carroll (1985) para encontrar las estimaciones de probabilidad máxima. Las estimaciones de los parámetros de todos los datos, con valores de 1.0 y 1.3 para  $\lambda$  (que produjeron el valor máximo para la probabilidad) aparecen en el recuadro superior de la Tabla 5.

Un gráfico de los residuales (Figura 2, recuadro superior) señaló un predominio de valores positivos para los peces menores, lo cual sugiere que el crecimiento ocurre en dos estadios; por lo tanto se consideró otro modelo, en el cual:

Estadio 1 (curvilíneo):  $L_t$  sigue a la ecuación (5) cuando  $L_t \leq L^*$

Estadio 2 (lineal):  $L_t = L^* + \beta \Delta t$  for  $L_t > L^*$  (6)

donde  $L^*$  es el tamaño al cual el crecimiento cambia al segundo estadio y  $\Delta t$  es el tiempo en el segundo estadio de crecimiento.

Al resolver la ecuación (4) para  $t^*$ , en que  $x_t = x^*$ ,

$$t^* - t_1 = -(1/K) \ln \left( \frac{x^* - x_\infty}{x_1 - x_\infty} \right) \quad (7)$$

donde  $x^* = (L^{*\lambda} - 1)/\lambda$ . Esto implica que

$$\Delta t = t_2 - t_1 - [t^* - t_1] \quad (8)$$

El modelo de dos estadios tiene dos parámetros adicionales,  $L^*$ , la talla en la cual el crecimiento cambia del primer estadio al segundo, y  $\beta$ , la pendiente del segundo estadio. Un gráfico de los residuales (Figura 2, recuadro inferior) muestra una distribución mucho más uniforme de los valores positivos y negativos.

En la Tabla 5 se presentan las estimaciones de los parámetros y los logaritmos de las probabilidades para los modelos de tres y de cinco parámetros. El mejor ajuste del modelo de tres parámetros ( $\lambda = 1.3$ ) produce valores de  $L_\infty$  y  $K$  altos y bajos, respectivamente, al igual que los datos de Anónimo (1986) (Tabla 3). Todos las cuatro combinaciones de los datos del modelo de cinco parámetros producen mejores ajustes para  $\lambda = 0.001$  (modelo de Gompertz) que para  $\lambda = 1$  (modelo de von Bertalanffy). Los logaritmos de las probabilidades fueron significativamente menores para el modelo de tres parámetros, lo cual indica que el modelo de cinco parámetros expresa mejor el crecimiento del aleta azul.

En la Figura 3 se presentan curvas de crecimiento correspondientes a los modelos de tres y de cinco parámetros. Las cuatro curvas originan a los 200 mm, lo cual hace parecer que el crecimiento es más lento durante los primeros 1,000 días para el modelo de tres parámetros. Sin embargo, no es necesariamente así; si todas las curvas originasen a los 250 mm, casi coincidirían entre unos 400 y 1,000 días.

El desove del aleta azul ocurre principalmente en abril, mayo, junio, y julio (Yamanaka y colaboradores, 1963; Yabe *et al.*, 1966, Nishikawa *et al.*, 1985). El desove alcanza su intensidad máxima probablemente en mayo (Yamanaka y colaboradores, 1963), y la fecha media de cría es por lo tanto alrededor del 15 de mayo. La abundancia de aletas azules juveniles de 20 y 25 cm de talla es máxima en las capturas con curricán al sur de Shikoku alrededor del 1 y del 15 de agosto, respectivamente, o sea que el día 0 de los modelos de tres y de cinco parámetros corresponde a una edad de unos 75 y 90 días, respectivamente.

## MOVIMIENTOS

Una cierta proporción de los peces que ocurren en un Area A hipotética en un Momento 1 ocurrirán más tarde en un Area B hipotética en un Momento 2. Si existe una pesquería, es posible estimar esta proporción si se liberan peces marcados en el Area A y se muestrean los peces capturados en el Area B y otras áreas para ejemplares marcados, y a continuación se divide el número de peces marcados recapturados en el Area B por el número de peces marcados recapturados en todas las áreas combinadas. Sin embargo, hay varios sesgos posibles que se deberían tomar en cuenta.

Algunos de los peces que son destinados a trasladarse al Area B serán recapturados en el Area A antes de poder salir, y otros serán recapturados en las áreas por las cuales tengan que pasar para ir del Area A al B. Si la pesca en todas las áreas no es intensiva, una mayor proporción de aquellos destinados a migrar al Area B será recapturada que si la pesca fuera intensiva en todas las áreas. Si las Areas B y C están a la misma distancia del Area A, las proporciones relativas que se trasladan pueden ser estimadas sin sesgo sin atención a la intensidad de la pesca, con tal de que la intensidad sea igual en todas las áreas. Si un área está más cerca al Area A que otra, sin embargo, el sesgo será progresivamente más a favor del área más cercana a medida que aumenta la intensidad de la pesca.

La situación es complicada todavía más por el hecho de que es poco probable que tanto el esfuerzo de pesca como la vulnerabilidad de los peces a la captura sea igual en todos los estratos de área-tiempo. Si el número de peces marcados en dos estratos de este tipo es igual, y el esfuerzo de pesca o la vulnerabilidad de los peces a la captura es mayor en uno de ellos, entonces es probable que se capturen más peces marcados en un área que en el otro. Si se dispone de estimaciones del esfuerzo de pesca para cada estrato de área-tiempo, se pueden usar éstas para ajustar los datos de recapturas de peces marcados para compensar el hecho de que el esfuerzo no es igual en los distintos estratos (Bayliff y Rothschild, 1974). Esencialmente, se hacen comparaciones de los números de peces marcados devueltos por unidad de esfuerzo de pesca en los distintos estratos de área-tiempo, y no de los números de peces marcados devueltos en dichos estratos. Sin embargo, no fue posible hacer así en el presente estudio. Los aletas azules son capturados con varias artes de pesca cerca del Japón, y muchas de éstas son usadas para capturar otras especies además del aleta azul. Para la mayoría de ellas se carece de los datos que se podrían usar para producir compilaciones significativas del esfuerzo. En esta situación, es probablemente imposible calcular estimaciones útiles de las capturas por unidad de esfuerzo de aleta azul para todas las áreas, temporadas, y artes, y a continuación estandarizar los datos a una sola arte de pesca. En el Pacífico oriental los aletas azules son capturados casi exclusivamente con redes de cerco. La pesquería atunera con red de cerco en dicho océano es dirigida principalmente hacia el aleta amarilla y el barrilete; opera en una amplia área del Pacífico oriental, y el aleta azul ocurre solamente en una pequeña porción de dicha área, y generalmente entre mayo y octubre. Calkins (1982) incluyó como "esfuerzo de aleta azul solamente el esfuerzo al norte de 23°N entre mayo y octubre en estratos de área-mes de 1° en los cuales ocurrieron lances cerqueros con captura de aleta azul." Por consiguiente, los mapas de la distribución del esfuerzo serían casi iguales a aquellos de la distribución del esfuerzo presentadas por Calkins (1982: Figuras 3 y 4).

En el presente informe los movimientos del aleta azul son analizados principalmente por dos métodos, el de mapas y el de Jones.

El método de mapas consiste meramente del análisis de mapas de los lugares de liberación y recaptura de peces marcados. En las Figuras 4-5 y 9-10 se señalan los lugares de liberación y recaptura de los peces de cada grupo de liberaciones en los experimentos descritos en el presente informe. Estos mapas dan una impresión útil de las distancias y las direcciones de los movimientos,

pero no expresan estos parámetros en términos cuantitativos detallados. Además, con la excepción de algunas de las liberaciones (Figuras 5 y 10), no incluyen los datos de período de libertad.

Jones (1959 y 1976) ideó un sistema más sofisticado. Fink y Bayliff (1970) modificaron el método mediante el cálculo de los parámetros para peces que se habían movido en ocho direcciones distintas, y también para todos los peces combinados, y Bayliff y Rothschild (1974) lo modificaron todavía más al introducir un sistema de ponderación por el esfuerzo en los distintos estratos de área-tiempo.

Se analiza la dispersión de los peces a partir de datos del mes de recaptura, días en libertad, distancias del movimiento, y dirección del mismo. Se usan ocho direcciones ( $0^\circ$ - $44^\circ$  verdadero = 1,  $45$ - $89^\circ$  verdadero = 2, . . .  $315^\circ$ - $359^\circ$  verdadero = 8) para la presentación de los datos en las Figuras 6-7 y 11-12, pero los cálculos fueron efectuados con las direcciones reales, al grado más cercano.

