

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

Bulletin — Boletín

Vol. 17, No. 7

(Completing the Volume)
(Completando el Volumen)

**THE RELATIONSHIP BETWEEN OTOLITH INCREMENTS
AND TIME FOR YELLOWFIN AND SKIPJACK TUNA
MARKED WITH TETRACYCLINE**

**RELACION ENTRE EL TIEMPO Y LOS INCREMENTOS
DE LOS OTOLITOS DEL ATUN ALETA AMARILLA
Y BARRILETE MARCADOS CON TETRACICLINA**

by/por

A. Wild and/y T. J. Foreman

La Jolla, California

1980

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT.....	509
INTRODUCTION.....	509
ACKNOWLEDGEMENTS.....	510
METHODS AND MATERIALS.....	510
RESULTS.....	513
General.....	513
Yellowfin: increments and time.....	513
Yellowfin: growth rate.....	515
Skipjack: increments and time.....	516
Skipjack: growth rate.....	518
DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	518
<hr/>	
FIGURES—FIGURAS.....	522
PLATES—LAMINAS.....	527
TABLES—TABLAS.....	530

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
EXTRACTO.....	542
INTRODUCCION.....	542
RECONOCIMIENTO.....	543
METODOS Y MATERIALES.....	543
RESULTADOS.....	546
Generalidades.....	546
Atún aleta amarilla: tiempo e incrementos.....	547
Atún aleta amarilla: índice de crecimiento.....	549
Barrilete: tiempo e incrementos.....	550
Barrilete: índice de crecimiento.....	552
DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	552
<hr/>	
LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA.....	557

**THE RELATIONSHIP BETWEEN OTOLITH INCREMENTS AND
TIME FOR YELLOWFIN AND SKIPJACK TUNA
MARKED WITH TETRACYCLINE**

by

A. Wild and T. J. Foreman

ABSTRACT

The rate at which increments are deposited on the sagittal otoliths of yellowfin (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas is determined by a mark-recapture experiment using tetracycline. During growth in fork length from 40 to 110 cm, and for a period of up to 389 days, yellowfin of the Revillagigedo Islands-Baja California region deposit one increment per day in either the postrostrum or rostrum position of the otolith. For skipjack of the same region, rostrum increments underestimate time by approximately 24 percent during growth from 42 to 64 cm and over the maximum interval of 249 days.

The growth rate of each species is estimated from the recapture fork length and the linear change in an otolith dimension following tetracycline injection. Over specific ranges in fork length the rates are 3.06 and 1.15 cm per month for yellowfin and skipjack, respectively.

INTRODUCTION

The emerging complexity and reproductive frequency in the yellowfin (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tuna stocks in the eastern Pacific emphasize the need for an absolute measure of age composition of the commercial catch. Previous methods of age estimation of these species, including vertebral centra, scales and dorsal spines relied essentially on the unsubstantiated assignment of age to growth marks. As a result, the analysis of size at age led to conflicting interpretations (see Bell, 1964, and Shomura, 1966, for synopses). Methods that rely on the modal progression of length frequencies (Moore, 1951; Brock, 1954; Henemuth, 1961; Davidoff, 1963; Le Guen and Sakagawa, 1973; Anon. 1974a, 1976a) incremental growth (Díaz, 1963), or tag returns of these species (Clemens and Roedel, 1952; Blunt and Messersmith, 1960; Joseph and Calkins, 1969) produce more consistent results. These studies, and particularly modal progression, reveal geographic differences in mean length at age both within and between years. Evidence also suggests that tuna spawning may occur semi-annually or more frequently. In addition, the time lag in the reappearance of some age classes in the fishery can lead to tenuous connections between discontinuous modal progressions. Together, these factors urge the development of a definitive technique for determining age that can be applied to individual fish of these species.

The original suggestion by Pannella (1971, 1974), that the growth increments on the sagittal otoliths of some temperate and tropical fishes are of daily periodicity, could provide the necessary measure of absolute age. To test the hypothesis with respect to yellowfin and skipjack tuna the

Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) initiated a limited (1975) and more extensive (1976) tetracycline-injection and tagging program in the Revillagigedo Islands-Baja California area. The results of the 1976 experiment appear in this report.

ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution of R. L. Allen, N. Gilbert and P. K. Tomlinson in the form of statistical insights and discussions is gratefully acknowledged. The motivation of E. B. Brothers for testing the daily increment hypotheses by means of tetracycline, and adapting the basic replicating and etching procedures to tuna otoliths is also recognized. The time and effort of R. D. Methot in providing corroborative interpretations of several difficult otoliths, and that of J. H. Uchiyama and R. B. Moffitt in recounting a portion of the skipjack otoliths is sincerely appreciated.

METHODS AND MATERIALS

The use of tetracyclines as calcium-specific agents to mark the hard parts of fishes is reported elsewhere (Beverlander and Goss, 1962; Kobayashi, *et al.*, 1964; Choate, 1964; Lanzing and Hynd, 1966; Jensen and Cumming, 1967; Weber and Ridgway, 1967). Nevertheless, a restatement of the basic methods in terms of the present experiment is useful.

Tuna captured at sea are injected with tetracycline and released as quickly as possible. Shortly after treatment the antibiotic is incorporated in the actively growing periphery of the otolith. As growth continues additional increments¹ are deposited on the otolith until recapture. The tetracycline mark is first located microscopically by fluorescence induced by ultraviolet light and then associated with a particular increment by introducing a low level of transmitted visible light. Usually, the fluorescent band does not exceed the width of one increment. Under increased illumination the total number of increments from the mark to the otolith edge are counted. The relationship between the number of increments and time (the number of days at liberty) is thereby established.

Dosage requirements for a clear mark were initially set at 1.25 ml (125 mg) oxytetracycline per 4.54 kg fish by means of live-tank experiments using Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) (Anon. 1976b).

In the period 9 to 18 June, 1976, Commission personnel aboard the chartered baitboat *Mary K*, injected 978 yellowfin and 457 skipjack with tetracycline intramuscularly behind the first dorsal fin by means of a continuous pipetting syringe dispenser. Fork length was measured to the

¹ Increment—the smallest, observable, concentric, structural discontinuity which is the width of two adjacent, contrasting layers viewed under a beam of light or electrons. Definition established at an otolith workshop held in La Jolla, California, in 1976.

nearest centimeter, the fish identified by means of a color-coded dart tag and released. The average time from capture to release was about 23 seconds. A control group of 2,342 yellowfin and 3,699 skipjack was treated similarly during the same period but not injected. The experiment was confined to the Revillagigedo Islands-Baja California area bounded by the co-ordinates 18°47'22"50"N and 110°19'-112°08'W.

Each pair of sagittal otoliths removed from fish recaptured by the commercial fleet was cleansed of adhering tissue in bleach using forceps or a fine brush, rinsed in distilled water and stored dry. The characteristic yellow tetracycline mark was identified microscopically by means of ultra-violet light from a 200 watt mercury burner. Excitation wave length was limited by a combination of BG-12, B(500 nm) and U(400 nm) filters, and autofluorescence reduced by a 530 nm barrier filter.

Initially, it was not known where to count increments on the yellowfin otolith but three positions were considered: the ventral edge below the primordium (*pr*), the postrostrum (*P*) and rostrum (*R*) (Fig. 1a). A minimum of eight preliminary counts were made from the tetracycline mark to the ventral (*v*) edge on 44 otolith pairs bearing exact and inexact recapture dates. Magnification of 1250X was used throughout, together with immersion oil ($n_D^{23^\circ\text{C}} = 1.515$) to improve transparency and resolution. The regression of mean increment counts ($\Delta\bar{I}_v$) on days at liberty (Δt) produced a slope significantly ($\alpha = .05$) less than the expected proportionality $\Delta\bar{I}_v: \Delta t::1:1$, and the suspicion arose that ventral edge increments did not accurately reflect the passage of time. Counts taken at the postrostrum and rostrum showed a significant increase in $\Delta\bar{I}_{P,R}$ values when compared to $\Delta\bar{I}_v$ on the same otolith. As a result the following procedures were adopted:

- 1) A minimum of eight counts were made on each otolith pair at the postrostrum, rostrum or both positions. The clarity of increments was unique for each otolith and position, and consequently the site that could be read most easily was selected. Whenever possible counts were extended to the remaining positions to examine the relationship between postrostrum and rostrum increments on the same otolith and between members of a pair.
- 2) To improve the resolution of yellowfin increments five preparatory techniques were developed and used in sequence if necessary. Initially, direct counts were attempted at either the postrostrum or rostrum. If the increments could not be satisfactorily resolved the thickness of the otolith was reduced to improve light transmission by applying 5N HCl on a fine-tipped brush to the proximal surface. If this procedure failed, surface overburden (30-100 μm) was removed by the acid (5N) and brush method. Care was taken to work only with dry otoliths and not to expose the edge of the otolith

to capillary movement of the acid. Two additional steps were restricted to the postrostrum. The underside was protected by a thin film of cellulose acetate and a repetitive sequence adopted of etching by immersion in 0.5N HCl followed by a distilled water, bleach and distilled water rinse. Progress of etching was monitored at six-second intervals or less to avoid the loss of edge increments. If all of the above procedures failed to expose the increments clearly, a cellulose acetate replica was made of the etched surface. The increment associated with the tetracycline mark was located on the otolith mounted under one compound microscope and identified on the replica under a second microscope. All counts were then carried out on the replica.

In view of the discrepancy of ventral edge *versus* rostrum and postrostrum counts on yellowfin, skipjack increments were read only at the rostrum (Fig. 1b). In most cases the postrostrum was missing or, if present, the tetracycline mark was indistinct and the increments difficult to count as a result of the knobby topography. Because of the fragility, configuration and thinness of these otoliths, not all of the preparatory steps used on yellowfin were applicable. The enhancement of increments was restricted to the use of both 5N HCl-brush methods described earlier.

On both species counts were made individually by the authors on different fish, but in cases of difficult interpretation the results were combined. A magnification of 480X was used for yellowfin and 1250X for skipjack.

The usual method of calculating growth rate by means of the change in fork length from release to recapture in relation to elapsed time could not be applied. Fifty-nine percent of the yellowfin recovered within 142 days and 33 percent of the skipjack recovered within 122 days showed negative growth. Although an error may have been introduced by shrinkage the sign of the error was not consistently related to fork length. The initial length measurements were therefore considered inaccurate and do not appear in this report.

Growth rates were estimated from data that included the proportional relationship between an otolith dimension and final fork length. During examination of the otoliths it became obvious that for a given position the distance from the tetracycline mark to the edge of the otolith was related to the days at liberty (Plates 1 and 2). Accordingly, the linear change in otolith dimension in the postrostrum, rostrum and ventral edge positions was measured microscopically to the nearest micron for all yellowfin for which the exact recapture date is known. A similar change was noted only at the rostrum for skipjack. Two additional measurements were taken on all recovered fish: the final fork length (mm) and, by means of a projected otolith image magnified 45 times, the appropriate distance (mm) from the

primordium to the postrostrum, rostrum or ventral edge. The data base for yellowfin was extended by including the length and otolith dimensions of 212 fish collected earlier as part of a subsidiary experiment. The fork length range of these latter fish was 30 to 160 cm.

RESULTS

General

The recovery data for the controls and tetracycline injected yellowfin and skipjack are shown in Table 1a (Anon., 1978) and represent total returns to July, 1978. Analysis by *G*-test (Sokal and Rohlf, 1969) indicates that recaptures of injected fish are not significantly ($\alpha = .05$) different from their respective species controls.

The number of fish that could be used to prepare a regression of otolith increments on time was limited. Table 1b shows that for both species fishermen often returned tags unaccompanied by the fish despite an increased reward for both items. The regression model also assumes that the Δt values are without error. The recovery of fish for which the exact recapture dates are known is therefore important, but the selection of these, based on logbook records, further reduced the sample size. Recaptures with large Δt values have a greater influence in determining the reliability of the regression equation parameters than do short-term recoveries. The skewed distribution of recapture frequencies (Fig. 2) demonstrates that the majority of fish were taken within 60 days of release. To offset these disadvantages, two yellowfin and 10 skipjack having inexact but large Δt values are included in the data base. In each case the error associated with their recapture dates is less than or equal to one standard deviation of the increment counts.

Yellowfin: increments and time

The pertinent information for increment counts on 53 yellowfin otoliths appears in Table 2. The sample includes fish in the fork-length range of 40 to 110 cm and 3 to 389 days at liberty. The majority of readings are taken from the rostrum, but data are available to carry out two, two-way analyses to determine the effect of otolith (left or right) and counting position (postrostrum or rostrum on the same otolith) on increment counts. The results are $F_{.05(1,90)} = 0.57$ and $F_{.05(1,18)} = 0.00$, respectively, and are not significant. Consequently the counts on either otolith or position may be summed to yield a mean value of $\Delta \bar{I}_{P,R}$.

The variance of increment counts obtained from each fish is influenced by two sources of measurement error. The first is interpretive error that affects the accuracy of counts even in the absence of resolution difficulties. The second arises from the inability to clearly identify the increments on some parts of the otolith and repeated counts may be inconsistent. Gen-

erally, the frequency of encountering zones in which the increments are difficult to resolve increases with the magnitude of Δt and leads to an increase in the variance ($\text{Var}_{P,R}$) of the mean of the repeated readings (n). The relationship is described by the predictive equation

$$\text{V}\hat{\text{a}}r_{P,R} = 0.049 (\Delta t).$$

To correct for the unequal repetitions and variance, a weighting factor ($w = n/8 \times \text{V}\hat{\text{a}}r_{P,R}$), adjusted such that $w \geq 1$, is used to develop the regression equation

$$\Delta \bar{I}_{P,R} = -0.188 + 0.985 (\Delta t). \quad (1)$$

The results appear graphically in Figure 3 but only the mean counts are plotted to simplify the diagram. The regression coefficient (b), intercept (a) and their standard errors are: $b = .985 \pm .010$ and $a = -.188 \pm 0.660$. The coefficient is not significantly different from one ($t_{.05(51)} = -1.50$) and implies that, on the average, yellowfin deposit one increment each day.

The analysis of variance of the regression appears in Table 3a. The unexplained mean square is significantly greater than that within fish having equal Δt values, and suggests that the assumed model ($\bar{I}_{P,R} = a + b(\Delta t)$) is inappropriate. Examination of the residuals indicates that the variance of the means about the regression line are unequal (heterogeneous) and a logarithmic transformation of the variables is necessary. Since the unexplained sum of squares is at least two orders of magnitude smaller than that due to regression a transformation would be statistically correct but inconsequential from a practical viewpoint. The analysis as presented in the table is therefore acceptable.

The problem of heterogeneity appears in another, forthcoming regression and the probable cause is explored here briefly. There are at least three conditions that can lead to an unequal variance of mean counts: 1) the recapture dates are in error; 2) the rate of increment formation is more variable than the precision with which the counts can be made; or 3) the interpretation of the number of increments that are actually present is more consistent than accurate. The initial selection process reduces the probability of errors in Δt and it is more likely that the variability is caused by item (2) or (3). Neither the present nor published information can confirm that in fact one increment is deposited each day. It is the average rate that supports this view. The effects of a variable deposition rate (2) or reading inaccuracy (3) are indistinguishable at present. However, the decision concerning the presence or absence of an increment is often subjective suggesting that the heterogeneity may be due to inaccurate interpretation.

The mean change in ventral edge increments ($\Delta \bar{\xi}_v$) are recorded in Table 4 for 25 yellowfin having exact recapture dates. No preparatory

techniques were used on the otoliths other than oil immersion to improve light transmission and resolution at 1250 magnification. The comparable $\Delta \bar{I}_{P,R}$ values are also included in the table. Once again there is a recognizable trend in the variance of the ventral counts with increasing values of Δt . The relationship is used to calculate the weighted regression

$$\Delta \bar{I}_V = -8.188 + 0.874 (\Delta t). \quad (2)$$

depicted in Figure 4. The coefficient, intercept and their standard errors are: $b = .874 \pm .028$ and $a = -8.188 \pm 3.406$. The analysis of variance (Table 3b) demonstrates the significance of the regression and heterogeneity about the regression line. The coefficient b is significantly less than one ($t_{.05(23)} = -4.42$), which indicates that on the average one increment is not deposited each day at the ventral edge. The interpretation of this result is taken up in the concluding section.