Los cálculos siguientes fueron efectuados por mes de recaptura, por todos los meses combinados, por dirección de movimiento, y por todas las direcciones de movimiento combinadas.

$$\bar{t}_{jk} = \sum^{n_{jk}} t_{jk} / n_{jk} \quad (9)$$

donde

$\bar{t}_{jk}$  = período medio en libertad de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ ,

$t_{jk}$  = período en libertad de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ , y

$n_{jk}$  = número de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ ,

$$\bar{r}_{jk} = \sum^{n_{jk}} r_{jk} / n_{jk} \quad (10)$$

donde

$\bar{r}_{jk}$  = distancia media de movimiento de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$  y

$r_{jk}$  = distancia de movimiento de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ ,

$$v_{jk} = \frac{\sqrt{\left( \sum^{n_{jk}} r_{jk} \sin \Theta_k \right)^2 + \left( \sum^{n_{jk}} r_{jk} \cos \Theta_k \right)^2}}{\sum^{n_{jk}} t_{jk}} \quad (11)$$

donde

$v_{jk}$  = velocidad media de movimiento de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$  y

$\Theta_k$  = dirección de movimiento de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ , y

$$a_{j,k}^2 = \frac{1}{n_{j,k}} \left[ \sum \frac{n_{j,k}}{t_{j,k}} \frac{r_{j,k}^2}{t_{j,k}} - \frac{\left( \sum n_{j,k} r_{j,k} \sin \theta_k \right)^2 + \left( \sum n_{j,k} r_{j,k} \cos \theta_k \right)^2}{\sum n_{j,k} t_{j,k}} \right] \quad (12)$$

donde

$a_{j,k}^2$  = coeficiente de dispersión medio cuadrado de peces recapturados en el mes  $j$  que se habían trasladado en la dirección  $k$ .

Los significados de la velocidad media del movimiento y del coeficiente de dispersión medio cuadrado fueron comentados por Jones (1959 y 1976). En breve, el primero corresponde al movimiento direccional y el segundo al aleatorio. El segundo es una medida de la desviación media de la dirección media de movimiento. Un valor elevado de  $v_j$  y bajo de  $a_{j,k}^2$  indicaría un movimiento direccional con poca dispersión, mientras que un valor bajo de  $v_j$  y elevado de  $a_{j,k}^2$  señalaría lo contrario. Aún si el movimiento es aleatorio, no se esperaría que los valores de  $v_j$  equivalieran a 0 para aquellos grupos de peces que fueron liberados cerca de la costa, ya que los peces estarían limitados en sus movimientos hacia la costa.

En las Figuras 6 y 11 se presentan las direcciones y distancias medias de movimiento. Los números cerca de las puntas de las flechas corresponden al número de peces que se trasladó en cada dirección y la distancia media del movimiento, en millas náuticas, respectivamente. La longitud de las líneas es proporcional a la distancia media de movimiento.

En las Figuras 7 y 12 se presentan las direcciones y distancias medias de movimiento por mes de recaptura. Se presentan en distintos recuadros de los gráficos los datos de los peces que se movieron en distintas direcciones. Los puntos de meses consecutivos son unidos por líneas continuas y los aquellos de meses no consecutivos por líneas de trazos. Los números cerca de los puntos corresponden al número de peces en cada mes. En algunos casos los números en el recuadro inferior exceden el total de aquellos en el recuadro de encima; la diferencia equivale al número de peces recapturados en el punto de liberación con un movimiento neto de 0 millas náuticas (mn). Los valores de  $v_k$  aparecen en todos los recuadros numerados, y los valores de  $u$  y  $a_{j,k}^2$  en el recuadro inferior. Los diagramas son útiles para detectar migraciones estacionales. Por ejemplo, si los peces se encuentran al extremo sur de su distribución geográfica en enero y al extremo norte en julio, y fueran marcados y liberados en enero,  $r_j$  aumentaría durante unos 6 meses y entonces disminuiría. Habrían además muchos peces en los recuadros de Direcciones 1 y 8 y pocos en los de Direcciones 4 y 5 entre febrero y junio, mientras que ocurriría lo contrario entre agosto y diciembre.

En las Figuras 8 y 13 se presentan los coeficientes de dispersión cuadrados medios por mes de recaptura. Se grafican los puntos solamente para aquellos meses que incluyen al menos cinco devoluciones. Los números cerca de los puntos representan el número de peces recapturado en cada mes.

Una gran mayoría de los peces marcados estaban en su primer año de vida cuando fueron liberados. La cría tiene lugar principalmente en mayo, o sea que la edad de liberación de los peces fue unos 2 a 5 meses en Kochi y Shizuoka, 3 meses en Miyazaki, Cabo Noma, y Okinawa, 6 meses en Shimane, 6 a 9 meses en Nagasaki, 7 a 12 meses en Kagoshima, y 6 a 13 meses en la Bahía de Toyama (Tabla 1). Aquellos liberados en Hokkaido eran un poco más mayores; la mayoría tenía entre 13 y 17 meses, pero dos peces liberados en julio de 1987 tenían unos 26 meses. La mayoría de

los peces que permanecieron en libertad más de unos 18 meses fueron recapturados en la pesca cerquera que tiene lugar en alta mar al este de Honshu en el verano. Se capturan generalmente peces grandes en esta pesquería, pero algunos tienen solamente 13 meses cuando son capturados en junio del Año 1 (Figura 5).

### *En el Océano Pacífico occidental*

#### *Kochi*

La mayoría de las recapturas de los 4,910 peces marcados liberados en Kochi fueron peces capturados cerca del área de liberación (Figura 4) y a menos de 150 días de ser liberados. Sin embargo, 22 de ellos fueron capturados en alta mar al este de 147°E. Estos permanecieron en libertad entre 300 y 699 días, y todos fueron capturados con red de cerco. Según la Figura 7, parece que el movimiento hacia alta mar comienza en abril o mayo.

#### *Miyazaki*

Once de los 163 peces marcados liberados en Miyazaki fueron recapturados en el área de 1° donde fueron liberados o en áreas de 1° adyacentes, y 5 más fueron recapturados a menos de 216 mn del punto de liberación (Figura 4). Todos menos uno fueron recapturados dentro de 150 días de ser liberados.

#### *Cabo Noma*

Los 141 peces marcados liberados en Cabo Noma en agosto de 1986 parecen haberse trasladado más hacia el oeste que aquellos liberados en Kagoshima en diciembre-abril de varios años, aunque las áreas de 1° de liberación son casi las mismas (Figura 4). Aquellos peces que se trasladaron hacia el oeste permanecieron en libertad entre 92 y 213 días, y el que se fue hacia el este 315 días.

#### *Okinawa*

Solamente dos de los 188 peces marcados liberados en Okinawa fueron devueltos. Uno fue recapturado por una trampa en 40°42'N-139°57'E, a 1,251 mn del punto de liberación, y el otro por un cerquero en 38°56'N-148°10'E, a 1,490 mn del punto de liberación. Los períodos de libertad para estos peces fueron 323 y 307 días, respectivamente.

#### *Shizuoka*

La mayoría de las recapturas de los 2,502 peces marcados liberados en Shizuoka fueron peces capturados cerca del punto de liberación (Figura 4) y a menos de 150 días de ser liberados, al igual que para los peces liberados en Kochi. Sin embargo, cuatro de ellos fueron capturados en alta mar al este de 150°E. Estos permanecieron en libertad entre 243 y 676 días, y todos fueron capturados con red de cerco. Según la Figura 7, parece que el movimiento hacia alta mar comienza en marzo, abril, o mayo.

#### *Shimane*

La mayoría de las recapturas de los 523 peces marcados liberados en Shimane, a diferencia

de aquellos liberados en Kochi, Miyazaki, y Shizuoka, fueron de peces capturados relativamente lejos del punto de liberación (Figura 4). Como es de esperar, 30 de las 49 recuperaciones fueron de peces recapturados al oeste de Kyushu, Honshu, y Hokkaido. Ocho peces fueron recapturados al este de 145°E, todos por barcos cerqueros, al cabo de entre 204 y 609 días en libertad.