Yellowfin: growth rate

A significant correlation between an otolith dimension and fork-length is reported by Kompowski and Wysokiński (1976), Struhsaker and Uchiyama (1976), and Taubert and Coble (1977) for three different species of fish. A similar relationship has not been demonstrated for yellowfin and skipjack, but the method has an added potential regarding these species. When fork lengths are measured on live fish at sea it is difficult to obtain either an accurate or precise reading. Fork lengths of recaptured fish are measured more precisely, but a shrinkage error is introduced by freezing and thawing (Anon., 1974b). The dimensions of the aragonite otoliths are presumably unaffected by temperature changes or brine, and a predictive relationship can be established between the thawed fork length and the linear distance from the primordium to the postrostrum, rostrum or ventral edge. The change in fork length over the interval Δt for the tetracycline fish can be estimated from the above relationship by subtracting the otolith growth after injection from the final otolith dimension. The advantages of this procedure are that if measurable growth occurs in the otolith the change in fork length is always positive and is estimated on the common basis of a thawed fish.

The data used to establish the relationship between the primordium-postrostrum dimension and thawed fork length are derived from five sources. The male, female, indeterminate sex and inexact-recapture-date groups are set out in Table 5. They are further subdivided into an alphabetical series (A-L) to indicate capture location. The fifth group involves yellowfin with exactly known recapture dates and the appropriate data is given in columns (1) and (2) of Table 6. A graph of final fork length (FL) and primordium-postrostrum dimension (P') shows curvilinearity as well as increasing variance with the magnitude of P' . A logarithmic transformation of both variables is plotted in Figure 5 with separate symbols for

the major groups. (Compared to P' , the distance to the ventral edge was too insensitive to changes in fork length and the valuable rostrum measurements too few. These data are not included in the report.)

Covariance analysis shows that there is no significant difference ($F_{.05(1,161)} = 1.30$) between the regression coefficients for males and females. Since the indeterminate-sex group is included in the same collection series as both sexes, the data for the three groups are combined into a single regression equation. A second covariance analysis, between the inexact-exact recapture date material and the combined sexes, also shows no significant difference in regression coefficients ($F_{.05(1,245)} = 2.31$). The predictive relationship between fork length and the primordium-postrostrum dimension for yellowfin is therefore described by the single equation

$$\ln(FL) = -2.289 + 1.433 \ln(P') \quad (3)$$

where FL is measured in mm and P' as mm x 100. Substituting the final (column 1) and initial (column 2) P' values of Table 6 in equation (3), and subtracting the transformed fork lengths yields an estimate of the change in fork length (ΔFL) over time.

A plot of ΔFL against Δt demonstrates a clear relationship between variance and time. By grouping the data into five time intervals, the reciprocal of the variance of ΔFL within each group is calculated and used as a weighting factor in the regression of ΔFL on Δt . The growth of yellowfin (Fig. 6) in the fork length range of 400 to 1100 mm is significantly linear ($F_{.05(1,36)} = 167.9$) and is described by the equation

$$\Delta FL = -1.877 + 1.023 (\Delta t) \quad (4)$$

The regression coefficient and standard error are $b = 1.02 \pm 0.79$.

The growth rate of yellowfin, based on the combined sex and tetracycline data, is estimated to be 1.02 mm per day, or 3.06 cm per month.

A separate estimate of the growth rate is obtained by using only the inexact and exact recapture date material of Tables 5 and 6. The calculated value, based on a weighted regression, is 0.95 mm per day, or 2.85 cm per month.

The growth rates obtained by the tetracycline-otolith method are compared to prior estimates in Table 7a. The literature values are derived from von Bertalanffy (1938) parameters calculated by Le Guen and Sakagawa (1973), but linearized over the fork-length range of the present study, 400 to 1100 mm.

Skipjack: Increments and time

The rostra of sagittal otoliths from skipjack exhibit a growth feature that is found in the convoluted, ventral-edge region of yellowfin otoliths. A process of "staggered" growth occurs frequently and is demon-

strated in Plate 3a. Increment deposition at the leading edge of the otolith projection (opposing arrows) stops temporarily, but continues in the region immediately to the right. When a uniform margin is established deposition resumes along the entire front. Lateral scanning on either side of the counting path is necessary to detect zones of "staggered" growth and to avoid underestimating the number of increments. The anterior-most tip of a rostrum projection may also not include the most recently deposited growth rings. Growth that is immediately adjacent to the tip often contains more increments than the shortest distance from the tetracycline mark to the tip of the projection (Plate 3b,c). This lateral deposition of increments is interpreted here as the fusion process of two adjacent projections that must take place during otolith growth. Another feature that is peculiar to skipjack is that only one, or rarely two, anterior-most projections on the rostrum yield the highest increment count. Apparently skipjack of the central Pacific exhibit the same limitation (Uchiyama and Struhsaker, 1978). Finally, the shortest distance between increments found on a skipjack otolith is $0.7 \mu\text{m}$ (Plate 3d) whereas the separation in yellowfin is usually greater than $1.2 \mu\text{m}$. The resolution difficulties in working with skipjack otoliths can be appreciated if the wavelength of red ($0.78 \mu\text{m}$) and green ($0.36 \mu\text{m}$) light are considered.

The number of rostrum increments and days at liberty for 26 skipjack appear in Table 8. The range in fork length and days at liberty are 42 to 64 cm and 17 to 249 days, respectively. The assumption is made that increments on the left and right rostrum are the same and the counts are combined to form a single mean ($\Delta \bar{I}_r$). One datum (K4334) is rejected on the basis that the recapture date may be in error. Both the mean increment count and the change in size of the otolith following injection are unusually low for a Δt value of 233 days. The weighted regression of $\Delta \bar{I}_r$ on Δt for 15 skipjack having known recapture dates produces a regression coefficient of $0.795 \pm .045$. The readings for the 10 remaining fish are distributed above and below the regression line (not shown), the data are considered to be unbiased and the final analysis is based on 25 fish. The reciprocal of the predicted variance of the mean counts

$$\text{Vâr}_r = 1.008 + 0.196 (\Delta t),$$

is used to calculate the weighted regression formula

$$\Delta \bar{I}_r = 0.592 + 0.761 (\Delta t) \quad (5)$$

The data are plotted in Figure 7. The parameters and their standard errors are: $b = .761 \pm .045$ and $a = .591 \pm 2.734$. Aside from the significance of the regression and heterogeneity (Table 3c), the rate at which increments are deposited on the rostra of skipjack otoliths is significantly ($t_{.05(23)} = -5.32$) less than one. The interpretation of this result will be dealt with in the discussion.

Skipjack: growth rate

The data base used to estimate the relationship between skipjack fork length and an otolith morphometric is smaller than that of yellowfin and is limited to both the inexact and exact recapture dates recorded in Tables 9 and 10 (column 1-2), respectively. The missing fork-length data indicates damage to the caudal peduncle or fin. The linear distance from the primordium to the tip of the rostrum (R') is available for most pairs of otoliths and the mean value is given a weighting factor of one; single otolith measurements carry a weight of 0.67. The regression equation.

$$FL = -3.991 + 2.062 (R') \quad (6)$$

where $FL = \text{mm}$ and $R' = \text{mm} \times 100$, is significantly linear ($F_{.05(1,68)} = 76.0$) and the data points are shown in Figure 8.

A change in the linear dimension from the tetracycline mark to the rostrum, ΔR , is given in Table 10 (column 3). Unfortunately, a few otoliths were broken during the measurement of primordium-rostrum distance and account for the missing values of R' . However, from a given value of ΔR the change in fork length (ΔFL) can be estimated directly from the slope of equation (6). The subsequent regression of ΔFL on days at liberty yields the significant ($F_{.05(1,21)} = 195.4$) relationship

$$\Delta FL = -2.426 + 0.383 (\Delta t) \quad (7)$$

and appears graphically in Figure 9. The regression parameters and their standard errors are: $b = 0.38 \pm 0.27$, $a = -2.43 \pm 2.59$. The daily growth rate of skipjack in the fork-length range of 420 to 640 mm is estimated to be 0.38 mm per day, or about 1.15 cm per month. Comparative data obtained by methods other than the tetracycline-otolith technique appear in Table 7b.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Pannella's (1971, 1974) suggestion that the smallest growth increments on the saggital otoliths of some temperate and tropical fishes are of daily occurrence has been used successfully to determine the age of several species. Agreement with the hypothesis has been reported by Strushaker and Uchiyama (1976) for nehu (*Stolephorus purpureus*), by Ralston (1976) for reef butterfly fish (*Chaetodon miliaris Quoy*), and by Taubert and Coble (1977) for three species of the genus *Lepomis* as well as the Mozambique mouthbrooder (*Tilapia mossambica*). Brothers *et al.* (1976) provided confirmation for larval anchovy (*Engraulis mordax*) and California grunion (*Leuresthes tenuis*) and also reported the presence of increments in an extensive list of fishes. The ages of young Atlantic silversides (*Menidia menidia*) (Barkman, 1978) and subadult rainbow trout (*Salmo gairdneri*) (Brothers, 1978) have also been substantiated by means of increment

counts. Collectively, these studies demonstrate the equivalence of increments and days during immature stages of development, and occasionally into early adulthood.

There are recorded instances in which increments are known to underestimate time. Pannella's (1971) original study of some temperate species revealed that the number of increments in an annual cycle diminished with age, and the decline became more pronounced with the onset of maturity. The frequency of growth interruptions, recorded as discontinuities in the increment pattern, also increased with age. Based on increment counts alone, the ages of 7- to 13-year old hake (*Merluccius angustimanus*) have been underestimated by up to 2 or 3 years (Brothers *et al.*, 1976). Starvation experiments lowered the deposition rate in larval anchovy (*E. mordax*) (Methot, 1978) and rainbow trout (Brothers, 1978), while reduced temperatures inhibited the formation of increments in green sunfish (*Lepomis cyanellus*) (Taubert and Coble, 1977). In this last experiment, however, it was not clear if the effect was due to temperature alone or to a simultaneous reduction in photoperiod. In the tropical species studied by Pannella (1974) winter checks or seasonal bands were not formed on the saggitae, but interruptions in the sequence of increments became more frequent in later stages of growth. In immature, tropical sciaenids (*Pseudotolithus elongatus*), for instance, incremental age agreed with that estimated from known seasonal marks (Le Guen, 1976), but in mature fish increments underestimated age by up to 30 percent (Le Guen, 1978). Apparently, mature sciaenids can experience a period of retarded growth that leads to a reduction in the number of increments.

At the opposite extreme, more than one increment can be formed each day under both natural and experimental conditions. Sub-daily increments have been identified (Taubert and Coble, 1977) in wild largemouth bass (*Micropterus salmoides*), in larval anchovy (Methot, 1978) and rainbow trout (Brothers, 1979). Several, sub-daily increments have also been induced experimentally by means of temperature variation (Brothers, 1978) and by extended photoperiods (Taubert and Coble, 1977).

In summary, the literal interpretation of one increment per day can be misleading and can contribute to an overestimation (sub-daily) or an underestimation (interrupted growth) of age. For individual species corroboration is needed initially in the form of alternative methods of determining age or by using fish of known age. Since temperature, food availability, duration of light and developmental stage can affect the number of increments it may be reasonable to expect variability in the time-increment relationship under natural conditions.

The preceding remarks offer a perspective in which the results of the present experiment may be interpreted. For yellowfin that inhabit the Revillagigedo-Baja California area, the tetracycline experiment indicates that during growth in fork length from 40 to 110 cm one increment is

deposited each day. The result applies to the postrostrum and rostrum positions of the saggital otolith and over the maximum growth period of 389 days. Based on the unit deposition rate found in other tropical species during the early stages of growth, there is reason to suspect that the rate is also applicable to yellowfin less than 40 cm in length. Extrapolation of the results outside the time and fork length intervals is not justified, however, and the deposition rate cannot be applied to yellowfin that inhabit other waters.

The position at which increments are counted on the yellowfin otolith is critical. Following an initial period, otolith growth becomes allometric (Fig. 1) with maximum rates occurring along the primordium-postrostrum and rostrum axes. In either direction the uniformity and spacing between increments is superior to that found at the ventral edge, a position in which the record is more susceptible to "pinching out" (Pannella, 1974) and being incomplete. The result indicates that, on the average, the rate at which increments are deposited at the ventral edge is approximately 13 percent less than at either the postrostrum or rostrum. The conclusion applies to yellowfin during growth from 40 to 110 cm and over a maximum interval of 312 days. To determine if the underestimate is independent of or related to fish size the result of a separate experiment is helpful. Total increment counts, from the primordium to the postrostrum and ventral edge, on 26 yellowfin in the 70 to 150 cm range reveal that the magnitude of the difference between \bar{I}_p and \bar{I}_v is positively correlated ($r^2 = .83$) with fish length. On the basis of this information and the tetracycline experiment the use of ventral edge increments as an indicator of time is not recommended.

The significant departure from a one-to-one relationship between skipjack increments and days is an indication of interrupted growth. Earlier in the discussion the possible causes of this condition were attributed to starvation or the onset of maturity. Because skipjack are known to undertake more extensive migrations than yellowfin, excessive maintenance requirements may also be a factor in retarding growth and increment formation. Of the three possibilities, starvation is least acceptable as a cause; its potential effect is contradicted by the observed growth rate. The calculated value of 1.15 cm per month is not unusually low, but in close agreement with the majority of previous estimates for eastern Pacific skipjack (Table 7b). Since the sample of 25 fish were recovered within a mean radius of 310 miles from the point of release and within 73 days (mean), it is unlikely that a migratory effect would be noticeable. It is possible, however, that the growth interruption is a result of maturation. Skipjack in the central Pacific begin to mature at approximately 40 to 45 cm (Brock, 1954), and in the eastern Pacific at about 40 cm (Rothschild, 1965). Examination of the gonad index-fork length data for the Revillagigedo area (Orange, 1961) also indicates that maturation may begin at

40 to 45 cm. In the present experiment the estimated size range at injection (42 to 55 cm) and recapture (43 to 64) suggests that maturing skipjack may have been present in the sample, although the condition was not confirmed by examination. A final possibility that may account for the difference between the skipjack and yellowfin results is the availability of food and maintenance requirements relative to each species. According to Richards and Dove (1971), the swim bladder degenerates before skipjack reach a length of 20 mm. In yellowfin, the bladder begins to offer positive buoyancy when the fish weighs about one kilogram (Magnuson, 1973), or is approximately 47 mm long. Thereafter, the bladder grows progressively larger relative to the increase in fish weight. Although both species are continuous swimmers, the energy diverted to growth in skipjack may be further reduced if food availability in the Revillagigedo area is relatively poor. Alverson (1963) noted earlier that compared to 13 oceanic stations between Baja California and the Ecuadorian coast, skipjack of the Revillagigedo Islands area had the lowest percentage of full stomachs (20) whereas the comparable figure for yellowfin was 50 percent. Further speculation is unwarranted because the biology of these species and the processes that control the formation of increments are not fully understood.

On the basis of the tetracycline experiment the conclusion is justified that, during growth in fork length from 42 to 64 cm, skipjack of the Revillagigedo-Baja California region do not deposit one increment each day. On the average, time is underestimated by about 24 percent over the maximum interval of 249 days. The assumption that one increment is equivalent to a day in these fish also overestimates the growth rate. The conclusion does not imply that increments are not formed daily during an earlier period of growth.

The potential of the tetracycline-otolith method to estimate the growth rate of yellowfin and skipjack is demonstrated. The respective values of 3.06 and 1.15 cm per month are linear over the time and fork-length ranges studied, and the results are comparable to previous findings despite the limited amount of data. The advantages of the method are that adjustments to the final fork length of thawed fish to correct for shrinkage are unnecessary and all changes in growth are obliged to be positive as long as a change in otolith size can be measured. If a fish experiences a period of reduced growth rate, the total change in otolith dimension is a valid reflection of the average growth rate of the individual. The disadvantages of the method include the additional cost of injection materials and labor, and the increase in the variability of the growth rate estimate over prolonged periods of time. In practice, it may be necessary to accept data based only on time intervals of short duration.

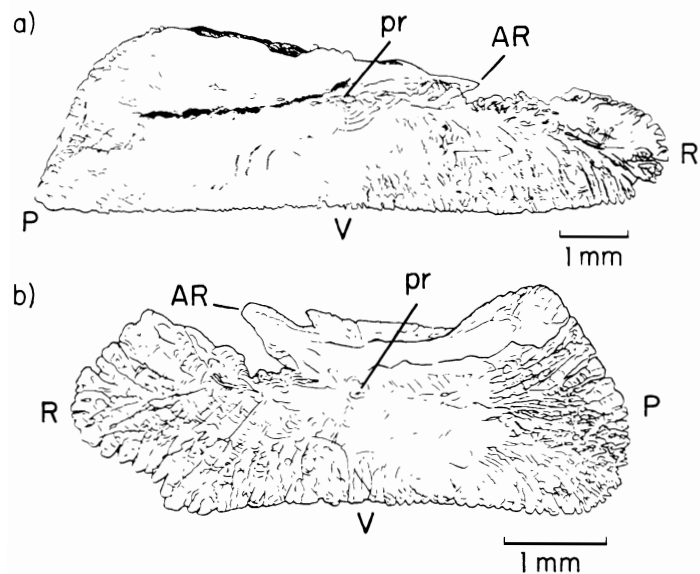


FIGURE 1. Sketch of a typical right-hand yellowfin (a) and left-hand skipjack (b) sagittal otolith. *pr*: primordium or point of original growth; *R*: rostrum (anterior); *V*: ventral edge; *P*: postrostrum; *AR*: antirostrum. Nomenclature after Messieh (1972).

FIGURA 1. Diseño de un otolito típico de aleta amarilla ubicado al lado derecho (a) y de un otolito de barrilete ubicado al lado izquierdo (b). *pr*: primordium o punto donde se origina el crecimiento; *R*: rostrum (anterior); *v*: borde ventral; *P*: postrostrum; *AR*: antirostrum. Nomenclatura según Messieh (1972).

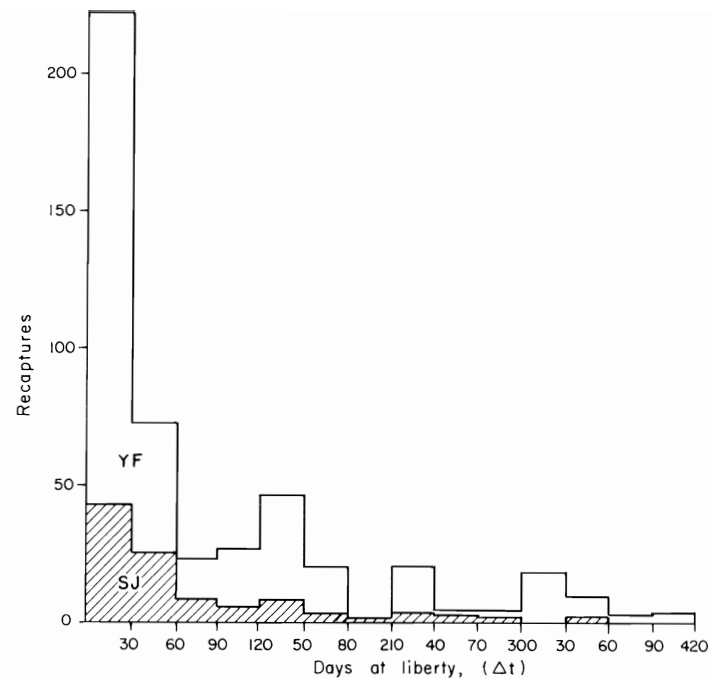


FIGURE 2. Recapture frequency of tetracycline-injected yellowfin and skipjack during period June 1976 to July 1978.

FIGURA 2. Frecuencia de las recapturas de aleta amarilla y barriletes inyectados con tetraciclina durante el periodo de junio de 1976 a julio de 1978.

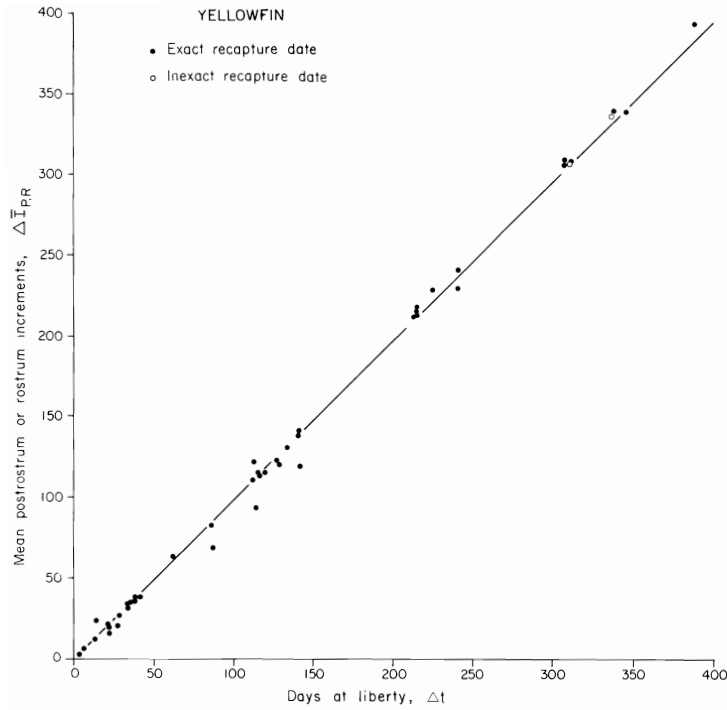


FIGURE 3. Relationship between weighted mean change in postrostrum or rostrum increments, $\Delta\bar{I}_{PR}$, for tetracycline-injected yellowfin tuna and days at liberty Δt . All points are not plotted because of coincidence.

FIGURA 3. Relación entre la media ponderada del cambio en los incrementos del postrostrum o rostrum, $\Delta\bar{I}_{PR}$, de atunes aleta amarilla inyectados con tetraciclina y días en libertad, Δt . No se han graficado todos los puntos debido a la coincidencia.

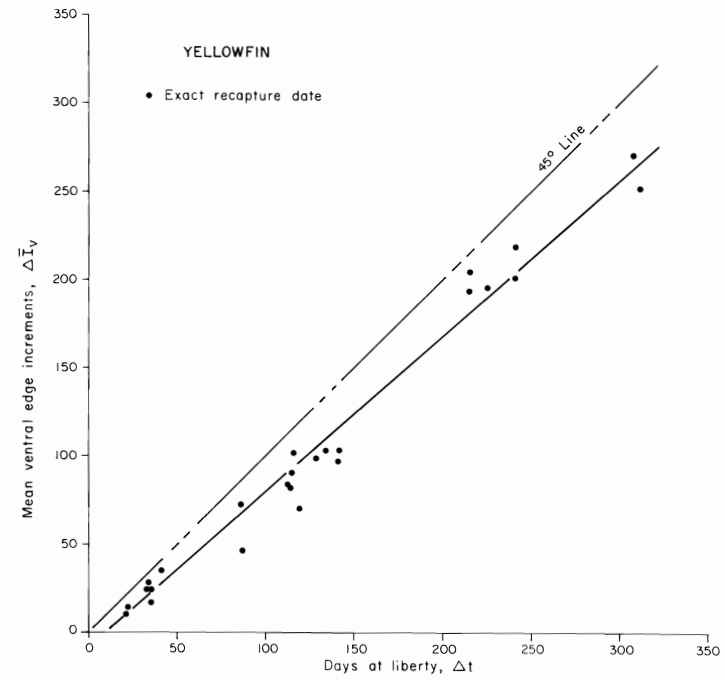


FIGURE 4. Relationship between weighted mean change in ventral edge increments, $\Delta\bar{I}_v$, for tetracycline-injected yellowfin and days at liberty, Δt .

FIGURA 4. Relación entre la media ponderada del cambio en los incrementos del borde ventral, $\Delta\bar{I}_v$, de atunes aleta amarilla inyectados con tetraciclina y días en libertad, Δt .

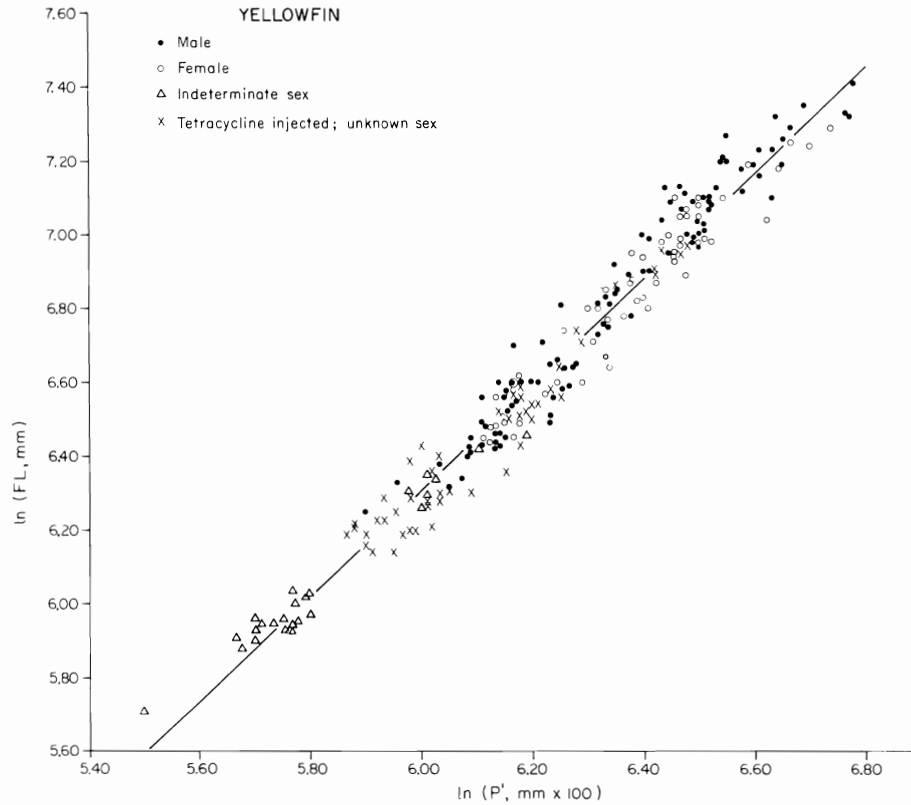


FIGURE 5. Predictive relationship between the natural logarithm of thawed fork-length (FL) and the natural logarithm of the mean, linear distance from the primordium to the postrostrum (P') on a pair of sagittal yellowfin otoliths.

FIGURA 5. Relación pronosticadora entre el logaritmo natural de la longitud de horquilla (FL) de atunes aleta amarilla descongelados y el logaritmo natural de la distancia lineal media desde el primordium al postrostrum (P') de un par de otolitos sagitales.

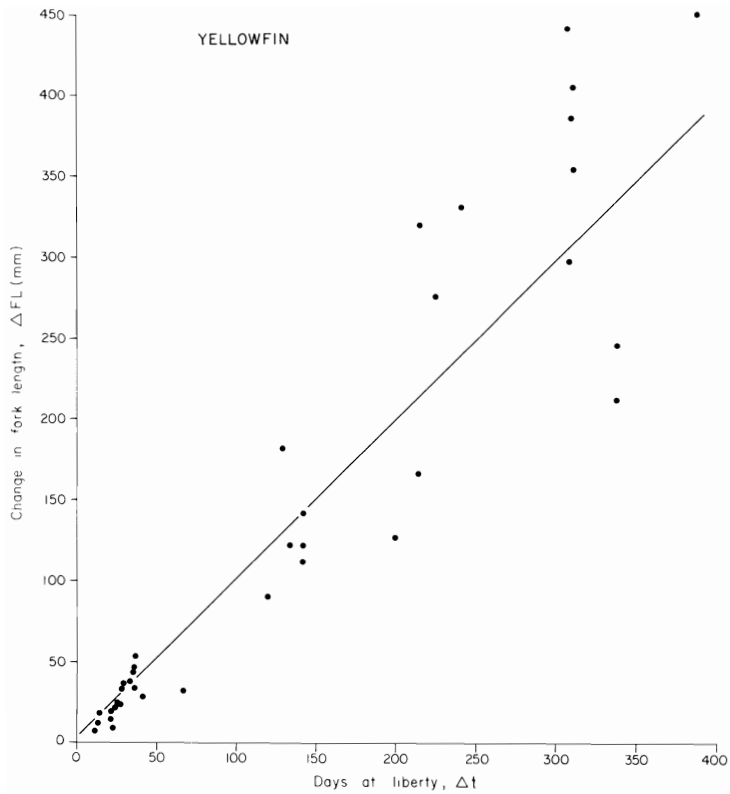


FIGURE 6. Change in thawed fork-length of 40 to 110 cm fork-length yellowfin over the known days at liberty. Derived from tetracycline-injection data.

FIGURA 6. Cambio en la longitud de horquilla de atunes aleta amarilla de 40-110 cm descongelados, durante los días que se supo estuvieron en libertad. Proveniente de los datos de las inyecciones de tetraciclina.

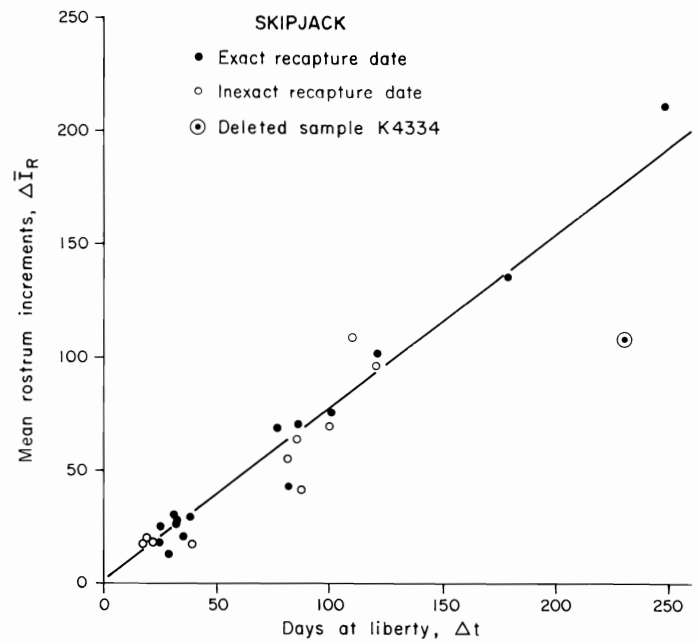


FIGURE 7. Relationship between weighted mean change in rostrum increments, $\Delta \bar{I}_R$, for tetracycline-injected skipjack and days at liberty, Δt .

FIGURA 7. Relación entre la media ponderada del cambio en los incrementos del rostrum, $\Delta \bar{I}_R$, de barriletes inyectados con tetraciclina y días en libertad, Δt .

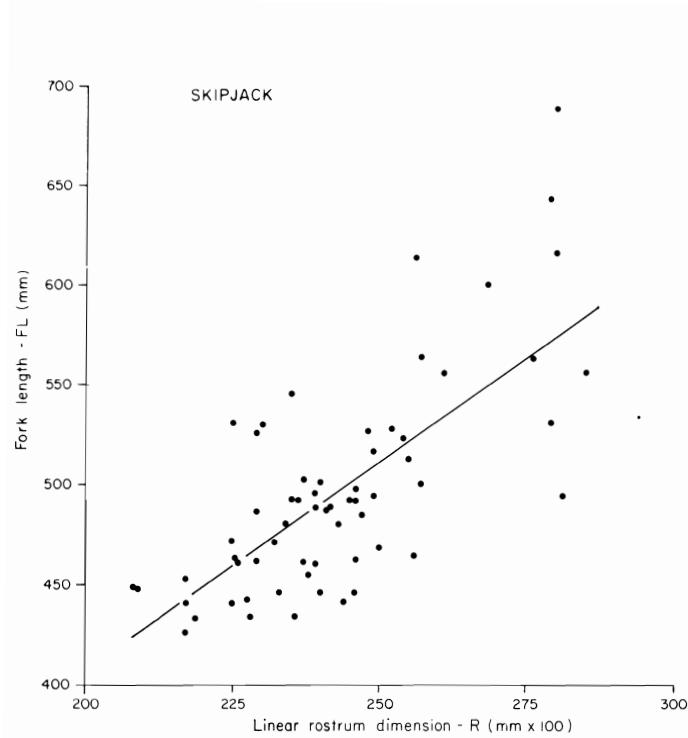


FIGURE 8. Relationship between the thawed fork-length of skipjack and the linear distance from the primordium to the tip of the rostrum on the sagittal otolith.