### *Nagasaki*

Las recapturas de los 1,884 peces marcados liberados en Nagasaki estuvieron ampliamente repartidas alrededor de Kyushu, Shikoku, Honshu, y Hokkaido, y en alta mar al este de Honshu (Figura 4). En la Figura 5 se ilustran los puntos de recaptura durante distintos períodos. Solamente dos recapturas fueron efectuadas durante octubre-diciembre del Año 0, ambas en diciembre al oeste de Kyushu. (Para los peces liberados en el occidental Pacífico Océano, Año 0 se refiere al año civil de la cría de los peces.) Durante enero-marzo del Año 1 todas las recapturas fueron efectuadas alrededor de Kyushu y Shikoku. Durante abril-junio del Año 1 las recapturas estuvieron ampliamente repartidas alrededor de Kyushu, Shikoku, Honshu, y Hokkaido y en alta mar al este de Honshu, principalmente entre 37° y 40°N. Todos los peces marcados recapturados al este de 143°E fueron capturados por cerqueros durante mayo y junio. Aquellos recapturados al oeste de 143°E fueron capturados por varias artes de pesca durante abril-junio. Las recapturas durante julio-septiembre del año 1 estuvieron distribuidas más al norte que durante abril-junio. Solamente dos peces fueron recapturados al sur de 35°N, y las recapturas en alta mar fueron efectuadas principalmente entre 39° y 41°N. Casi todos los peces marcados recapturados al este de 143°E fueron capturados por barcos cerqueros en julio. Aquellos recapturados al oeste de 143°E fueron capturados con varias artes de pesca durante julio-septiembre. Durante octubre-diciembre del Año 1 los peces fueron recapturados en lugares muy dispersos alrededor de Kyushu, Honshu, y Hokkaido. Durante enero-marzo del Año 2 se efectuaron solamente dos recapturas, una en el sur del Mar del Japón en enero y la otra al sureste de Honshu en enero. Durante el resto del Año 2 todas las recapturas fueron efectuadas al este de 146°E por barcos cerqueros en junio y julio. Al igual que en el Año 1, los peces estuvieron distribuidos más al norte en julio que en junio. Durante el Año 3 todas las recapturas fueron realizadas al este de 143°E por barcos cerqueros durante junio-julio.

En la Figura 7 se ven dos picos que representan los peces que se trasladaron en la Dirección 2 y todos los peces, respectivamente. El primer pico resulta probablemente del movimiento hacia alta mar de los peces marcados poco después de ser liberados, y los valles que siguen a los picos resultan probablemente de la falta de esfuerzo de pesca en alta mar durante el invierno.

### *Kagoshima*

Las recapturas de los 1,658 peces marcados liberados en Kagoshima, al igual que las de aquellos liberados en Nagasaki, estuvieron ampliamente repartidas alrededor de Kyushu, Shikoku, Honshu, y Hokkaido, y en alta mar al este de Honshu (Figura 4). En la Figura 5 se ilustran los puntos de recaptura durante distintos períodos. Durante enero-marzo del Año 1 todas las recapturas fueron efectuadas cerca de Kyushu y Shikoku. Durante abril-junio del Año 1 las recapturas estuvieron más ampliamente distribuidas. En junio algunos de los peces se habían trasladado hacia el norte hasta el norte de Honshu, y otros hacia alta mar al este de Honshu. Todos aquellos recapturados al este de 142°E fueron capturados por barcos cerqueros en junio. Durante julio-septiembre del Año 1 las recapturas fueron efectuadas alrededor de Honshu y Hokkaido y en alta mar al este de Honshu. Casi todos los peces recapturados al este de 144°E fueron capturados por



barcos cerqueros en julio. Solamente seis peces fueron recapturados durante octubre-diciembre del Año 1, todos ellos en el sur del Mar del Japón. Solamente cuatro peces fueron recapturados durante enero-febrero del Año 2, todos ellos al sureste de Honshu. Durante mayo del Año 2 un pez fue recapturado al sureste de Honshu, y durante junio y julio del Año 2 todas las recapturas menos una fueron efectuadas al este de 145°E por barcos cerqueros. El otro pez fue recapturado en Uchiura Bay, Hokkaido, en una trampa. Durante junio-julio del Año 3 todas las recapturas fueron efectuadas al este de 147°E, nueve por barcos cerqueros y una por un barco de red agallera. Todos los peces recapturados durante junio del Año 4 fueron capturados por barcos cerqueros al este de 148°E.

Dos picos similares a aquellos de Nagasaki son también evidentes en la Figura 7 para los peces marcados liberados en Kagoshima. Estos resultan probablemente asimismo del movimiento hacia alta mar de peces marcados poco después de ser liberados, y los valles que los siguen de la falta de esfuerzo de pesca en alta mar durante el invierno.

#### ***Bahía de Toyama***

Una gran mayoría de las recapturas de los 1,103 peces marcados liberados en la Bahía de Toyama fueron peces capturados en el área de 1° de liberación (Figura 4) a menos de 30 días de su liberación. Solamente uno fue recapturado al este de Kyushu, Shikoku, Honshu, y Hokkaido; fue capturado por un barco cerquero al cabo de 577 días en libertad.

#### ***Hokkaido***

La mayoría de las recapturas de los 248 peces marcados liberados en Hokkaido fueron peces capturados al oeste de Kyushu, Honshu, y Hokkaido (Figura 4) al cabo de entre 1 y 48 días en libertad. Sin embargo, tres de ellos fueron capturados por barcos cerqueros al este de 147°E al cabo de entre 219 y 240 días en libertad.

#### ***Todas las áreas***

Parece existir un movimiento de peces de Kyushu, Shikoku, y el oeste de Honshu hacia el norte en la primavera. Además, los peces suelen trasladarse paulatinamente hacia alta mar a medida que envejecen. No se obtuvieron recapturas en alta mar durante octubre-abril, debido posiblemente a un movimiento de los peces hacia la costa, pero parece más probable que se deba a la falta de esfuerzo de pesca en alta mar durante el invierno. Ocurre un intercambio considerable de peces entre el Mar del Japón y el área al este de Kyushu, Shikoku, Honshu, y Hokkaido.

Las únicas tendencias temporales obvias en los valores de  $a_{j.}^2$  son los picos en junio y julio correspondientes a los peces marcados liberados en Nagasaki y Kagoshima (Figura 8). Los valores de  $a_{j.}^2$  presentados en la Figura 7 oscilan entre 42 para peces liberados en Shizuoka y 954 para aquellos liberados en Kagoshima, comparados con los valores de 232 a 3,821 para el aleta amarilla y de 293 a 2,678 para el barrilete en el Océano Pacífico oriental citados por Hunter *et al.* (1986: Tabla 2). A partir de estos datos, parece que el aleta amarilla y el barrilete se dispersan más ampliamente que el aleta azul.

#### ***Del Pacífico occidental al central***

Han sido devueltas las marcas de seis peces liberados en el Pacífico occidental tras la recaptura de los peces en el Pacífico central (Tabla 6). Tres peces de la clase anual de 1981 fueron

liberados en Kochi y Shizuoka en agosto de 1981 y recapturados el junio siguiente al este de 180°. Dos peces de la clase anual de 1981 fueron liberados en Nagasaki en noviembre-diciembre de 1981 y recapturados el junio siguiente, uno al oeste de 180° y el otro al este de 180°. Además, un pez de la clase anual de 1979 fue liberado en Kagoshima en marzo de 1980 y recapturado 2 años y medio más tarde al oeste de 180°. Estos últimos peces pudieran haber visitado el Pacífico oriental y haber sido capturados durante el viaje de regreso al Pacífico occidental.

### *Del Pacífico occidental al oriental*

Han sido devueltas las marcas de 133 peces liberados en el Pacífico occidental de peces recapturados en aguas costeras del Pacífico oriental (Tabla 1). La mayoría de las recapturas fueron obtenidas entre mayo-octubre, ya que la pesca en el Pacífico oriental tiene lugar principalmente durante aquellos meses.

Se recibieron 35 devoluciones de peces liberados en Kochi y Shizuoka durante julio y agosto. De los peces liberados en Kochi, 25 fueron recapturados en el Año 1 y uno en el Año 2 (Tabla 1). Ocho de aquellos liberados en Shizuoka fueron recapturados en el Año 1 y uno en el Año 2.