FIGURA 8. Relación entre la longitud de horquilla de barriletes descongelaos y la distancia lineal desde el primordium hasta el extremo del rostrum en el otolito sagital.

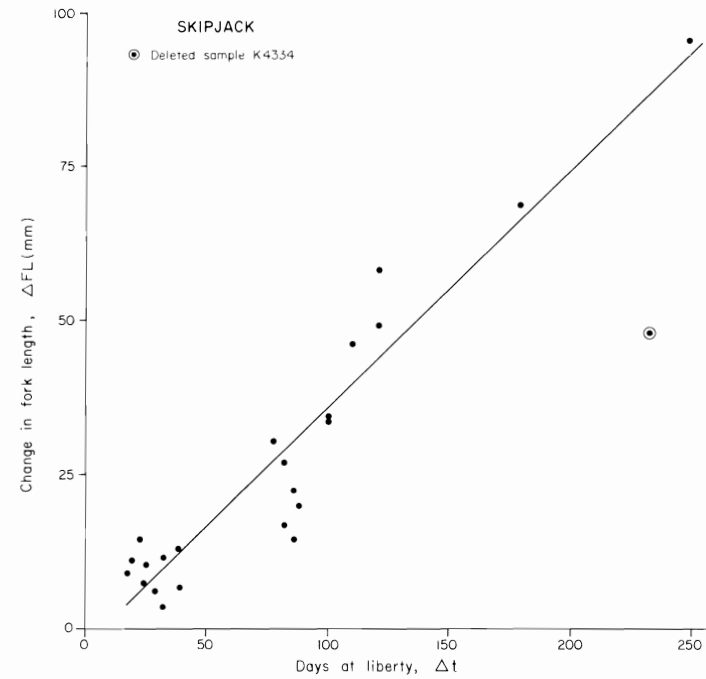
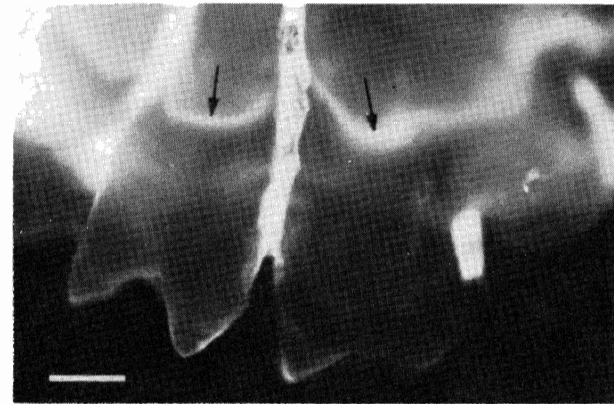


FIGURE 9. Change in thawed fork-length of 42 to 64 cm fork-length skipjack over the known days at liberty. Derived from tetracycline-injected data.

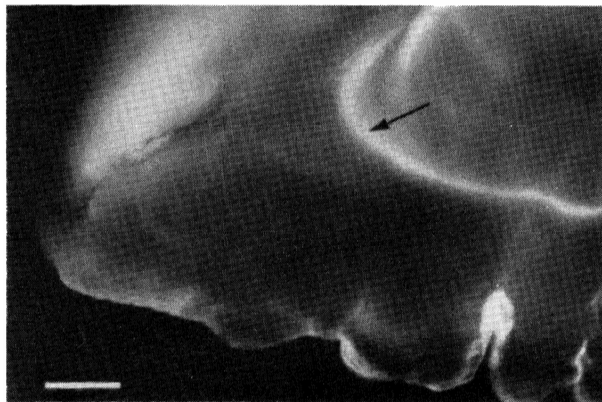
FIGURA 9. Cambio en la longitud de horquilla de barriletes descongelaos de 43-46 cm durante los días que se supo estuvieron en libertad. Proveniente de los datos de las inyecciones de tetraciclina.



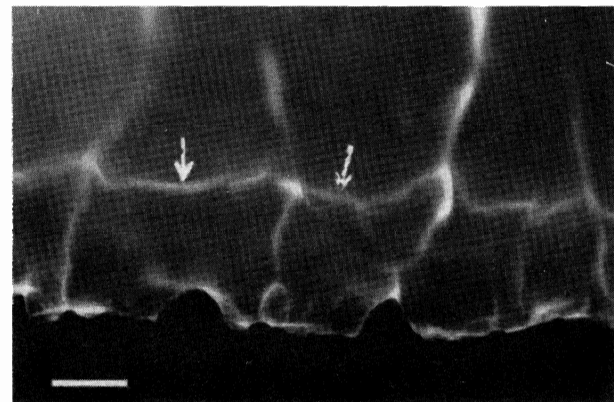
a.



b.



c.



d.

PLATE 1. Photo micrographs of a tetracycline-injected yellowfin sagittal otolith using incident ultraviolet light. Arrows indicate tetracycline mark on a) anti-rostrum; b) rostrum; c) ventral edge; d) postrostrum. Scale = 100 μ m.

LAMINA 1. Fotomicrografia de un otolito sagital de un aleta amarilla inyectado con tetraciclina, usando una luz incidente ultravioleta. Las flechas indican la marca de tetraciclina en a) el antirostrum; b) el rostrum; c) el borde ventral; d) el postrostrum. Escala = 100 μ m.

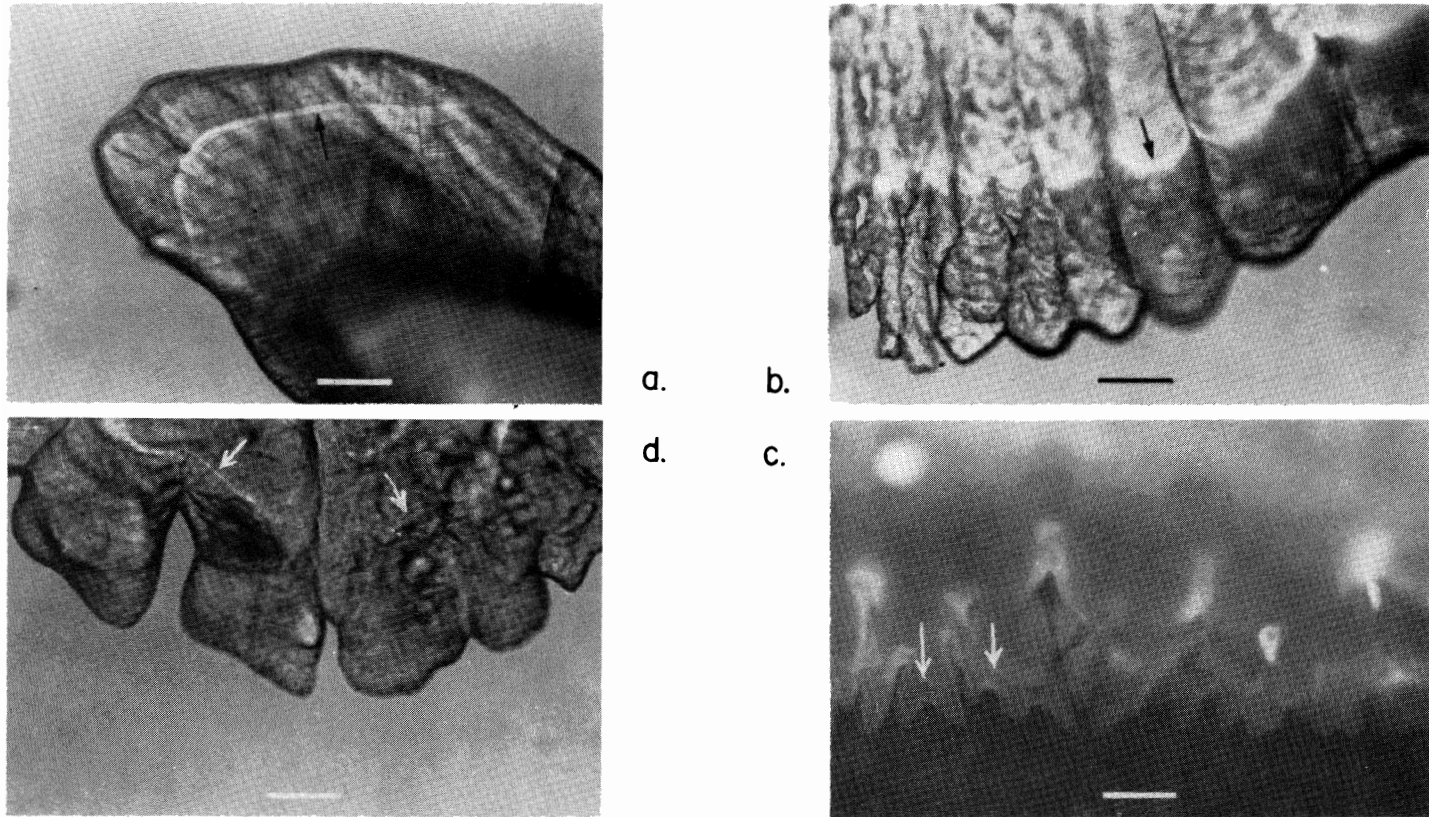
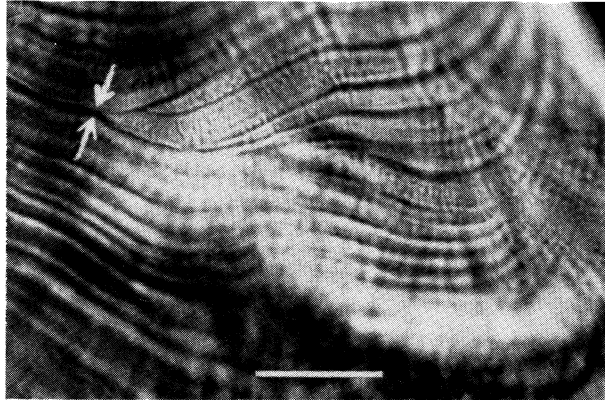
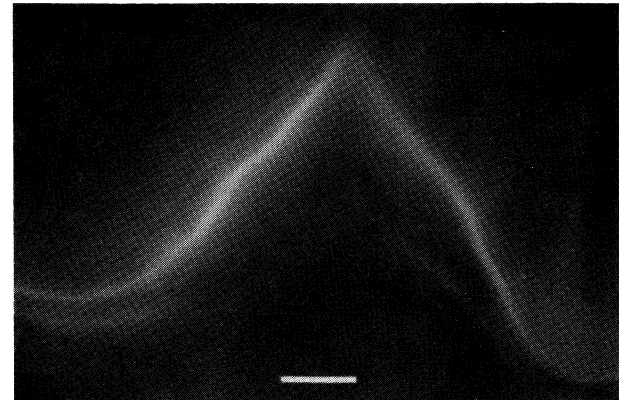


PLATE 2. Photo micrographs of a sagittal otolith from a tetracycline-injected skipjack using incident ultraviolet and transmitted halogen light. Arrows indicate tetracycline mark. a) anti-rostrum; b) postrostrum; d) rostrum. Discontinuous mark at ventral edge (c) using ultraviolet only. Scale: a,b,d, = 100 μm ; c = 25 μm .

LAMINA 2. Fotomicrografia de un otolito sagital de un barrilete inyectado con tetraciclina. Las flechas indican la marca de tetraciclina. La luz incidental ultravioleta y la luz halógena transmitida en a) antirostrum; b) postrostrum; d) rostrum. La marca discontinuada del borde ventral (c) usando solo luz ultravioleta. Escala: a, b, d = 100 μm ; c = 25 μm .



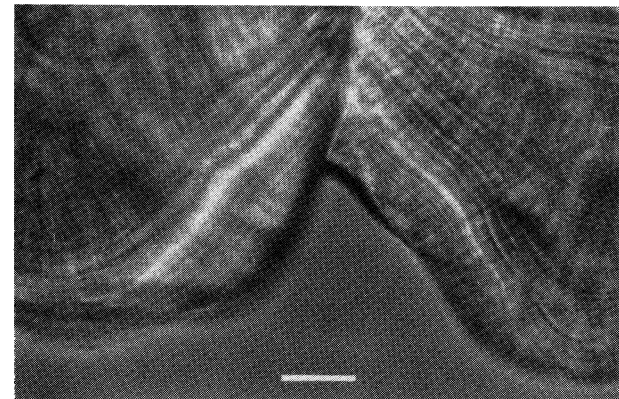
a.



b.



d.



c.

PLATE 3. Incremental growth patterns at the rostrum of skipjack otoliths. a) "Staggered" growth: increment deposition continues to the right of the opposing arrows to establish a new otolith margin (etched); b) tetracycline mark on two rostrum projections; c) lateral growth and fusion of same projections as in (b) using UV and transmitted light; d) each increment between arrows is approximately $0.7 \mu\text{m}$ apart (etched). Scale: a, d, = $10 \mu\text{m}$; b, c = $25 \mu\text{m}$.

LAMINA 3. Pautas incrementales de crecimiento en el rostrum de los otolitos de barrilete. a) crecimiento "escalonado": el incremento acumulado continúa hacia la derecha de las flechas opuestas para establecer un nuevo margen en el otolito (grabado); b) marca de tetraciclina en los dos relieves del rostrum; c) crecimiento lateral y fusión de los mismos relieves como en (b) usando luz ultravioleta y transmitida; d) cada incremento entre las flechas se encuentra aproximadamente $0.7 \mu\text{m}$ aparte (grabado). Escala: a, d = $10 \mu\text{m}$; b, c = $25 \mu\text{m}$.

TABLE 1. Release and recovery data of tagged yellowfin and skipjack from June 1976 to July 1978. a) Tagged controls *versus* tagged and tetracycline injected fish. b) Partitioned data for the number of tetracycline recoveries with known recapture dates. YF = yellowfin; SJ = skipjack; () = additional fish included to extend data base.

TABLA 1. Datos de liberación y recaptura de atunes aleta amarilla y barriletes marcados desde junio de 1976 a julio 1978. a) Control del marcado en relación a los peces marcados e inyectados con tetraciclina. b) División de datos por el número de recuperaciones de peces marcados con tetraciclina con fechas conocidas de recaptura. YF = aleta amarilla; SJ = barrilete; () = otros peces incluidos para aumentar los datos básicos.

a) Species	Treatment	Release	Recapture	Percent recapture
a) Especies	Tratamiento	Liberados	Recapturados	Porcentaje recapturado
YF	control	2,355	1,327	56.3
YF	tetracycline	978	562	57.5
SJ	control	3,725	1,061	28.5
SJ	tetracycline	457	146	31.9
b)			Known recapture date	
Released	Tags recovered	Tags recovered	Fish & tag recovered	Exact recapture date known
b)			Fecha conocida de recaptura	
Liberados	Marcas recuperadas	Marcas recuperadas	Peces y marcas recuperadas	Fecha exacta conocida de recaptura
YF	978	562	454	277
%		57	46	28
SJ	457	148	99	80
%		32	22	18

TABLE 2. Change in postrostrum or rostrum position increments in tetracycline yellowfin having exact recapture dates. Legend: r, l = right or left otolith; **P, R** = postrostrum or rostrum; **n** = number of repetitive counts; ΔI = mean counts per otolith; $\Sigma \Delta I$ = sum of all counts; $\Delta \bar{I}_{P,R}$ = mean counts per otolith pair; S.E. = standard error of mean counts per pair; Δt = days at liberty; * = inexact recapture date and range.

TABLA 2. Cambio en la posición de los incrementos en el postrostrum y rostrum en los otolitos del aleta amarilla marcado con tetraciclina, que tengan fechas exactas de recaptura. Nota: d,i = derecha o izquierda del otolito; **P, R** = postrostrum o rostrum; **n** = número de recuentos; ΔI = valor medio por otolito; $\Sigma \Delta I$ = suma de todos los valores; $\Delta \bar{I}_{P,R}$ = valores medios por par de otolitos; E.N. = error normal de los valores medios por par; Δt = días en libertad, * = datos inexactos de la fecha de recaptura y de la amplitud de la longitud.

Tag No.	r	P	n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_{P,R}$	SE	Δt	Tag No.	r	P	n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_{P,R}$	SE	Δt
# Marca	d	P	n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_{P,R}$	EN	Δt	# Marca	d	P	n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_{P,R}$	EN	Δt
J0030	r	R	4	33.8	274	34.2	0.73	34	J1186	r	P	8		1,926	240.8	1.85	241
	l	R	4	34.8					1214	r	R	4	20.2	165	20.6	0.18	21
0035	r	R	4	36.5	298	37.2	0.37	38		l	R	4	21.0				
	l	R	4	38.0					1271	r	R	8		156	19.5	0.33	21
0036	l	R	8		2,718	339.8	2.09	346	1280	l	R	8		981	122.6	2.19	113
0071	r	R	4	12.2	100	12.5	0.19	13	1416	r	P	8	108.6	1,751	109.4	2.21	111
	l	R	4	12.8						l	P	8	110.2				
0074	l	P	8		1,733	216.6	1.68	215	1486	r	P	8		1,054	131.8	1.21	134
0086	r	P	8		305	38.1	1.04	41	1579	r	P	9		3,060	340.0	3.29	339
0148	r	P	8		1,831	228.9	2.12	225	1598	r	R	9	118.9	1,195	119.5	1.41	142
0164	r	R	4	24.2	194	24.2	0.49	14		l	P	1	125.0				
	l	R	4	24.2					1636	l	P	8		1,838	229.8	2.48	241
0226	r	R	4	39.2	308	38.5	0.38	39	1651	r	P	8		2,456	307.0	2.80	310
	l	R	4	37.8													
0495	r	P	4	82.0	666	83.2	1.03	86	K4041	r	R	4	32.0	254	31.8	0.31	33
	l	P	4	84.5						r	P	4	31.5				
0570	r	R	4	35.8	286	35.8	0.49	35	4065	r	R	8		922	115.2	1.50	120
	l	R	4	35.8					4096	l	R	8		300	37.5	0.46	39
0584	l	R	8		557	69.6	0.73	87	4109	l	P	8		1,132	141.5	1.48	141
0592	r	R	8		304	38.0	0.19	37	4115	l	R	8		922	115.2	1.22	115
0694	r	R	4	21.5	171	21.4	0.18	21	4229	r	R	4	112.8	913	114.1	1.14	116
	l	R	4	21.2						l	R	4	115.5				
0698	r	P	8		2,452	306.5	7.23	308	*4278	r	P	8		2,462	307.8	1.60	311 ± 2
0716	r	R	4	16.0	124	15.5	0.33	21	4319	r	R	8		750	93.8	1.03	114

TABLE 3. Analysis of variance for the weighted regressions of mean increments on days at liberty. In each case the weights (w) = $n/V\bar{a}r$. a) yellowfin postrostrum or rostrum increments ($\Delta\bar{I}_{P,R}$) on Δt ; b) yellowfin ventral edge increments ($\Delta\bar{I}_V$) on Δt ; and c) skipjack rostrum increments ($\Delta\bar{I}_R$) on Δt . ss = sum of squares; df = degrees of freedom.

TABLA 3. Análisis de la varianza de las regresiones ponderadas de la media de los incrementos sobre los días en libertad. En cada caso el peso (w) = $n/V\bar{a}r$. a) incrementos en el postrostrum y rostrum en los otolitos del aleta amarilla ($\Delta\bar{I}_{P,R}$) sobre Δt ; b) incrementos en el borde ventral (aleta amarilla) ($\Delta\bar{I}_V$) sobre Δt ; y c) incrementos en el rostrum (barrilete) ($\Delta\bar{I}_R$) sobre Δt . sc = suma de los cuadrados; gl = grados de libertad.

Source of variation	df	ss	mean square	F
Origen de la variación	gl	sc	Media de los cuadrados	F
a) Among otoliths (Δt)	(1)	52		
regression	(2)	1	813,501.	10,560. *
residual		51	77.04	60.7 *
Within otoliths	(3)	<u>390</u>	1.27	
Total		442		
b) Among otoliths	24	271,945.		
regression	1	265,556.	265,556.	956. *
residual	23	6,389.	277.76	25.6 *
Within otoliths	<u>143</u>	<u>1,549.</u>	10.83	
Total	167	273,494.		
c) Among otoliths	24	195,372.		
regression	1	180,664.	180,664.	282. *
residual	23	14,708.	639.48	60.7 *
Within otoliths	<u>189</u>	<u>1,992.</u>	10.54	
Total	213	197,364.		

* significant ($\alpha = .05$)

(1) Among otoliths = entre otolitos

(2) regression = regresión

(3) Within otoliths = en los otolitos

TABLE 4. Change in ventral edge position increments compared to those at the postrostrum or rostrum for tetracycline yellowfin having exact recapture dates. Legend: **n** = number of repetitive counts; $\Sigma\Delta\mathbf{I}$ = sum of all counts; $\Delta\bar{\mathbf{I}}_v$ = mean ventral edge counts per otolith pair; SE = standard error; $\Delta\bar{\mathbf{I}}_{P,R}$ = comparative postrostrum or rostrum counts on same fish; Δt = days at liberty.

TABLA 4. Cambio en los incrementos en el borde ventral de los otolitos, comparado con los del postrostrum o rostrum de atunes aleta amarilla marcados con tetraciclina, que tengan fechas exactas de recaptura. Nota: **n** = número de recuentos; $\Sigma\Delta\mathbf{I}$ = suma de todos los valores; $\Delta\bar{\mathbf{I}}_v$ = media de los valores del borde ventral por par de otolitos; SE = error normal; $\Delta\bar{\mathbf{I}}_{P,R}$ = valores comparativos del postrostrum o rostrum de los otolitos de un pez; Δt = días en libertad.

Tag No. #Marca	n	$\Sigma\Delta\mathbf{I}$	$\Delta\bar{\mathbf{I}}_v$	SE	Δt	$\Delta\bar{\mathbf{I}}_{P,R}$	Tag No. #Marca	n	$\Sigma\Delta\mathbf{I}$	$\Delta\bar{\mathbf{I}}_v$	SE	Δt	$\Delta\bar{\mathbf{I}}_{P,R}$
J0030	10	288	28.8	0.55	34	34.2	J1598	8	829	103.6	1.16	142	119.5
0074	11	2,138	194.4	4.56	215	216.6	1636	8	1,610	201.2	1.42	241	229.8
0086	8	285	35.6	1.05	41	38.1							
0148	8	1,575	196.9	2.33	225	228.9	K4041	10	251	25.1	0.55	33	31.8
0495	8	582	72.8	2.09	86	83.2	4065	8	565	70.6	2.36	120	115.2
0570	8	151	18.9	1.20	35	35.8	4109	8	780	97.5	2.39	141	141.5
0584	8	376	47.0	1.15	87	69.6	4115	8	727	90.9	2.83	115	115.2
0694	8	85	10.6	0.18	21	21.4	4229	8	818	102.2	2.25	116	114.1
0698	8	2,165	270.6	1.81	308	306.5	4319	8	654	81.8	1.39	114	93.8
0750	8	2,017	252.1	1.68	312	308.8	4562	8	796	99.5	2.84	129	120.9
1186	8	1,747	218.4	3.09	241	240.8	4674	8	1,641	205.1	2.75	215	217.4
1280	8	671	83.9	3.29	113	122.6	4741	10	243	24.3	0.45	35	—
1486	8	828	103.5	1.73	134	131.8	4886	8	118	14.8	0.70	22	21.5

TABLE 5. Fork length of thawed yellowfin and linear distance from the primordium to the post-rostrum on the sagittal otolith. Each otolith measurement is the mean value of the left and right members of a pair. Capture locations of series A - L are: A - various; B - 12°N-103°W; C - unknown; D - Cabo San Lucas; E - 23°N-108°W; F - Gulf of Calif.; G - 00°N-120°W; H - unknown; I - 00°N-125°W; J - 22°N-110°W; K - 20°N-110°W; L - unknown. Legend: S - series; **FL** - fork length (mm); **P'** - primordium-postrostrum, linear distance (mm x 100).

TABLE 5. Longitud de horquilla de atunes aleta amarilla descongelados y distancia lineal desde el primordium hasta el postrostrum en los otolitos sagitales. Cada medida equivale al valor medio de los bordes izquierdo y derecho de un par de otolitos. Las localidades de captura de las series A-L son: A- varias; B - 12°N-103°W; C - desconocida; D - Cabo San Lucas; E - 23°N-108°W; F - Golfo de California; G - 00°N-120°W; H - desconocida; I - 00°N-125°W; J - 22°N-110°W; K - 20°N-110°W; L - desconocida. Notas: S - series; **FL** - Longitud de horquilla (mm), **P'** - primordium-postrostrum, distancia lineal (mm x 100).

MALE (MACHOS)														
S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'
A 2	736	498.3	D 6	674	508.1	F 14	704	468.0	I 5	1,377	745.0	K 6	637	462.8
3	739	474.5	7	603	429.5	15	695	478.3	6	1,330	736.0	7	659	451.1
5	837	565.1	8	650	454.4	G 2	1,214	756.4	7	1,375	760.0	8	679	474.4
7	764	534.7	11	612	459.7	4	1,083	606.7	8	1,286	746.0	10	619	464.6
8	707	451.1	E 3	1,333	689.3	5	910	565.1	10	1,330	770.0	12	661	508.8
10	1,176	681.9	5	1,044	633.6	7	927	560.4	15	1,423	784.0	13	519	366.5
12	764	524.4	9	1,222	653.9	9	941	577.9	16	1,352	693.0	15	569	439.1
13	692	516.3	10	1,203	630.2	10	1,094	667.8	J 1	990	609.4	L 1	1,515	765.3
14	736	462.0	12	1,090	661.7	11	915	557.7	4	553	423.5	2	1,497	868.7
B 5	1,172	652.3	13	987	587.2	12	822	503.4	11	882	590.6	5	736	485.3
6	1,194	681.2	14	1,146	622.8	13	864	563.8	12	1,133	672.5	9	1,343	696.0
10	1,071	661.7	15	1,184	679.9	15	933	573.8	13	1,049	649.0	10	1,513	878.0
12	1,209	672.1	F 2	631	443.2	16	1,095	604.0	14	1,016	573.6	12	1,250	686.0
15	1,203	659.1	4	697	485.4	18	810	478.5	15	1,210	677.2	15	785	563.3
C 2	988	602.6	5	642	457.7	21	910	542.3	16	724	522.1	16	1,146	662.7
4	725	526.1	6	619	452.2	H 4	1,246	628.2	K 1	769	507.9	18	770	534.7
5	782	516.8	8	634	472.9	5	1,244	648.2	2	560	388.4	19	1,061	664.0
6	709	511.4	10	629	454.4	9	1,436	696.5	3	841	555.8	20	1,463	792.0
D 1	720	473.2	11	614	440.3	I 2	1,660	882.0	4	619	459.0	21	1,559	804.7
2	772	536.2	12	733	491.3	3	1,233	717.0	5	587	414.0	26	1,108	670.7
5	609	442.3	13	630	442.5	4	1,319	724.0						

TABLE 5. Continued

FEMALE (HEMBRAS)														
S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'
A 4	736	478.3	C 12	892	606.5	F 9	661	482.6	I 1	1,405	791.0	K 11	669	468.6
6	712	480.6	13	705	461.5	G 1	1,147	749.7	11	1,315	764.0	L 3	1,461	844.7
11	717	476.7	14	786	648.8	3	1,066	643.6	12	1,398	811.0	4	1,066	644.7
15	660	470.7	15	1,020	638.0	6	1,155	655.0	14	1,425	777.0	6	842	522.7
B 4	1,069	643.8	D 3	665	478.0	8	915	598.7	J 2	1,048	639.4	7	868	567.3
7	1,321	729.5	4	628	453.0	14	1,070	676.5	3	631	450.3	8	921	601.3
8	1,211	664.4	E 1	1,030	637.6	17	963	590.6	6	1,179	649.1	13	1,215	660.7
13	1,152	667.1	6	1,030	602.7	19	1,183	664.4	7	1,070	620.8	14	768	564.0
C 1	749	482.1	7	1,077	666.4	20	1,086	644.3	8	1,095	626.2	17	876	584.0
3	823	552.7	8	1,210	693.3	22	944	561.1	9	944	557.0	22	901	556.7
8	651	454.9	11	1,083	672.5	H 2	1,208	638.2	10	1,154	643.0	24	1,040	588.7
10	900	544.6	F 1	650	459.4	8	961	611.8	K 9	716	505.0	25	950	590.7
11	734	525.0	3	733	514.8									
INDETERMINATE SEX (SEXO INDETERMINADO)														
S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'	S/No.	FL	P'
A 9	613	449.0	H 13	403	325.0	H 19	393	328.0	H 24	412	327.0	H 29	421	320.0
D 10	567	417.4	14	367	300.0	20	383	301.0	25	377	314.0	K 11	521	404.6
H 6	572	442.8	15	380	319.0	21	378	299.0	26	384	324.0	16	552	394.4
10	414	328.0	16	384	308.0	22	302	244.0	27	410	325.0	17	541	408.4
11	389	315.0	17	375	320.0	23	377	317.0	28	358	294.0	L 11	645	486.0
12	386	300.0	18	368	291.0									
TETRACYCLINE, INEXACT RECAPTURE DATE (TETRACICLINA, FECHA INEXACTA DE RECAPTURA)														
Tag (Marca)	FL	P'	Tag (Marca)	FL	P'	Tag (Marca)	FL	P'	Tag (Marca)	FL	P'	Tag (Marca)	FL	P'
J0090	489	390.8	J0173	488	365.4	J1028	537	376.1	K4099	493	394.2	K4535	505	356.8
0096	466	368.6	0214	437	366.8	1367	516	388.2	4341	530	408.2	4668	490	254.8
0125	546	416.2	0532	536	416.9	1526	534	400.2	4458	506	374.1	4785	497	358.1
0170	539	393.5	0546	465	383.5	K4017	494	400.9	4510	499	411.5			

TABLE 6. Estimated change in thawed fork length of yellowfin over the time interval Δt based on tetracycline injected fish having exact recapture dates. Legend: P'_2 - mean, final, linear distance (mm x 100) from primordium to postrostrum on a sagittal otolith pair, P'_1 - initial otolith dimension at time of release; FL_2 - final, thawed fork length (mm); \widehat{FL}_1 - initial fork length at release, on thawed basis and estimated by subtracting $\Delta\widehat{FL}$ from FL_2 ; $\Delta\widehat{FL}$ - estimated difference in fork length based on P'_2 , P'_1 and equation (3); Δt - days at liberty.

TABLA 6. Cambio estimado en la longitud de horquilla en un intervalo de tiempo Δt de atunes aleta amarilla descongelados; basado en los peces inyectados con tetraciclina de los que se tienen fechas exactas de recaptura. Nota: P'_2 significa la media de la distancia lineal final (mm x 100) desde el primordium al postrostrum en un par de otolitos sagitales; P'_1 - dimensión inicial del otolito cuando se libera el pez; FL_2 - longitud final de horquilla del pez descongelado (mm); \widehat{FL}_1 - longitud inicial de horquilla en la liberación (basada en el descongelamiento) y estimada al sustraer $\Delta\widehat{FL}$ de FL_2 ; $\Delta\widehat{FL}$ - diferencia estimada en la longitud de horquilla basada en P'_2 , P'_1 y la ecuación (3); Δt - días en libertad.