La mayoría de los migrantes transoceánicos fueron liberados en Nagasaki y Kagoshima. De los peces liberados en Nagasaki, 15 fueron recapturados en el Año 1, 39 en el Año 2, y 1 en el Año 3. De aquellos liberados en Kagoshima, 1 fue recapturado en el Año 1 y 38 en el Año 2.

Los tres peces liberados en Shimane y recapturados en el Pacífico oriental fueron recapturados en el Año 2.

El pez liberado en Hokkaido y recapturado en el Pacífico oriental fue capturado en el Año 2. Cabe destacar que este pez era de 1 año de edad cuando fue liberado (Tabla 1), mientras que aquellos liberados durante el verano en Kochi y Shizuoka eran de 0 años de edad cuando fueron liberados. (En el presente informe se refiere a los peces en su primer año de vida como de 0 años de edad o de edad 0, aquellos en su segundo año de vida como de 1 año de edad o de edad 1, y así sucesivamente.)

En la Tabla 1 se puede ver que solamente la clase anual de 1981 contribuyó cantidades significativas de devoluciones a las pesquerías del Pacífico central y oriental durante el Año 1. Se puede también ver que para el Año 2 casi la mitad de las devoluciones de la clase anual de 1979 y más de la mitad de aquellas de las clases anuales de 1983 y 1984 fueron peces capturados en el Pacífico oriental. Esta información sugiere que la proporción de peces de edad 1 que migraron al Pacífico oriental fue máxima para la clase anual de 1981 y que las proporciones de peces de edad 2 que migraron al Pacífico oriental fueron máximas para las clases anuales de 1983 y 1984, intermedias para la clase anual de 1979, y mínimas para las clases anuales de 1980, 1981, 1982, y 1985. Una gran proporción de la captura de aleta azul en el Pacífico oriental en 1982 consistió de peces más pequeños, la mayoría probablemente de 1 año de edad, con una moda a los 66 cm (Anónimo, 1986: Figura 19). Esto es consistente con la evidencia del marcado de que una gran proporción de los peces de la clase anual de 1981 apareció en el Pacífico oriental como peces de edad 1 en 1982. Sin embargo, la captura de aleta azul en el Pacífico oriental fue pobre en 1983, tal vez a raíz de que los peces de la clase anual de 1981 padecieron una mortalidad elevada en el Pacífico oriental en 1982 o que la mayoría de ellos comenzó el viaje de regreso al Pacífico occidental antes del comienzo de la temporada de 1983. Las mayores capturas de aleta azul en el Pacífico oriental en los últimos años fueron aquellas de 1985 y 1986 (Figura 1), y las capturas en dichos años consistieron principalmente de peces de entre unos 70 y 90 cm de talla (Anónimo, 1989: Figura 20). Se cree que eran principalmente peces de 2 años de edad, es decir, peces de la clase anual de 1983 en 1985 y de la clase anual de 1984 en 1986. Si se supiera seguro que los peces marcados en el Pacífico occidental

fueron seleccionados al azar, se concluiría que proporciones mayores de peces de edad 2 de las clases anuales de 1983 y 1984 migraron al Pacífico oriental, y que esto dió lugar a capturas mayores de aleta azul en el Pacífico oriental en 1985 y 1986. No obstante, es posible que existan dos subpoblaciones distintas, la una migrante y la otra no, y que una mayor proporción de la subpoblación migrante fue seleccionada para el marcado durante el primer año de vida de las clases anuales de 1979, 1983, y 1984. Por consiguiente, la proporción relativamente elevada de devoluciones del Pacífico oriental correspondientes a la clase anual de 1979, a pesar de la pobreza de la captura en el Pacífico oriental en 1981, pudiera haber resultado de una concentración intensa del esfuerzo de marcado sobre una subpoblación de migrantes relativamente pequeña. Se preparó la Tabla 7 para examinar esta posibilidad para los peces de 1 y de 2 años de edad. Para los de 1 año de edad parece que las proporciones de migrantes fueron elevadas para la clase anual de 1981 y bajas para las demás, sin tener en cuenta el área o mes de liberación de los peces. Un prueba de ji cuadrado de los totales de la clase anual de 1981 señaló ninguna diferencia significativa entre áreas ( $\chi^2 = 2.55$ , g.l. = 6,  $P > 0.05$ ). Para los peces de edad 2 se puede ver que aquellos de las clases anuales de 1980-1982 y 1985 liberados en diciembre y enero solían ser no migrantes, mientras que aquellos de las clases anuales de 1983 y 1984 liberados en diciembre y enero solían ser migrantes. Los peces de todas las clases anuales liberados durante agosto-noviembre solían ser no migrantes, pero hubieron solamente 10 devoluciones de éstos de las clases anuales de 1983 y 1984, y todos aquellos fueron liberados en Shimane en el Mar del Japón. Dadas las barreras físicas, estos peces parecerían ser los que menor probabilidad tendrían de migrar al Pacífico oriental. Estos datos brindan poco o ningún apoyo a la hipótesis de las subpoblaciones. Indican que para los peces de edad 1 la tendencia a migrar al Pacífico oriental fue fuerte para la clase anual de 1981 y mucho más débil para las demás, y que para los peces de edad 2 la tendencia a migrar fue máxima para los peces clases anuales de 1983 y 1984, intermedia para aquellos de la clase anual de 1979, y mínima para aquellos de las clases anuales de 1980-1982 y 1985. Los resultados del marcado suelen por lo tanto apoyar la conclusión tentativa de un análisis de captura a edad (Anónimo, 1989) según el cual las variaciones en las proporciones de peces del Pacífico occidental que migran al Pacífico oriental son al menos parcialmente responsables de las variaciones en las capturas en el Pacífico oriental.

Se creía que se podrían hacer inferencias acerca de cuándo ocurren la llegada y la salida de los peces a y del Océano Pacífico oriental mediante la comparación de las distribuciones mensuales de las recapturas de peces marcados en el Pacífico oriental con las distribuciones mensuales estimadas del número de peces capturados de los grupos de edad en cuestión (CIAT, datos inéditos). En la Tabla 8 se presentan los datos pertinentes. Los valores esperados de las recapturas de peces marcados fueron estimados a partir del número de peces capturados. Por ejemplo, durante mayo-septiembre de 1981 fueron capturados 59.5 mil peces, 24 de los cuales fueron marcados. El número de peces capturados durante mayo-junio fue 19.9 mil, o 33.4% del total de mayo-septiembre. Por lo tanto, el número de devoluciones de marcas esperado para mayo-junio sería el 33.4% de 24, o 8.0. Ninguna de las pruebas produjo resultados significativos, lo cual parece señalar que el tiempo de llegada y/o salida de los peces no coincide con los meses de las mayores capturas de aleta azul. Sin embargo, no se debe asignar demasiada importancia a esto, ya que fueron pocos los peces marcados.

### *En el Océano Pacífico oriental*

#### *Oregon*

Un aleta azul capturado con red agallera y marcado y liberado en 42°02'N-126°40'W el 20

de julio de 1961 (Anónimo, 1961; Iselin, sin fecha) fue recapturado en el Lusitania Bank ( $23^{\circ}35'N-111^{\circ}42'W$ ) en 1962 (Clemens, 1966).

#### *Isla Guadalupe, 1958*

Dos de los 122 peces marcados liberados cerca de la Isla Guadalupe en febrero de 1958 fueron recapturados a unas pocas millas del punto de liberación en el mismo mes, dos más fueron recapturados entre  $32^{\circ}$  y  $34^{\circ}N$  en abril de 1958, otros dos entre  $27^{\circ}$  y  $29^{\circ}N$  en julio de 1958, y uno entre  $31^{\circ}$  y  $32^{\circ}N$  en agosto de 1958 (Figura 8). Los peces recapturados en abril parecen haber estado muy al norte para la época del año, ya que ninguno de los otros peces liberados fue recapturado al norte de  $29^{\circ}N$  en abril, mayo, o junio.

#### *$24^{\circ}N-25^{\circ}N$ , 1966*

De los peces marcados liberados entre  $24^{\circ}$  y  $25^{\circ}N$ , 23 fueron recapturados en junio de 1966 entre  $24^{\circ}$  y  $26^{\circ}N$ , 35 en julio y agosto de 1966 entre  $25^{\circ}$  y  $33^{\circ}N$  (Figura 10), y dos durante junio y julio 1967 entre  $26^{\circ}$  y  $27^{\circ}N$ . (Para los peces liberados en el Océano Pacífico oriental, Año 0 en la Figura 10 se refiere al año civil de liberación, ya que es imposible determinar con certeza la edad de estos peces.) Es evidente en la Figura 12 que el movimiento fue predominantemente hacia el noroeste entre junio y agosto.

#### *$27^{\circ}N-30^{\circ}N$ , 1962-1979*

Parece haber ocurrido un movimiento estacional de norte a sur de los peces marcados liberados entre  $27^{\circ}$  y  $30^{\circ}N$  durante 1962, 1963, 1964, y 1979; alcanzaron su posición más norteña durante julio-octubre y más sureña durante mayo-junio (Figuras 9 y 10). En la Figura 12 se puede ver que ocurrió movimiento hacia el noroeste entre junio y agosto del año de liberación y entre julio y septiembre del año siguiente.

#### *$30^{\circ}N-34^{\circ}N$ , 1962-1980*

Parece asimismo haber ocurrido un movimiento estacional de norte a sur de los peces marcados liberados entre  $30^{\circ}$  y  $34^{\circ}N$  durante 1962, 1963, 1964, 1968, 1979, y 1980; alcanzaron su posición más norteña durante julio-octubre y más sureña durante abril-junio (Figuras 9 y 10). En la Figura 12 se puede ver que la mayoría del movimiento fue hacia el sureste entre septiembre del año de liberación y mayo del año siguiente. En mayo del año siguiente 35 peces marcados fueron recapturados a una distancia media de 498 nm al sureste. Los valores correspondientes de junio, julio, y septiembre fueron 34 peces y 411 nm, 28 peces y 197 nm, y 9 peces y 104 nm, respectivamente.

#### *Todas las áreas*

El movimiento norte-sur señalado por los datos de devolución de las marcas parece ser el mismo indicado por los datos de la distribución de las capturas (Calkins, 1982: Tablas 3 y 4).

Los valores de  $a_j$  solieron disminuir con el tiempo para los peces liberados entre  $24^{\circ}$  y  $25^{\circ}N$ ,  $27^{\circ}$  y  $30^{\circ}N$ , y  $30^{\circ}$  y  $34^{\circ}N$  (Figura 13), lo cual implica que solían acercarse los unos a los otros a medida que transcurría el tiempo. No es evidente ninguna razón por ésto. Los valores de  $a..^2$  en la Figura 12 oscilaron entre 199 para los peces liberados entre  $24^{\circ}$  y  $25^{\circ}N$  y 495 para aquellos liberados entre  $27^{\circ}$  y  $30^{\circ}N$ . Estos valores son aproximadamente iguales a aquellos de los aletas azules

marcados liberados en el Pacífico occidental, but menores que aquellos del aleta amarilla y el barrilete en el Pacífico oriental mencionados previamente.

### *Del Pacífico oriental al occidental*

Las marcas de 10 de los 3,535 peces liberados en el Pacífico oriental fueron devueltas después de ser recapturados los peces en el Pacífico occidental (Tabla 9). El primer pez capturado con palangre fue recapturado al sur de 30°N. De los demás, dos fueron recapturados frente al sur de Honshu, dos frente al norte de Honshu, uno en el Mar del Japón, y cuatro en o cerca de el Estrecho de Tsugaru, entre Honshu y Hokkaido. Cuatro de éstos fueron recapturados al cabo de 2 años en libertad, tres al cabo de 3 años, dos al cabo de 4 años, y uno al cabo de 5 años. Los períodos en libertad fueron en general considerablemente mayores que aquellos de los migrantes de oeste a este.

### AGOTAMIENTO

Si se supone que el esfuerzo de pesca es constante de año a año y que los peces marcados liberados en un año dado son igualmente vulnerables a la pesquería en ese año y en los siguientes, se pueden usar los datos de recaptura para estimar la tasa total de agotamiento, la cual incluye la mortalidad natural y por pesca, la emigración, la mortalidad ocasionada por llevar las marcas, y bajas debidas a pérdidas de las marcas. Estas dos últimas son probablemente poco importantes relativas a la mortalidad natural y por pesca y la emigración.

En la Tabla 10 se presenta el número de devoluciones en el Océano Pacífico oriental durante el primer, el segundo, y el tercer año después del marcado provenientes de las liberaciones en el Pacífico oriental en 1962, 1963, 1964, y 1966. No se incluyen en este análisis los datos de peces recapturados durante el mes de liberación, ya que se cree que no hubieran dispuesto de suficiente tiempo para mezclarse con el resto de la población, lo cual podría incidir adversamente sobre los resultados. No se intentó estimar la tasa total de agotamiento a partir de los datos de devolución de marcas del Pacífico occidental, porque las distintas artes capturan peces de distintas edades, y parece muy poco probable que bajo estas condiciones sería igual la vulnerabilidad a la captura de peces de distintas edades.

Se usó el método de Paulik (1962) para estimar las tasas de agotamiento anuales instantáneas totales. En la Tabla 10 se presentan las estimaciones resultantes. Aquellas para los peces liberados en 1962-1964 son bastante similares, pero aquella correspondiente a los peces liberados en 1966 señala una tasa de agotamiento más elevada. Esto pudiera ser debido a una disponibilidad o vulnerabilidad a la captura más baja de los peces marcados en 1967. El primero de éstos parece más probable; es decir, una gran proporción de los peces podrían haber comenzado su migración al Pacífico occidental después de la temporada de 1966.

No existen datos que permitan estimar directamente el coeficiente de mortalidad natural del aleta azul del norte en el Océano Pacífico. Pauly (1980) usó datos del crecimiento, la mortalidad, y la temperatura ambiental media de 175 stocks de peces para calcular la ecuación siguiente:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (13)$$

donde

- $M$  = coeficiente de mortalidad natural,
- $L_{\infty}$  = talla asintótica en la ecuación de von Bertalanffy,
- $K$  = coeficiente de crecimiento en la ecuación de von Bertalanffy, y
- $T$  = temperatura ambiental media.

En la Tabla 5, renglón 1, se presentan valores de 223 cm y 0.18 para  $L_{\infty}$  y  $K$ , respectivamente. (Sin embargo, cabe destacar que el mejor ajuste a los datos de crecimiento no fue una curva de von Bertalanffy sino una curva de Gompertz para los peces de entre 16 y 56.4 cm y una línea recta para aquellos de entre 56.4 cm y 153 cm.) Pauly (1980) manifiesta que “los valores de  $L_{\infty}$  usados [para derivar la ecuación] corresponden principalmente a talla total,” y por lo tanto se convirtió el valor de talla furcal de 223 cm a una talla total de 257 cm con la fórmula

$$TL = -17.42 + 1.158FL \quad (14)$$

donde  $TL$  = talla total y  $FL$  = talla furcal, ambas en milímetros. Bell (1963a) manifiesta que los aletas azules se encuentran en agua con una temperatura superficial de entre 17° y 23°C, y por lo tanto de sustituyó  $T$  con 20. Esto produce una estimación de 0.276 para  $M$  para peces de unos 16 a 153 cm. La desviación estándar para  $\ln M$  es 0.245 (Pauly, 1980), y los límites de confianza de 90% de la estimación son por lo tanto aproximadamente 0.161 y 0.471.

### CICLO VITAL Y ESTRUCTURA DE STOCKS

Se ha formulado un modelo del ciclo vital y estructura de stocks del aleta azul del norte en el Océano Pacífico. Este modelo fue descrito por primera vez por Bayliff (1980), pero desde entonces ha sido modificado considerablemente debido a la adquisición de datos adicionales de devoluciones de peces marcados. Bayliff (1980) presenta datos sobre la distribución geográfica de aleta azul pertinentes a esta discusión. Se espera que a medida que se vayan acumulando datos adicionales, o que se vayan formulando nuevas interpretaciones de los datos actualmente disponibles, el modelo será ampliado, modificado, o rechazado a favor de otro que parezca ofrecer una explicación más adecuada de lo observado.

La Figura 14 es un diagrama del modelo. Las migraciones ilustradas por líneas de trazos son más especulativas que aquellas representadas por líneas sólidas. El diagrama pretende ilustrar las áreas generales donde se cree que las migraciones comienzan y terminan, pero no las rutas precisas, ya que aún si se conocieran dichas rutas las limitaciones de espacio lo harían impráctico. Por ejemplo, parece que la ruta de migración de los juveniles que se dirigen hacia el Pacífico oriental yace al sur de la ruta de migración de los peces en proceso de maduración viajando en sentido contrario, pero la situación no es necesariamente así.