Tag No. #Marca	(1) P'_2	(2) P'_1	(3) FL_2	(4) \widehat{FL}_1	(5) $\Delta\widehat{FL}$	(6) Δt	Tag No. #Marca	(1) P'_2	(2) P'_1	(3) FL_2	(4) \widehat{FL}_1	(5) $\Delta\widehat{FL}$	(6) Δt
J 0054	412.7	395.3	580	546	34	36	K4370	358.4	340.9	499	467	32	67
0066	509.3	487.0	718	671	47	36	4434	374.7	362.4	507	484	23	27
0071	482.7	477.0	703	691	12	13	4472	416.2	369.7	546	456	90	120
0086	414.3	399.8	601	573	28	41	4504	397.4	332.6	596	475	121	141
0148	522.1	387.5	703	427	276	225	4528	459.3	443.3	617	584	33	28
0164	359.3	349.8	501	483	18	14	4666	533.1	446.9	849	667	182	129
0592	481.3	455.5	669	615	54	37	4696	498.1	348.1	693	395	298	309
0698	644.8	446.2	1,045	604	441	308	4716	614.3	469.3	992	672	320	215
0750	611.0	449.1	1,003	648	355	312	4776	469.3	361.8	675	463	212	338
1186	618.8	469.4	1,058	727	331	241	4777	394.0	372.2	546	505	41	38
1214	492.7	481.5	664	640	24	21	4795	476.0	455.1	717	673	44	35
1271	487.3	477.4	680	660	20	21	4812	649.3	448.5	1,068	622	446	389
1486	416.9	352.9	596	468	122	134	4826	494.7	477.0	689	652	37	29
1560	464.0	457.4	680	666	14	21	4844	402.7	389.9	618	594	24	26
1579	483.8	360.1	719	473	246	339	4848	473.3	455.1	704	666	38	33
1598	439.6	382.7	544	432	112	142	4930	462.1	458.9	637	630	7	11
1651	572.7	389.2	956	570	386	310	4952	442.2	356.8	620	454	166	214
K4109	424.7	351.4	552	411	141	141	4960	480.8	476.8	621	612	9	22
4278	526.0	314.8	762	357	405	311	4964	540.3	446.3	817	617	200	127

TABLE 7. Comparison of monthly growth rates of yellowfin and skipjack to previous estimates. Yellowfin (a): von Bertalanffy (1938) parameter estimates in items 1 and 3 to 8, calculated by Le Guen and Sakagawa (1973) using Fabens (1965) method and data from "Source" column. Bracketed values are estimates prepared by original authors using the methods indicated. Growth rates linearized over the fork-length range of the present experiment, 40 to 110 cm. Skipjack (b): Growth rates in items 1 to 6 are based on von Bertalanffy parameters estimated by Joseph and Calkins (1969), but linearized over the fork-length range of the present experiment, 42 to 64 cm.

TABLA 7. Comparación con estimaciones anteriores, de los índices de crecimiento mensuales del aleta amarilla y barrilete. Aleta amarilla (a): los estimativos de los parámetros de von Bertalanffy (1938) dados en los ítems 1 y del 3 al 8, fueron calculados por Le Guen y Sakagawa (1973) empleando el método de Fabens (1965) y los datos de la columna "Origen." Los valores entre paréntesis son las estimaciones preparadas por los autores originales usando los métodos indicados. Los índices de crecimiento se han linearizado sobre la amplitud de la longitud de horquilla del experimento actual, 40 a 110 cm. Barrilete (b): los índices de crecimiento en los ítems 1 a 6 están basados en los parámetros de von Bertalanffy estimados por Joseph y Calkins (1969), pero han sido linearizados sobre la amplitud de la longitud de horquilla del experimento actual, 42 a 64 cm.

a) Yellowfin - Aleta amarilla									
Item	Region	Fork-length range (cm)	L_{∞}	Parameters (cm)	K (mo)	Growth rate (cm/mo)	Source	Method	
Item	Región	Amplitud de la longitud de horquilla (cm)	L_{∞}	Parámetros (cm)	K (mes)	Índice de crecimiento (cm/mes)	Origen	Método	
1	Atlantic Ocean	66-133	223.0	(222.8)	0.023	(.023)	3.57	Yang, et al., (1969)	Scale readings - lectura de las escamas
2	Eastern Atlantic	63-162	191.7		0.032		3.62	Le Guen, et al., (1969)	Length frequencies (LF) - frecuencia talla
3	Eastern Atlantic	53-166	194.8		0.035		4.07	Le Guen and Sakagawa (1973)	LF: age unknown - edad desconocida
4	Eastern Atlantic	58-170	175.2		0.044		4.22	Le Guen and Sakagawa (1973)	LF: age estimated - edad estimada
5	Central Pacific	47-168	191.9	(190.0)	0.036	(.037)	4.08	Moore, (1951)	LF
6	Western Pacific	57-119	188.4	(190.1)	0.027	(.014)	2.96	Yabuta, et al., (1960)	Scale readings - lectura de las escamas
7	Eastern Pacific	69-148	200.3	(167.0)	0.030	(.050)	3.66	Davidoff (1963)	LF
8	Eastern Pacific	40-158	200.3	(169.0)	0.030	(.050)	3.66	Hennemuth (1961)	LF
9	Eastern Pacific	82-138	179.8		0.041		4.13	Diaz, (1963)	Atelic increments - incrementos atélicos
10	Eastern Pacific (N)	49-136	—		—		3.59	Anon. (1974a)	Modal progression - progresión modal
11	Revillagigedo-Baja California	40-110	—		—		3.06	present study	Tetracycline-otolith - otolito tetraciclina
b) Skipjack - Barrilete									
1	Central Pacific	42-68	85.1		0.079		2.41	Brock, (1954)	Grouped LF - agrupada
2	Eastern Pacific	44-62	88.1		0.036		1.21	Joseph and Calkins, (1969)	Tagging (averaged) - marcado (promediado)
3	Eastern Pacific	44-64	72.8		0.068		1.18	Joseph and Calkins, (1969)	Tagging (not averaged) - marcado (sin promediar)
4	Eastern Pacific	44-64	107.5		0.035		1.94	Joseph and Calkins, (1969)	Modal analysis - Análisis modal
5	Central Pacific	37-70	90.6		0.049		1.77	Rothschild, (1966)	Tagging (uncorrected) - marcado (sin corregir)
6	Eastern Pacific	45-64	85.1		0.037		1.12	Schaefer, (1961)	Modal progression - progresión modal
7	Eastern Pacific	37-73	—		—		1.45	Anon. (1976b)	Modal progression - progresión modal
8	Revillagigedo-Baja California	42-64	—		—		1.15	present study	Tetracycline-otolith - otolito tetraciclina

TABLE 8. Change in rostrum position increments for skipjack having exact and inexact recapture dates. Legend: r, l = right or left otolith rostrum; n = number of repetitive counts; ΔI = mean counts per otolith; $\Sigma \Delta I$ = sum of all counts; $\Delta \bar{I}_R$ = mean counts per otolith pair; SE = standard error or mean counts per pair; Δt = days at liberty; * inexact recapture date and range.

TABLA 8. Cambio en los incrementos en el rostrum de los otolitos en barriletes que tienen fechas exactas e inexactas de recaptura. Nota: r, l = rostrum derecho o izquierdo del otolito; n = número de recuentos; ΔI = valor medio por otolito; $\Sigma \Delta I$ = suma de todos los valores; $\Delta \bar{I}_R$ = valor medio por par de otolitos; SE = error normal del valor medio por par de otolitos; Δt = días en libertad; * datos inexactos de la fecha de recaptura y de la amplitud de la longitud.

Tag No. #Marca	r l	(1) n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_R$	SE	Δt	Tag No. #Marca	r l	n	ΔI	$\Sigma \Delta I$	$\Delta \bar{I}_R$	SE	Δt
* J0128	r	4	42.0	334	41.8	1.03	88±1.5	* J1394	l	8		814	101.8	2.53	121±8
	l	4	41.5												
0130	r	6	20.5	166	20.8	0.45	35	* 1421	r	4	19.2	148	18.5	0.71	22±2
	l	2	21.5						l	4	17.5				
0141	l	8		516	64.5	0.63	86±1	1447	l	8		551	68.9	1.46	77
0253	r	4	79.2	604	75.5	1.64	101	1464	r	7	18.4	146	18.2	0.37	24
	l	4	71.8						l	1					
0265	r	4	135.2	1,084	135.5	1.99	179	1472	r	8		242	30.2	0.45	31
	l	4	135.8					K4033	l	8		200	25.0	0.78	25
* 0275	l	8		166	20.8	0.59	19±1	4035	r	8		233	29.1	0.67	38
0556	r	4	27.0	211	26.4	0.50	32	4045	r	8		562	70.2	0.49	86
	l	4	25.8					* 4156	r	8		439	54.9	0.61	82±1
0558	r	4	14.2	106	13.2	0.56	29	* 4163	r	8		872	109.0	1.41	110±2
	l	4	12.2					4331	r	10	98.0	812	96.5	2.67	121
* 0559	r	8		146	18.2	0.25	17±1		l	3	91.3				
* 0560	l	16		1,117	69.8	2.42	100±1	4334	r	8		867	108.4	3.74	233
1325	l	8		348	43.5	0.33	82	4364	r	8		1,690	211.2	1.08	249
1328	l	8		221	27.6	0.42	32	* 4385	l	8		140	17.5	0.50	39±1

TABLE 9. Fork length of thawed skipjack and linear distance from the primordium to the rostrum tip on sagittal otoliths of tetracycline injected fish. Each otolith measurement is the mean value of a pair unless marked (*) to indicate a single value. Sexes not determined. **FL** = fork length (mm); **R'** = rostrum distance (mm x 100).

TABLE 9. Longitud de horquilla de barriletes descongelados y distancia lineal desde el primordium hasta el borde del rostrum de los otolitos sagitales, de peces inyectados con tetraciclina. Cada medida de los otolitos es el valor medio de un par, a no ser que se marque con un (*) lo que indicaría un valor individual. No se determina el sexo. **FL** = longitud de horquilla (mm); **R'** = distancia del rostrum (mm x 100).

Tag No. #Marca	FL	R'	Tag No.	FL	R'	Tag No.	FL	R'	Tag No.	FL	R'	Tag No.	FL	R'
J0118	526	229.1	J0277	480	234.2	J1441	426	217.4	K4070	488	241.1	*K4265	614	256.1
0128	498	245.9	0287	442	227.2	1444	494	280.6	4076	528	252.3	*4318	492	245.4
0157	513	255.0	0299	487	240.5	*1451	527	247.5	4113	600	269.4	*4323	441	244.3
*0244	434	235.8	0518	471	232.0				4125	446	232.6	4328	616	280.0
*0263	441	225.1	*0551	464	256.1	K4027	563	256.6	4132	455	237.9	*4337	556	261.4
0265	563	276.3	0558	449	208.0	4035	461	225.6	*4148	453	216.6	4346	531	224.6
0266	462	228.8	1345	441	217.1	*4039	530	230.4	4180	487	228.8	4355	502	236.8
*0269	434	228.3	1394	531	279.0	*4052	688	279.5	4183	460	239.0	*4359	501	240.0
0276	480	242.7	*1434	472	224.0	4059	485	247.0	4216	468	250.2	4385	462	245.9

TABLE 10. Estimated change in thawed fork length of skipjack over the time interval Δt based on tetracycline injected fish having exact recapture dates or the range indicated below. Legend: **FL** = final thawed fork length (mm); **R'** = mean linear distance (mm x 100) from the primordium to the tip of the rostrum for a pair of otoliths, or a single value (*); ΔR = linear distance from the tetracycline mark to the tip of the rostrum (mm x 100); ΔFL = change in fork length estimated by equation (6); Δt = days at liberty. See text for explanation of missing values.

TABLA 10. Cambio estimado en la longitud de horquilla sobre un intervalo de tiempo Δt de barriletes descongelados, basado en la tetraciclina inyectada en los peces de los que se tienen fechas exactas de recaptura o en la amplitud de la longitud indicada más adelante. Nota: **FL** = longitud final de horquilla (mm) de peces descongelados; **R'** = media de la distancia lineal (mm x 100) desde el primordium hasta el borde del rostrum en un par de otolitos, o un valor individual (*); ΔR = distancia lineal desde la marca de tetraciclina hasta el borde del rostrum (mm x 100); ΔFL = cambio en la longitud de horquilla estimada mediante la ecuación (6); Δt = días en libertad. Véase el texto para obtener la explicación de los valores omitidos.

Tag No. (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Tag No. (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Tag No. (1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
#Marca FL	R'	ΔR	ΔFL	Δt	#Marca FL	R'	ΔR	ΔFL	Δt	#Marca FL	R'	ΔR	ΔFL	Δt			
J0128	498	245.9	9.6	19.9	88±1.5	J0560	523	253.9	16.6	34.2	100±1	K4033	461	236.8	5.0	10.3	25
0131	493	235.2				1325	494	248.6	8.0	16.4	82	4035	461	225.6	6.2	12.8	38
*0141	488	239.0	10.8	22.2	86±1	1328	492	235.8	6.7	3.3	32	4045			7.0	14.3	86
0253	492	246.4	16.5	32.0	101	1394			28.2	58.1	121±8	4156			13.0	26.7	82±1
0265			33.3	68.7	179	1421	500	257.1	6.9	14.3	22±2	4163	503		22.4	46.2	110±2
*0275	433	217.6	5.3	11.0	19±1	1447	517	248.6	14.7	30.4	77	4331	556	284.8	23.8	49.2	121
0555	446	239.5	5.6	11.4	32	1464	496	239.0	3.5	7.3	24	*4334	546	234.7	23.2	47.9	233
0558	449	208.0	2.9	6.0	29							4364	643	279.0	46.2	95.4	249
*0559	446	245.4	4.3	8.9	17±1							4385			3.2	6.7	39±1

**RELACION ENTRE EL TIEMPO Y LOS INCREMENTOS DE LOS
OTOLITOS DEL ATUN ALETA AMARILLA Y BARRILETE
MARCADOS CON TETRACICLINA**

por

A. Wild y T. J. Foreman

EXTRACTO

La rapidez (tasa) en la que se depositan los incrementos en los otolitos sagitales del aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y el barrilete (*Katsuwonus pelamis*) se determina mediante un experimento al recapturar los peces que han sido marcados con tetraciclina. Durante el crecimiento de la longitud de horquilla de 40 a 110 cm y por un periodo hasta de 389 días, se forma en el aleta amarilla de la región de las Islas Revillagigedo-Baja California, un incremento diario ya sea en el parte del post-rostrum o rostrum de los otolitos. Con respecto al barrilete de la misma región los incrementos en el rostrum subestiman aproximadamente el tiempo en un 24 por ciento durante el crecimiento de 42 a 64 cm y sobre un intervalo máximo de 249 días.

El índice de crecimiento de cada especie se estima en la recaptura según la longitud de horquilla y el cambio lineal en la dimensión de un otolito después de la inyección de tetraciclina. La variación específica sobre la longitud de horquilla de los índices son 3.06 y 1.15 cm por mes para el aleta amarilla y el barrilete, respectivamente.

INTRODUCCION

La complejidad manifiesta de las poblaciones y la frecuencia reproductiva del aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en la pesca del Pacífico oriental pone en relieve la necesidad que hay de obtener una medida absoluta sobre la composición de la edad en la captura comercial. Los métodos anteriores sobre la estimación de la edad de estas especies, incluyendo el del cuerpo central de la vértebra, el de las escamas y el de las espinas de las aletas dorsales, se basaban esencialmente en estudios sin corroborar en los que se calculaba la edad según las marcas del crecimiento. Como resultado, el análisis de la talla con relación a la edad condujo a interpretaciones conflictivas (véase la sinopsis de Bell, 1964 y Shomura, 1966). Los métodos que se basan en la progresión modal de las frecuencias de talla (Moore, 1951; Brock, 1954; Hennemuth, 1961; Davidoff, 1963; Le Guen y Sakagawa, 1973; Anónimos 1974a, 1976), los del crecimiento calculado por la técnica incremental (Díaz, 1963) o la devolución de marcas de estas especies (Clemens y Roedel, 1952; Blunt y Messersmith, 1960; Joseph y Calkins, 1969) han producido resultados más consistentes. Estos estudios, y especialmente la progresión modal, revelan diferencias geográficas en la longitud media con relación a la edad tanto en los años como entre los años. Es también probable que el desove ocurra semianualmente o con más frecuencia. Además, el desfase de tiempo en la reaparición de las generaciones en la pesca, puede conducir a algunas conexiones débiles entre las progresiones modales discontinuadas.