El desove del aleta azul ocurre entre el Japón y las Filipinas en abril, mayo, y junio, frente al sur de Honshu en julio, y en el Mar del Japón en agosto (Yamanaka y colaboradores, 1963; Yabe *et al.*, 1966; Okiyama, 1974 y 1979; Nishikawa *et al.*, 1985). Las larvas, postlarvas, y juveniles producidas al sur del Japón son llevadas al norte hacia el Japón por la Corriente de Kuroshio. Peces de edad 0 de unos 15 a 60 cm de talla son capturados cerca del Japón durante el verano, otoño, y invierno de su primer año de vida (Yabe *et al.*, 1966; Yukinawa y Yabuta, 1967). Algunos de éstos permanecen en el Océano Pacífico occidental y otros salen hacia el Pacífico oriental durante el otoño o invierno de su primer año de vida o el verano, otoño, o invierno de su segundo año de vida (ver más adelante).

El viaje del Pacífico occidental al oriental puede tardar tan sólo 7 meses, o tal vez hasta menos. De 121 migrantes para los cuales se obtuvieron las fechas de recaptura, 23 habían permanecido en libertad de 215 a 358 días y 98 de 368 a 999 días. La mayoría de las recapturas de migrantes transoceánicos liberados en julio y agosto fueron realizadas durante el verano siguiente (Figura 15), mientras que la mayoría de las recapturas de estos peces liberados durante noviembre-junio fueron efectuadas aproximadamente un año y medio más tarde (Figura 16), lo cual hace parecer que la migración comienza principalmente en el otoño. Datos inéditos de frecuencia de

talla en los archivos de la CIAT indican que en muchos años la proporción de peces de edad 1 a aquellos de edad 2 en las capturas aumenta durante el período de mayo a octubre, indicando quizás que los peces de un año de edad llegan al Pacífico oriental durante dicho período. Se puede ver en las Figuras 15 y 16 que casi todas las recapturas de peces marcados de edad 1 y edad 2 fueron realizadas durante agosto-octubre y junio-octubre, respectivamente.

Es posible que otros peces migren del Pacífico occidental al oriental a mayor edad, pero no existe información del mercado acerca de esto porque han sido liberados pocos peces marcados de más de 1 año de edad en el Pacífico occidental.

Se han recibido en total 49 devoluciones de 13,353 peces marcados liberados en el Pacífico occidental y recapturados en el Pacífico oriental durante el año después de la liberación (Tabla 1). Todos éstos menos cuatro eran miembros de la clase anual de 1981. Además, cinco de las seis devoluciones peces marcados recapturados en el Pacífico central (Tablas 1 y 6) fueron de miembros de la clase anual de 1981. Es posible que estos cinco hayan estado de camino al Pacífico oriental cuando fueron capturados. Se han recibido en total 83 devoluciones de peces marcados liberados en el Pacífico occidental y recapturados en el Pacífico oriental durante el segundo año después de su liberación (Tabla 1). De éstos, 24 eran miembros de la clase anual de 1979, 19 de la de 1983, 26 de la de 1984, y 14 de otras clases anuales. Estas diferencias podrían ser debidas a diferencias en la vulnerabilidad de las distintas clases anuales a la captura en el Pacífico oriental. Sin embargo, no existe evidencia que sugiera que sea así, y por lo tanto se descontará esa posibilidad hasta que se disponga de esta evidencia. Parece que algo indujo a una gran proporción de los peces de edad 0 de la clase anual de 1981 a migrar al Pacífico oriental a fines de 1981 o principios de 1982. Parece asimismo que por alguna razón la proporción de migrantes de edad 1 al Pacífico oriental fue máxima para las clases anuales de 1983 y 1984, intermedia para la de 1979, y mínima para las de 1980, 1981, 1982, y 1985. Del otro lado, es posible que existan dos subpoblaciones distintas, una migrante y la otra no, y que una mayor proporción de la migrante fue seleccionada para el mercado durante el primer año de vida de las clases anuales que contribuyeron las mayores cantidades de peces marcados al Pacífico oriental. No obstante, los datos presentados en la Tabla 7 brindan poco o ningún apoyo para esta hipótesis.

Los peces que migran del Pacífico occidental al oriental forman la base de la pesca del Pacífico oriental, que tiene lugar principalmente de mayo a octubre. En la Figura 14 parece que los peces en el Pacífico oriental ocurren a distancias progresivamente mayores de la costa y que su distribución norte-sur se ve más y más limitada a medida que envejecen. Se tuvo que presentar el diagrama de esta forma para que fuera claro, pero la realidad no es necesariamente así. Es posible que los peces de talla menor de unos 100 cm, que forman la mayor parte de las capturas del Pacífico oriental, abandonen o no abandonen el Océano Pacífico oriental cada otoño o invierno y regresen cada primavera o verano. Los aletas azules de dicha talla son rara vez capturados en el Pacífico oriental durante noviembre-abril, lo cual pudiera indicar que hayan abandonado la región. Es poco probable empero que viajen la distancia entera al Pacífico occidental, ya no se ha recapturado en el Pacífico occidental ningún pez marcado liberado en el Pacífico oriental al cabo de menos de 674 días en libertad (Tabla 9). Si la mayoría de ellos migrara al Pacífico occidental cada otoño o invierno y regresara al Pacífico oriental cada primavera, es probable que algunos de ellos hubieran sido recapturados en el Pacífico occidental en el invierno o a principios de la primavera al cabo de menos de unos 100 a 150 días en libertad. Además, el costo energético de realizar una migración tan larga sería tan elevado que es poco probable que sea factible para un pez hacerlo dos veces al año en varios años seguidos.

La duración de la estancia en el Pacífico oriental parece ser variable. Peces marcados que se creen haber sido de 1 año de edad al ser liberados han sido recapturados 2 años más tarde en el

Pacífico occidental, pero otros peces marcados liberados en el Pacífico oriental fueron recapturados en el mismo Pacífico oriental al cabo de hasta 2 años en libertad. Se capturan peces de al menos 6 o 7 grupos de edad en el Pacífico oriental (Bell, 1963b; Schultze y Collins, 1977), y es por lo tanto posible que algunos peces permanezcan en esa región al menos 5 o 6 años.

Después de una estancia en el Pacífico oriental, que podría ser interrumpida o no por visitas temporarias al Pacífico central u occidental, los sobrevivientes regresan al Pacífico occidental, donde eventualmente desovan. Es posible que el viaje de regreso del Pacífico oriental al occidental dure casi 2 años, ya que el período mínimo registrado entre la liberación y recaptura de un pez marcado es 674 días (Tabla 9).

De vez en cuando se capturan peces grandes en el Océano Pacífico oriental, especialmente cerca de la Isla Guadalupe, México, y las Channel Islands, frente al sur de Alta California (Calkins, 1982: Figuras 5 y 6; Anónimo, 1989: Figura 20; Foreman y Ishizuka, 1990). Los más grandes de éstos tienen probablemente más de 10 años de edad. No han permanecido necesariamente en el Océano Pacífico oriental desde que tenían 1 ó 2 años: podrían haber llegado por primera vez poco antes de ser capturados, o podrían haber realizado más de un viaje de ida y vuelta a través del Pacífico. Parece poco probable que todos los peces grandes podrían desovar en el Pacífico occidental cada año, ya que se han capturado ejemplares durante o poco antes o después de la temporada de desove, en julio de 1978, por ejemplo (Calkins, 1982: Figura 6).

Muchos de los peces capturados con palangre en el Pacífico central (Anónimo, 1974, 1975, 1976, 1977a, y 1978; Figura 17) están probablemente en ruta del Pacífico oriental al occidental. Cuando llegan al Pacífico occidental se dirigen presuntamente a una o más de las zonas de desove para desovar, ya sea inmediatamente o más tarde.

El aleta azul del norte es también capturado por embarcaciones palangreras al este de las Filipinas, al noreste de Papua Nueva Guinea, y al sureste de Australia, especialmente cerca de Nueva Zelanda (Shingu *et al.*, 1974; Anónimo, 1974, 1975, 1976, 1977a, y 1978; Figura 17), y en la pesca deportiva en el Golfo de Papua (Collette y Smith, 1981). Surge la cuestión de que si estos peces crecieron de juveniles que se trasladaron hacia el sur desde una de las zonas de desove, o si crecieron de peces inmaduros que después de una breve estancia cerca del Japón migraron hacia el sur, o si son peces mayores que migraron hacia el sur desde la zona de desove después de desovar. Si la primera o segunda posibilidad refleja la realidad, entonces deberían haber aletas azules pequeños al sur de 20°N. Se han registrado cantidades pequeñas de aletas azules capturados con palangre al norte de Papua Nueva Guinea y cerca de las Islas Salomón y Marshall (Anónimo, 1977b, 1977c, 1977d, 1977e, y 1977f; Figura 18), o sea que parece que al menos algunos de los aletas azules capturados al sur de las zonas de desove por embarcaciones palangreras resultan del movimiento de juveniles de la zona de desove o de la migración de peces inmaduros del Japón hacia el sur. Sin embargo, ésto no significa que ninguno de ellos resulta del movimiento de peces adultos de las zonas de desove hacia el sur después de desovar.

No han sido encontradas larvas o postlarvas del aleta azul en el área de Australia-Nueva Zelanda, y es por lo tanto poco probable que los peces capturados en ese área con palangres hayan desovado allí. Es más probable que regresen a la zona de desove o que no desoven en absoluto. Parece poco probable que todos los peces grandes encontrados en el Pacífico suroccidental desoven en el Pacífico noroccidental cada año, ya que el aleta azul grande reportado por Collette y Smith (1981) cerca de Papua Nueva Guinea fue capturado en abril. Además, los aletas azules reportados por de Buen (1958) en el Pacífico suroriental fueron capturados en abril y mayo, durante la temporada de desove.

Es probable que después del desove los peces se dispersen de la zona del desove a otras áreas del Pacífico occidental. Es posible que algunos hasta migren al Pacífico oriental, ya que se encuen-



tran peces grandes en ese área (ver arriba). En el año siguiente, si es que no han viajado demasiado, regresan presuntamente a las zonas de desove para desovar de nuevo.

### RECONOCIMIENTOS

Muchos empleados del California Department of Fish and Game (CDFG), el Bureau of Commercial Fisheries (BCF) de los Estados Unidos, el Far Seas Fisheries Research Laboratory, y la CIAT, demasiados para permitir enumerarlos individualmente, participaron en el marcado de los peces y el procesamiento de los datos de los peces marcados que fueron devueltos. Los datos de los experimentos realizados por el CDFG, BCF, y el Mission Bay Research Foundation fueron proporcionados por los Sres. Doyle A. Hanan del CDFG y Atilio L. Coan del National Marine Fisheries Service de los Estados Unidos. Se recibieron de los Dres. Douglas Clay, Martín A. Hall, William S. Hearn, y Alexander Wild muchas sugerencias útiles para mejorar el manuscrito.

### LITERATURE CITED

- Abramson, N. J. 1971. Computer programs for fish stock assessment. FAO, Fish. Tech. Pap., 101.
- Aikawa, H., and M. Katô. 1938. Age determination of fish. I. Jap. Soc. Sci. Fish., Bull., 7 (2): 79-88 (English translation by Van Campen, W. G., 1950, U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish., 21: 22 pp.).
- Anonymous. 1961. Waters off Oregon and Washington surveyed for albacore and other species of pelagic fish. Comm. Fish. Rev., 23 (10): 22-24.
- Anonymous. 1974. Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese longline fishery 1972. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 279 pp.
- Anonymous. 1975. Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese longline fishery 1973. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 265 pp.
- Anonymous. 1976. Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese longline fishery 1974. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 267 pp.
- Anonymous. 1977a. Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese longline fishery 1975. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 269 pp.
- Anonymous. 1977b. Annual report of effort and catch statistics by area Japanese skipjack bait fishery 1972. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 266 pp.
- Anonymous. 1977c. Annual report of effort and catch statistics by area Japanese skipjack bait fishery 1973. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 272 pp.
- Anonymous. 1977d. Annual report of effort and catch statistics by area Japanese skipjack bait fishery 1974. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 293 pp.
- Anonymous. 1977e. Annual report of effort and catch statistics by area Japanese skipjack bait fishery 1975. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 310 pp.
- Anonymous. 1977f. Annual report of effort and catch statistics by area Japanese skipjack bait fishery 1976. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 291 pp.

- Anonymous. 1978. Annual report of effort and catch statistics by area on Japanese longline fishery 1976. Fisheries Agency of Japan, Research and Development Department: 264 pp.
- Anonymous. 1981. Inter-American Tropical Tuna Commission, Annual Report for 1980: 234 pp.
- Anonymous. 1986. Inter-American Tropical Tuna Commission, Annual Report for 1985: 248 pp.
- Anonymous. 1989. Inter-American Tropical Tuna Commission, Annual Report for 1988: 288 pp.
- Bayliff, W. H. 1973. Materials and methods for tagging purse seine- and baitboat-caught tunas. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 15 (6): 463-503.
- Bayliff, W. H. 1980. Synopsis of biological data on the northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Special Rep., 2: 261-293.
- Bayliff, W. H., and T. P. Calkins. 1979. Information pertinent to stock assessment of northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Internal Rep., 12: 78 pp.
- Bayliff, W. H., and K. N. Holland. 1986. Materials and methods for tagging tunas and billfishes, recovering the tags, and handling the recapture data. FAO, Fish. Tech. Pap., 279: v, 36 pp.
- Bayliff, W. H., and B. J. Rothschild. 1974. Migrations of yellowfin tuna tagged off the southern coast of Mexico in 1960 and 1969. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 16 (1): 1-64.
- Bell, R. R. 1963. Preliminary age determination of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. Calif. Fish Game, 49 (4): 307.
- Bell, R. R. 1970. Bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis* in the northeastern Pacific Ocean. Calif. Dept. Fish Game, unpublished manuscript.
- Brown, M. B., and A. B. Forsythe. 1974a. Robust tests for the equality of variances. Amer. Stat. Assoc., Jour., 69 (346): 364-367.
- Brown, M. B., and A. B. Forsythe. 1974b. The small sample behavior of some statistics which test the equality of several means. Technometrics, 16 (1): 129-132.
- de Buen, F. L. 1958. Peces del suborden Scombroidei en aguas de Chile. Rev. Biol. Mar., 7 (1-3): 3-38.
- Calkins, T. 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.
- Chatwin, B. M., and C. J. Orange. 1960. Recovery of tagged bluefin tuna (*Thunnus saliens*). Calif. Fish Game, 46 (1): 107-109.
- Clemens, H. B. 1966. Migratory tackle busters. Outdoor California, 27 (8-9): 20-21.
- Clemens, H. B., and G. A. Flittner. 1969. Bluefin tuna migrate across the Pacific Ocean. Calif. Fish Game, 55(2): 132-135.
- Collette, B. B., and B. R. Smith. 1981. Bluefin tuna, *Thunnus thynnus orientalis*, from the Gulf of Papua. Jap. Jour. Ichthy., 28 (2): 166-168.

- Deriso, R. B., and A. M. Parma. 1988. Dynamics of age and size for a stochastic population model. *Canad. Jour. Fish. Aquatic Sci.*, 45 (6): 1054-1068.
- Fink, B. D., and W. H. Bayliff. 1970. Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 15 (1): 1-227.
- Foreman, T. J., and Y. Ishizuka. 1990. Giant bluefin off Southern California, with a new California size record. *Calif. Fish Game*, 76 (3): 181-186.
- Hanan, D. A. 1983. Review and analysis of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, fishery in the eastern North Pacific Ocean. *U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull.*, 81 (1): 107-119.
- Hunter, J. R., A. W. Argue, W. H. Bayliff, A. E. Dizon, A. Fonteneau, D. Goodman, and G. R. Seckel. 1986. The dynamics of tuna movements: an evaluation of past and future research. *FAO, Fish. Tech. Pap.*, 277: vi, 78 pp.
- Iselin, R. A. no date. Bluefin tagging in the eastern north Pacific, 1955-1963. *Calif. Dept. Fish Game*, unpublished manuscript: 5 pp.
- Jones, R. 1959. A method of analysis of some tagged haddock returns. *Cons. Perm. Inter. Explor. Mer, Jour.*, 25 (1): 58-72.
- Jones, R. 1976. The use of marking data in fish population analysis. *FAO, Fish. Tech. Pap.*, 153: v, 42 pp.
- Joseph, J., and T. P. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13 (1): 1-273.
- Kimura, K. 1956. The standard length of the Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort). *Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., Bull.*, 7: 1-11.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi, and S. Kikawa. 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. *Far Seas Fish. Res. Lab., S Series*, 12: 99 pp.
- Okiyama, M. 1974. Occurrence of the postlarvae of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Japan Sea. *Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab., Bull.*, 25: 89-97.
- Okiyama, M. 1979. Successful spawning of some holoeipelagic fishes in the Sea of Japan and zoogeographical implications. *Japan-Soviet Joint Symp. Aquaculture*, 7: 223-233.
- Orange, C. J., and B. D. Fink. 1963. Migration of a tagged bluefin tuna across the Pacific Ocean. *Calif. Fish Game*, 49 (4): 307-308.
- Paulik, G. J. 1962. Use of the Chapman-Robson survival estimate for single- and multi-release tagging experiments. *Amer. Fish. Soc., Trans.*, 91 (1): 95-98.
- Pauly, D. 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.
- Ruppert, D., and R. J. Carroll. 1985. Data transformations in regression analysis with applications to stock-recruitment relationships. *In* Mangel, M. (editor), *Resource Management: Proceedings of the Second Ralf Yorke Workshop held in Ashland, Oregon, July 23-25, 1984*, Springer-Verlag, New York: 29-47.