Estos factores, en conjunto, demuestran la urgencia que existe de concebir una técnica definitiva para calcular la edad que pueda aplicarse a peces individuales de estas especies.

La propuesta original de Pannella (1971, 1974), de que los incrementos en el crecimiento de los otolitos sagitales de algunos peces de aguas templadas y tropicales son de una periodicidad diaria, puede suministrar la medida necesaria de la edad absoluta. Para comprobar la hipótesis con respecto al aleta amarilla y barrilete, la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) inició en las Islas Revillagigedo, región de Baja California, un programa limitado (1975) y otro programa más extenso (1976) del marcado y de las inyecciones con tetraciclina. Se presentan en este informe los resultados del experimento de 1976.

RECONOCIMIENTO

Se agradece la contribución del Dr. R. L. Allen y los Sres. N. Gilbert y P. K. Tomlinson, quienes ayudaron con sus ideas estadísticas y polémica. Se agradece también el apoyo ofrecido por el Dr. E. B. Brothers quien experimentó con la hipótesis de los incrementos diarios por medio de la tetraciclina y quien adoptó los procedimientos básicos en las réplicas y grabado de los otolitos de los atunes. Se agradece sinceramente el tiempo y trabajo del Sr. R. D. Methot al suministrar interpretaciones colaborativas de varios otolitos difíciles y la ayuda de los Sres. J. H. Uchiyama y R. B. Moffitt al volver a calcular una parte de los otolitos de barrilete.

MÉTODOS Y MATERIALES

Otros investigadores han informado sobre el uso de la tetraciclina como factor específico para marcar el calcio de las partes duras de los peces (Beverlander y Goss, 1962; Kobayashi *et al.*, 1964; Choate, 1964; Lanzing y Hynd, 1966; Jensen y Cumming, 1967; Weber y Ridgway, 1967). Sin embargo, es conveniente exponer de nuevo el método básico con referencia al experimento actual.

Los atunes capturados en el mar se inyectan con tetraciclina y se liberan tan pronto como es posible. Poco tiempo después del tratamiento se incorpora el antibiótico en la periferia activa de crecimiento del otolito. A medida que continúa el crecimiento se depositan otros incrementos¹ en el otolito hasta la recaptura. La marca de tetraciclina se localiza primero microscópicamente por la fluorescencia producida por la luz ultravioleta y asociada luego con un incremento particular al introducir un bajo nivel de luz transmitida. Comúnmente, la banda fluorescente no excede el ancho

¹ Incremento—La discontinuidad estructural más pequeña, observable, concéntrica que tiene la anchura de dos capas adyacentes contrastantes vistas bajo un rayo de luz o electrones. Esta definición fue determinada por un grupo de trabajo congregado en La Jolla, California en 1976.

de un incremento. Al aumentar la iluminación se cuenta el número total de incrementos desde la marca hasta el extremo del otolito. Por consiguiente, se establece la relación entre el número promedio de incrementos y el tiempo (el número de días en libertad).

La dosis requerida para obtener una marca clara se determinó inicialmente a 1.25 ml (125 mg) de oxitetraciclina por cada 4.54 kg de peso de los peces mediante experimentos en viveros usando caballas (*Scomber japonicus*) (Anón. 1976b).

En el período del 9 al 18 de junio de 1976 a bordo del barco fletado de carnada *Mary K.*, inyectaron intramuscularmente con tetraciclina detrás de la primera aleta dorsal mediante una jeringa por la que fluye constantemente el líquido que se encuentra en un recipiente, 978 atunes aleta amarilla y 457 barriletes. Se midió la longitud de horquilla al centímetro más cercano, los peces fueron identificados mediante una marca codificada de color en forma de dardo y se liberaron. El tiempo promedio desde la captura hasta la liberación fue de unos 23 segundos. Durante el mismo período se trató igualmente un grupo de prueba de 2,342 aleta amarilla y 3,699 barriletes, pero no se inyectaron. El experimento se limitó a la zona de las Islas Revillagigedo y de Baja California, limitada por las coordenadas de 18°47'—22°50'N y los 110°19'-112°08'W.

Cada par de otolitos sagitales sacados de los peces recapturados por la flota comercial se limpiaron del tejido con lejía, usando forceps o una brocha fina, se enjuagaron en agua destilada y se guardaron secos. La marca amarilla característica de la tetraciclina fue identificada microscópicamente por medio de una luz ultravioleta proveniente de un mechero de mercurio de 200 vatios. Al provocarse la longitud de la onda, ésta fue limitada mediante una combinación de filtros BG-12, B(500 nm) y U(400 nm) y la autofluorescencia se redujo con un filtro interceptor de 530 nm.

Inicialmente, no se sabía donde de debían contar los incrementos en los otolitos de los aleta amarilla, pero se consideraron tres posiciones: el extremo ventral debajo del primordium (*PR*), el postrostrum (*P*) y el rostrum (*R*) (Fig. 1a). Se hicieron por lo menos ocho cálculos preliminares desde la marca de la tetraciclina hasta el extremo ventral (*v*) en 44 pares de otolitos que tenían fechas exactas e inexactas de recaptura. En todo el conteo se empleó la ampliación de 1250X, junto con la inmersión en aceite ($n_D^{23^\circ C} = 1.515$), para mejorar la transparencia y resolución. La regresión de la media del número de los incrementos ($\Delta \bar{I}_v$) con relación a los días en libertad (Δt) produce una inclinación significativamente inferior ($\alpha = .05$) a la proporcionalidad esperada $\Delta \bar{I}_v: \Delta t: :1:1$, y se sospechó que los incrementos del extremo ventral no reflejaban exactamente el paso del tiempo. Los conteos obtenidos en el postrostrum y rostrum indicaron un aumento significativo en los valores de $\Delta \bar{I}_{P,R}$ cuando se compararon con los de $\Delta \bar{I}_v$ en el mismo otolito. Como resultado se adoptaron los siguientes procedimientos:

1) Se realizó un mínimo de ocho cálculos en cada par de otolitos ya sea en el postrostrum, rostrum o ambas posiciones. La claridad de los incrementos fue única respecto a cada otolito y posición; por consiguiente, se seleccionó la posición más fácil para su lectura. Cuantas veces fue posible se extendieron los cálculos a las posiciones restantes para examinar la relación entre los incrementos del postrostrum y rostrum en el mismo otolito y entre los componentes de un par.

2) Para mejorar la resolución de los incrementos de los otolitos del aleta amarilla se concibieron cinco métodos preparatorios y se emplearon en secuencia cuando fue necesario. Se intentó inicialmente hacer cálculos directos ya sea en el postrostrum o rostrum. Si no se podían definir satisfactoriamente los incrementos se reducía el grosor del otolito para mejorar la transmisión de luz al aplicar a la superficie más próxima 5N HCl con una brocha fina. Si esto no daba resultado se quitaba la capa de la superficie distal (30-100 μm) mediante el método de la brocha y del ácido (5N). Se tuvo cuidado de trabajar solo con otolitos secos y sin exponer el borde del otolito a la capilaridad del ácido. Otras dos etapas fueron limitadas al postrostrum. Se protegió la superficie inferior por medio de una membrana delgada de acetato de celulosa, y se adoptó una secuencia repetida de grabado, mediante inmersión en 0.5N HCl seguida por el enjuague en agua destilada, lejía y nuevamente se enjuagaba con agua destilada. El progreso del grabado fue vigilado a intervalos de 6 segundos o menos para evitar la pérdida de los bordes de los incrementos. Si todos estos procedimientos anteriores no servían para exponer claramente los incrementos se hacía una réplica o molde de la superficie grabada con el acetato de celulosa. El incremento asociado con la marca de tetraciclina se localizaba en el otolito al colocarlo bajo un microscopio combinado y se identificaba en la réplica bajo un segundo microscopio. Se hacían luego todos los cálculos en la réplica.

En vista de la diferencia de los cálculos del borde ventral en oposición a los del rostrum y postrostrum del aleta amarilla, se contaron solamente los incrementos en el rostrum del barrilete (Fig. 1b). En la mayoría de los casos, no se encontraba el postrostrum o, si estaba presente, la marca de tetraciclina era borrosa y difícil de contar los incrementos debido a la configuración nudosa. Debido a la fragilidad, configuración y finura de estos otolitos, no todas las etapas preparatorias que se emplearon en el aleta amarilla fueron aplicables. El realce de los incrementos se limitó al uso de los métodos con brocha de 5N HCl descritos anteriormente.

Los autores prepararon individualmente los cálculos en diferentes peces de ambas especies, pero en el caso de una interpretación difícil, se combinaron los resultados. Se empleó para el aleta amarilla una amplificación de 480X y para el barrilete de 1250X.

No se puede aplicar el método común para calcular el índice de crecimiento mediante el cambio en la longitud de horquilla desde la liberación

hasta la recaptura con relación al tiempo transcurrido. El 59 por ciento del aleta amarilla recapturado en 142 días y el 33 por ciento del barrilete recuperado en 122 días indicó un crecimiento negativo en la longitud de horquilla. Aunque se puede presentar un error a causa del encogimiento o reducción (peces descongelados) la magnitud del error no se relaciona consistentemente a la longitud de horquilla. Las medidas iniciales de longitud se consideran por consiguiente inadecuadas y no aparecen en este estudio.

Se estimaron los índices de crecimiento según los datos que incluían la relación proporcional entre la dimensión del otolito y la longitud de horquilla final. Al examinar los otolitos fue evidente que (para una posición determinada) la distancia desde la marca de tetraciclina hasta el borde del otolito se encontraba relacionada con los días en libertad (Lámina 1 y 2). Por consiguiente, el cambio lineal en la dimensión del otolito en el postrostrum, rostrum y el borde ventral fue medido microscópicamente al micron más inmediato con respecto a todos los aleta amarilla recapturados en una fecha exacta. Se observó un cambio similar en el barrilete solo en el rostrum. Se tomaron otras dos medidas en todos los peces recapturados: la longitud de horquilla final (mm) y, por medio de la imagen proyectada del otolito ampliada 45 veces, la distancia apropiada (mm) desde el primordium hasta el postrostrum, rostrum o borde ventral. Los datos básicos del aleta amarilla se ampliaron al incluir las dimensiones de la longitud y del otolito de 212 peces obtenidos anteriormente como parte de un experimento auxiliar. La longitud de horquilla de estos últimos peces varió de 30 a 160 cm.

RESULTADOS

Generalidades

Los datos de recuperación de los atunes aleta amarilla y barrilete de los experimentos de control y de los inyectados con tetraciclina se presentan en la Tabla 1a (Anón. 1978); representan todas las devoluciones recibidas hasta julio de 1978. Los análisis de la prueba G (Sokal y Rohlf, 1969) indican que las recapturas de peces inyectados con tetraciclina no son significativamente diferentes ($\alpha = .05$) de las respectivas especies de control.

El número de peces que se pudo emplear para preparar una regresión de los incrementos de los otolitos sobre el tiempo fue limitado. La Tabla 1b indica con relación a ambas especies que los pescadores devolvieron frecuentemente las marcas sin los peces, a pesar de haberse aumentado el premio si se entregaban ambos. El modelo de regresión supone además que los valores Δt están libres de error. Por consiguiente, es importante recobrar peces que tengan fechas exactas de recaptura, pero la selección, basada en los registros de bitácora, reduce aún más la magnitud de la

muestra. Las recapturas con grandes valores Δt tienen una mayor influencia en determinar la confiabilidad de los parámetros de la ecuación de regresión que los recobros a corto plazo. La distribución asimétrica de la frecuencia de recaptura (Fig. 2) demuestra que la mayoría de los peces se capturaron durante 60 días a partir de su liberación. Para compensar estos inconvenientes se incluyeron en los datos básicos dos aleta amarilla y 10 barriletes con grandes valores Δt pero inexactos. En cada caso el error que se relaciona a las fechas de recaptura es inferior o igual a una desviación normal del conteo de los incrementos.

Atún aleta amarilla: tiempo e incrementos

En la Tabla 2 aparece la información referente al cálculo de los incrementos de los otolitos de 53 atunes aleta amarilla. La muestra incluye peces con una longitud de horquilla que varía de 40 a 110 cm y que han estado de 3 a 389 días en libertad. La mayoría de las lecturas se obtuvieron del rostrum, pero se tienen datos para realizar dos análisis de doble entrada para determinar el efecto de la selección del otolito (derecha o izquierda) y la posición del conteo (postrostrum o rostrum en el mismo otolito) al contar los incrementos. Los resultados respectivos fueron $F_{.05(1,90)} = 0.57$ y $F_{.05(1,18)} = 0.00$ y no son significativos. Por consiguiente, los conteos en uno u otro otolito o posición se pueden sumar para producir un valor medio de $\Delta \bar{I}_{p,R}$.

La varianza del conteo de los incrementos obtenida de cada pez se encuentra influenciada por dos fuentes de error en las medidas. La primera es un error de interpretación que afecta la precisión de los cálculos aún cuando no hay problemas en la resolución. La segunda proviene de la incapacidad de identificar claramente los incrementos en algunas partes del otolito, y los conteos repetidos pueden ser inconsistentes. En general, aumenta la frecuencia del encuentro de zonas en las que es difícil resolver los incrementos en proporción a la magnitud de Δt que conduzca a un aumento en la varianza ($\text{Var}_{p,R}$) de la media de las lecturas repetidas (n). La relación se describe por la ecuación pronosticadora

$$(\text{Var}/n)_{p,R} = 0.049 (\Delta t).$$

para corregir las repeticiones desiguales y la varianza se empleó un factor de ponderación ($w = n/8 \times \text{Var}_{p,R}$), ajustado de tal manera que $w > 1$ desarrolla la ecuación de regresión

$$\Delta \bar{I}_{p,R} = -0.188 + 0.985 (\Delta t). \quad (1)$$

Los resultados aparecen gráficamente en la Figura 3, pero solo se grafica la media de los conteos para simplificar el diagrama. El coeficiente de regresión (b), intercepta (a) y los errores normales son: $b = .985 \pm .010$ y $a = -.188 \pm 0.660$. El coeficiente no es significativamente diferente de

uno ($t_{.05(51)} = -1.50$), e indica que, en promedio, el aleta amarilla acumula un incremento por día.

El análisis de la varianza de la regresión se presenta en la Tabla 3a. La media cuadrada inexplicada es significativamente superior a aquella de los peces que tienen valores iguales de Δt , y sugiere que el modelo supuesto ($\bar{I}_{P,R} = a + b (\Delta t)$) es inapropiado. El examen de los residuos indica que la varianza de las medias con relación a la línea de regresión es desigual (heterogénea) y se necesita una transformación logarítmica de las variables. Como la suma inexplicada de los cuadrados es por lo menos dos órdenes inferior en magnitud que la debida a la regresión, una transformación sería estadísticamente correcta pero sin importancia desde un punto de vista práctico. El análisis conforme se presenta en la tabla es por consiguiente aceptable.

El problema de la heterogeneidad aparece en otra próxima regresión y se examina aquí brevemente la causa probable. Existen por lo menos tres condiciones que pueden conducir a una varianza desigual de la media de los conteos: 1) las fechas de recaptura están erradas; 2) la rapidez (tasa) de la formación del incremento es más variable que la precisión con que se pueden hacer los cálculos o 3) la interpretación del número de incrementos que se encuentran actualmente es más uniforme que precisa. El proceso inicial de selección reduce la probabilidad de errores en Δt y es más probable que la variabilidad sea causada por los puntos (2) o (3). Ni la información actual ni la publicada puede confirmar que en realidad se acumula un incremento diario. Es el índice (tasa) promedio el que apoya este punto de vista. Los efectos de una rapidez variable de acumulación (2) o la lectura equivocada (3) son actualmente imperceptibles. Sin embargo, la decisión referente a la presencia o ausencia de un incremento es frecuentemente subjetiva e indica que la heterogeneidad puede deberse a la interpretación errada.