- Schultze, D. L., and R. A. Collins. 1977. Age composition of California landings of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, 1963 through 1969. Calif. Dept. Fish Game, Mar. Res. Tech. Rep., 38: 44 pp. (manuscript)
- Shingu, C., Y. Warashina, and N. Matsuzaki. 1974. Distribution of bluefin tuna exploited by long-line fishery in the western Pacific Ocean. Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 10: 109-140.
- Tomlinson, P. K., and N. J. Abramson. 1971. Fitting a von Bertalanffy growth curve by least squares including tables of polynomials. Calif. Dept. Fish Game, Fish Bull., 116: 69 pp.
- Yabe, H., S. Ueyanagi, and H. Watanabe. 1966. Studies on the early life history of bluefin tuna *Thunnus thynnus* and on the larvae of the southern bluefin tuna *T. maccoyii*. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 23: 95-129.
- Yamanaka, H., and staff. 1963. Synopsis of biological data on kuromaguro *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel) 1842 (Pacific Ocean). FAO, Fish. Rep., 6 (2): 180-217.
- Yokota, T., M. Toriyama, F. Kanai, and S. Nomura. 1961. Studies on the feeding habit of fishes. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 14: 1-234.
- Yukinawa, M., and Y. 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.

**APPENDIX TABLE 1.** Groups of tagged bluefin released in the Pacific Ocean. This list includes fish released in both the western and eastern Pacific Ocean and those which made both local movements and transoceanic migrations. The lengths are expressed in millimeters.

**TABLA ANEXO 1.** Grupos de aletas azules marcados liberados en el Océano Pacífico. La lista incluye peces liberados en el Océano Pacífico occidental y oriental y aquellos que efectuaron movimientos locales y migraciones transoceánicas. Las tallas se expresan en milímetros.

No. of fish	Length at release	Length at recapture	Days free	No. of fish	Length at release	Length at recapture	Days free
No. de peces	Talla de liberación	Talla de recaptura	Días en libertad	No. de peces	Talla de liberación	Talla de recaptura	Días en libertad
5	191.2	230.6	19.6	2	285.0	475.0	135.5
12	225.0	272.0	14.6	5	386.0	487.4	135.4
3	300.0	303.7	8.7	22	431.4	528.1	133.4
8	337.5	354.4	7.1	32	484.6	569.8	134.5
10	378.0	346.6	9.6	19	522.7	569.9	133.7
4	447.5	447.5	7.2	1	557.0	633.0	146.0
9	488.9	490.6	6.4	2	200.0	470.0	157.0
7	523.1	528.1	11.3	4	225.0	487.5	160.8
1	560.0	554.0	13.0	4	377.5	617.0	163.0
3	683.3	696.7	16.3	6	443.7	559.8	163.7
1	830.0	749.0	17.0	28	483.6	575.1	167.0
14	192.1	321.1	45.3	16	523.6	592.8	168.4
16	225.3	332.6	43.5	3	560.3	633.7	175.3
1	280.0	380.0	49.0	3	176.7	511.7	199.7
1	370.0	410.0	48.0	1	207.0	590.0	189.0
8	435.0	457.8	49.9	2	395.0	515.0	199.5
5	484.0	494.2	42.6	11	433.1	548.8	200.4
1	560.0	518.0	33.0	20	478.6	573.6	195.4
1	810.0	785.0	43.0	16	519.8	615.4	191.3
20	190.2	379.2	76.7	3	568.3	644.7	185.3
26	223.3	400.1	76.3	1	200.0	500.0	236.0
2	270.0	420.0	74.5	1	222.0	550.0	222.0
2	340.0	430.0	71.0	20	434.0	550.0	227.9
2	390.0	472.5	88.0	20	473.8	608.0	224.6
5	430.0	478.0	80.6	7	515.4	634.6	218.1
13	482.3	513.9	77.2	2	670.0	764.5	227.0
2	535.0	516.0	74.0	1	380.0	500.0	244.0
1	570.0	600.0	65.0	8	434.4	594.0	252.0
1	860.0	822.0	65.0	3	472.0	611.7	247.0
30	189.9	438.8	110.0	1	200.0	660.0	300.0
38	228.0	449.9	106.6	1	360.0	650.0	275.0
3	273.3	489.7	117.0	1	430.0	620.0	299.0
1	350.0	450.0	103.0	2	485.0	644.5	289.5
1	360.0	442.0	117.0	1	530.0	701.0	291.0
8	432.5	459.1	108.4	1	780.0	879.0	296.0
14	477.1	524.6	104.7	3	186.7	606.3	324.0
14	526.9	580.4	108.5	5	224.0	622.6	318.6
17	191.2	459.7	131.9	2	265.0	650.0	320.5
14	222.9	466.0	127.0	1	440.0	685.0	327.0

APPENDIX TABLE 1. (continued)

TABLA ANEXO 1. (continuación)

No. of fish	Length at release	Length at recapture	Days free	No. of fish	Length at release	Length at recapture	Days free
No. de peces	Talla de liberación	Talla de recaptura	Días en libertad	No. de peces	Talla de liberación	Talla de recaptura	Días en libertad
1	200.0	684.0	350.0	2	200.0	783.5	678.5
3	233.3	655.3	336.0	2	240.0	730.0	676.5
2	260.0	622.5	346.0	1	260.0	850.0	699.0
1	350.0	640.0	345.0	1	400.0	1073.0	858.0
1	390.0	589.0	355.0	1	450.0	1130.0	852.0
2	422.5	633.0	352.0	1	500.0	1164.0	855.0
1	810.0	1054.0	337.0	1	426.0	1175.0	884.0
1	195.0	730.0	386.0	1	500.0	1280.0	893.0
1	240.0	635.0	385.0	1	503.0	1070.0	878.0
2	395.0	640.0	384.0	3	484.0	1081.7	905.7
1	720.0	952.0	383.0	1	510.0	1140.0	905.0
2	195.0	662.0	400.5	1	450.0	954.0	941.0
1	300.0	701.0	409.0	1	850.0	1526.0	988.0
1	410.0	670.0	419.0	1	500.0	1485.0	1189.0
1	520.0	748.0	419.0	1	550.0	1343.0	1188.0
1	780.0	991.0	404.0	1	510.0	1530.0	1228.0
1	307.0	700.0	440.0				
2	484.0	713.5	432.5				
1	350.0	629.0	470.0				
1	400.0	720.0	463.0				
1	430.0	815.0	458.0				
3	490.0	804.0	458.0				
4	525.0	835.0	466.5				
1	570.0	950.0	469.0				
1	350.0	814.0	489.0				
1	430.0	835.0	499.0				
6	486.7	821.3	492.7				
7	521.4	850.1	494.7				
1	560.0	890.0	492.0				
11	482.6	803.4	529.5				
7	514.6	822.6	524.9				
3	443.3	780.3	558.0				
6	485.3	831.0	553.5				
8	526.2	872.1	547.8				
1	450.0	795.0	586.0				
4	467.5	810.2	587.2				
2	515.0	861.0	597.5				
1	460.0	806.0	606.0				
1	480.0	876.0	645.0				