La media del cambio en los incrementos ($\Delta \bar{I}_V$) en el borde ventral se registra en la Tabla 4 para 25 atunes aleta amarilla que tienen fechas exactas de recaptura. No se emplearon técnicas preparatorias en los otolitos fuera de la inmersión en aceite para mejorar la transmisión de luz y la resolución amplificada a 1250X. Se incluyen también en esta tabla los valores comparables $\Delta \bar{I}_{P,R}$. Existe de nuevo una orientación reconocible en la varianza de los conteos ventrales con relación a los valores incrementales de Δt . La relación se usa para calcular la regresión ponderada

$$\Delta \bar{I}_V = -8.188 + 0.874 (\Delta t) \quad (2)$$

descrita en la Figura 4. El coeficiente, la intersección y los errores normales son: $b = .874 \pm .028$ y $a = -8.188 \pm 3.406$. El análisis de la varianza (Tabla 3b) indica la importancia de la regresión y heterogeneidad con relación a la línea de regresión. El coeficiente b es significativamente inferior a uno ($t_{.05(23)} = -4.42$), lo que indica que en promedio no se

deposita un incremento diario en el borde ventral. La interpretación de este resultado se prosigue en la sección final.

Atún aleta amarilla: índice de crecimiento

Kompowski y Wysokiński (1976), Struhsaker y Uchiyama (1976) y Taubert y Coble (1977) informaron que existía una correlación significativa entre la dimensión de un otolito y la longitud de horquilla de tres diferentes peces. No se ha demostrado una relación similar para el aleta amarilla y el barrilete, pero el método tiene otro potencial con respecto a estas especies. Cuando se mide a bordo la longitud de horquilla en peces vivos, es difícil obtener una medida precisa. La longitud de horquilla de los peces recapturados se mide con más precisión, pero se presenta un error (de reducción) debida al encogimiento al congelar y descongelar los peces (Anón., 1974b). Las dimensiones de los otolitos aragonitas presumiblemente no se afectan por los cambios de temperatura o salmuera y se puede establecer una relación pronosticadora entre la longitud de horquilla del pez descongelado y la distancia lineal desde el primordium al postrostrum, rostrum o borde ventral. El cambio en la longitud de horquilla, sobre el intervalo Δt , en peces tratados con tetraciclina puede estimarse según la relación anterior al sustraer la magnitud del crecimiento del otolito de la dimensión final del mismo después de la inyección. La ventaja de este procedimiento es que el cambio en la longitud de horquilla es siempre positivo y se estima basándose siempre en un pez descongelado.

Los datos usados para establecer la relación entre la dimensión primordium-postrostrum y la longitud de horquilla provienen de cinco fuentes o grupos. En la Tabla 5 se presentan cuatro de los cinco grupos, es decir, el macho, la hembra, el sexo indeterminado y el grupo con fecha inexacta de recaptura. Además, se subdividen en una serie alfabética (A-L) para indicar la localidad de captura. El quinto grupo incluye atunes aleta amarilla con fechas exactas de recaptura, y los datos apropiados se presentan en las columnas (1) y (2) de la Tabla 6. Un gráfico de la longitud final de horquilla (FL) y de la dimensión primordium-postrostrum (P') presenta curvilinealidad como también incremento en la varianza con relación a la magnitud de P' . En la Figura 5 se grafica una transformación logarítmica de ambas variables con símbolos separados para los grupos principales. (Comparada con la P' , la distancia hasta el borde ventral fue demasiado insensible a los cambios en la longitud de horquilla y se dispuso de muy pocas medidas del rostrum. Estos datos no se incluyen en el informe.)

El análisis de covarianza indica que no hay diferencia significativa ($F_{.05(1,161)} = 1.30$) entre los coeficientes de regresión de machos y hembras. Como se incluye el grupo de sexo indeterminado en la misma serie recolectada de ambos sexos, los datos de los tres grupos se combinan en una sola ecuación de regresión. Un segundo análisis de covarianza, entre el

material de recaptura de fecha inexacta y los sexos combinados, no indica tampoco una diferencia importante en los coeficientes de regresión ($F_{.05(1,2+15)} = 2.31$). Por consiguiente se describe la relación de pronóstico entre la longitud de horquilla y la dimensión primordium-postrostrum del aleta amarilla por la ecuación individual

$$\ln(FL) = -2.289 + 1.433 \ln(P') \quad (3)$$

en la que FL se mide en mm y P' como mm x 100. Al substituir los valores finales (1 columna) e iniciales (2 columna) de P' en la (3) ecuación de la Tabla 6, y al substraer las longitudes de horquilla transformadas, se produce una estimación del cambio de la longitud de horquilla (FL) con relación al tiempo.

El gráfico ΔFL contra Δt demuestra una relación evidente entre la varianza y el tiempo. Al agrupar los datos en cinco intervalos de tiempo, se calcula la recíproca de la varianza ΔFL en cada grupo y se emplea como un factor de ponderación en la regresión ΔFL sobre Δt . El crecimiento en la longitud de horquilla del aleta amarilla (Fig. 6), que varía de 40-110 cm, es significativamente lineal ($F_{.05(1,36)} = 167.9$) y se describe mediante la ecuación

$$\Delta FL = -1.877 + 1.023 (\Delta t) \quad (4)$$

El coeficiente de regresión y el error normal son $b = 1.02 \pm .079$. Una estimación del índice de crecimiento del aleta amarilla, basada en los datos combinados del sexo y de la tetraciclina, es de 1.02 mm por día o 3.06 cm por mes.

Puede obtenerse una estimación separada del índice de crecimiento al emplear solo los datos con fecha exacta e inexacta de recaptura de las Tablas 5 y 6. El valor calculado, basado en una regresión ponderada, es de 0.95 por día o 2.85 cm por mes.

Los índices de crecimiento obtenidos por el método otolito-tetraciclina se comparan en la Tabla 7a con estimaciones anteriores. Los valores de la bibliografía se derivan de los parámetros de von Bertalanffy (1938) calculados por Le Guen y Sakagawa (1973), pero linealizados sobre la varianza de 40-110 cm de la longitud de horquilla en este estudio.

Barrilete: tiempo e incrementos

Las caras de los otolitos sagitales del barrilete exhiben características de crecimiento que solo se encuentran en la parte rugosa del borde ventral de los otolitos del aleta amarilla. El proceso de "escalonamiento" ocurre frecuentemente y se presenta en la 3^{ra} lámina. La acumulación del incremento en el borde sobresaliente de la proyección del otolito (flechas opuestas) cesa temporalmente, pero continúa en la región adyacente de la derecha. Cuando se establece un margen uniforme se reasume la acumula-

ción a lo largo de todo el frente. La exploración lateral a cada lado de la línea calculada es necesaria para descubrir las zonas "escalonadas" de crecimiento y evitar la subestimación del número de incrementos. Puede también que el extremo delantero del relieve del rostrum no incluya los anillos de crecimiento más recientemente depositados. El crecimiento que es lateral al eje del primordium-rostrum contiene frecuentemente más incrementos que la distancia más corta de la marca de tetraciclina al extremo del relieve (Lámina 3b, c). La acumulación lateral de los incrementos se interpreta aquí como el proceso de fusión de dos relieves adyacentes que ocurre durante el crecimiento del otolito. Otra característica peculiar del barrilete es que solamente uno o rara vez dos relieves delanteros en el rostrum producen el cálculo más alto de incrementos. Aparentemente, el barrilete del Pacífico central exhibe la misma limitación (Uchiyama y Struhsaker, 1978). Finalmente, la distancia más corta entre los incrementos, encontrada en el otolito de un barrilete es $0.7 \mu\text{m}$ (Lámina 3d) mientras que la separación en el aleta amarilla es comúnmente superior a $1.2 \mu\text{m}$. Pueden apreciarse los problemas de la resolución al trabajar con los otolitos de barrilete si se considera la longitud de onda de la luz roja ($0.78 \mu\text{m}$) y verde ($0.36 \mu\text{m}$).

El número de los incrementos del rostrum y los días en libertad de 26 barriletes aparecen en la Tabla 8. La variación en la longitud de horquilla y los días en libertad son de 42 a 64 cm y de 17 a 249 días, respectivamente. Se supone que los incrementos a la derecha e izquierda del rostrum son iguales y se combinan los cálculos para formar un solo valor medio ($\Delta\bar{I}_r$). Se rechaza un dato (K4334) basándose en que la fecha de recaptura puede estar errada. Tanto la media del cálculo de los incrementos como el cambio de tamaño de los otolitos después de la inyección son insólitamente bajos en cuanto al valor Δt de 233 días. La regresión ponderada de $\Delta\bar{I}_r$ en Δt de 15 barriletes con fechas conocidas de recaptura produce un coeficiente de regresión de $0.795 \pm .045$. La lectura de los otros 10 peces se distribuye encima y debajo de la línea de regresión (no se presenta). Se considera que los datos no están sesgados y el análisis final se basa en 25 peces. La recíproca de la varianza pronosticada de la media del conteo

$$\text{Var}_R = 1.008 + 0.196 (\Delta t),$$

se emplea para calcular la fórmula ponderada de regresión

$$\Delta\bar{I}_r = 0.592 + 0.761 (\Delta t) \quad (5)$$

Los datos se grafican en la Figura 7. Los parámetros y los errores normales de los mismos son: $b = .761 \pm .045$ y $a = .591 \pm 2.734$. Fuera de la importancia de la regresión y heterogeneidad (Tabla 3c), la rapidez en la que se acumulan los incrementos en la cara de los otolitos de barrilete es significativamente inferior a uno ($t_{.05(23)} = -5.32$). La interpretación de este resultado se examinará en la discusión.

Barrilete: índice de crecimiento

La base de los datos empleada para estimar la relación entre la longitud de horquilla del barrilete y la dimensión del otolito es más pequeña que la del aleta amarilla y se limita tanto a fechas exactas como inexactas de recaptura, registradas en la Tabla 9 y 10 (columnas 1-2), respectivamente. Los datos que faltan de la longitud de horquilla indican daño en el pedúnculo o aleta caudal. Se tiene la distancia lineal desde el primordium hasta el borde del rostrum (R') de la mayor parte de los pares de otolitos y se otorga al valor medio un factor de ponderación de uno; la medida de un otolito tiene un peso de 0.67. La ecuación de regresión

$$FL = -3.991 + 2.062 (R') \quad (6)$$

en la que $FL = \text{mm}$ y $R' = \text{mm} \times 100$ es significativamente lineal ($F_{.05(1,68)} = 76.0$) y los puntos de los datos se presentan en la Figura 8.

El cambio en la dimensión lineal desde la marca de tetraciclina hasta el rostrum ΔR se da en la Tabla 10 (columna 3). Desafortunadamente, se rompieron unos pocos otolitos mientras se estaba midiendo la distancia primordium-rostrum y se cuentan por los valores perdidos de R' . Sin embargo, según un valor determinado de ΔR el cambio en la longitud de horquilla (ΔFL) puede estimarse directamente según la pendiente de la ecuación (6). La regresión subsiguiente de ΔFL de los días en libertad produce la relación significativa ($F_{.05(1,21)} = 195.4$).

$$FL = -2.426 + 0.383 (\Delta t) \quad (7)$$

y aparece gráficamente en la Figura 9. Los parámetros de regresión y los errores normales de los mismos son: $b = 0.38 \pm .027$, $a = -2.43 \pm 2.59$. El índice de crecimiento diario de barrilete con una longitud de horquilla entre 420 y 640 mm se estima que es 0.38 mm por día, o aproximadamente 1.15 cm por mes. En la Tabla 7b aparecen los datos comparativos obtenidos por otros métodos que no son los de la técnica otolito-tetraciclina.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Para determinar la edad de varias especies se ha empleado con éxito la sugerencia de Pannella (1971, 1974) que los incrementos más pequeños de crecimiento en los otolitos sagitales de algunos peces de aguas templadas y tropicales ocurren diariamente. Struhsaker y Uchiyama (1976) están de acuerdo con esta hipótesis para el *Stolephorus purpureus*, Ralston (1976) para *Chaetodon miliaris* Quoy, Taubert y Coble (1977) para tres especies del género *Lepomis* como también para *Tilapia mossambica*. Brothers *et al.* (1976) confirmaron esto referente a las larvas de anchovetas (*Engraulis mordax*) y *Leuresthes tenuis*, e informaron además la presencia de incrementos en una extensa lista de peces. Las edades de *Menidia menidia* jóvenes (Barkman, 1978) y de los subadultos *Salmo gairdneri* (Brothers, 1978) han

sido también confirmadas mediante el conteo de los incrementos. Estos estudios demostraron colectivamente la equivalencia de los incrementos y días durante las etapas inmaduras del desarrollo y ocasionalmente en las primeras etapas adultas.

Se han anotado casos en los que se conoce que los incrementos han subestimado el tiempo. El estudio original de Pannella (1971) de algunas especies de aguas templadas revela que el número de incrementos en un ciclo anual disminuye con la edad, y que la declinación viene a ser más pronunciada al comenzar la madurez. La frecuencia de las interrupciones del crecimiento, anotadas como discontinuidades en el patrón de incremento, aumenta también con la edad. Basados solamente en el cálculo de los incrementos, los *Merluccius angustimanus* de 7 a 13 años de edad han sido subestimados hasta dos y tres años (Brothers, *et al.*, 1976). Los experimentos de hambre redujeron la rapidez de la formación de incrementos en las larvas de *E. mordax* (Methot, 1978) y *Salmo gairdneri* (Brothers, 1978), mientras que las temperaturas más bajas impidieron la formación de incrementos en *Lepomis cyanellus* (Taubert y Coble, 1977). Sin embargo, en este último experimento no se pudo definir si el efecto se debía solo a la temperatura o a una reducción simultánea del período de luz. En las especies tropicales estudiadas por Pannella (1974) no se formaron en los otolitos sagitales marcas invernales o bandas estacionales, pero fueron más frecuentes las interrupciones en la secuencia de los incrementos en los estados más avanzados de crecimiento. Por ejemplo, en los *Pseudotolithus elongatus* tropicales inmaduros el incremento de la edad está de acuerdo con aquella estimada según las marcas estacionales conocidas (Le Guen, 1976), pero en los peces maduros se subestimó la edad con respecto a los incrementos hasta en un 30 por ciento (Le Guen, 1978). Aparentemente los *Pseudotolithus elongatus* pueden experimentar un período de crecimiento retardado que conduce a una reducción en el número de los incrementos.

En el extremo opuesto se puede formar más de un incremento diario bajo condiciones tanto naturales como experimentales. Los incrementos subdiarios han sido identificados (Taubert y Coble, 1977) en *Micropterus salmoides* salvajes, en larvas de *E. mordax* y en *Salmo gairdneri* (Brothers, 1979). Se han producido también experimentalmente varios incrementos subdiarios mediante la variación de temperatura (Brothers, 1978) y al extender los períodos de luz (Taubert y Coble, 1977).

En resumen, la interpretación literal de un incremento diario puede ser engañosa y contribuir a una sobreestimación (subdiaria) o una subestimación (crecimiento interrumpido) de la edad. Se necesita la corroboración para especies individuales en la forma de otros métodos para determinar la edad o al emplear peces de edad conocida. Como la temperatura, la disponibilidad del alimento, la duración de la luz y la etapa de

desarrollo pueden afectar el número de incrementos, es razonable esperar variabilidad en la relación incremento-tiempo bajo condiciones naturales.

Los comentarios siguientes presentan una perspectiva en la que los resultados del experimento actual puedan tal vez ser interpretados. Para el aleta amarilla que vive en la zona de las Islas Revillagigedo y Baja California, el experimento de tetraciclina indica que durante el crecimiento en la longitud de horquilla de 40 a 110 cm se deposita un incremento diario. El resultado se aplica a la posición del postrostrum y rostrum del otolito sagital y sobre el período máximo de crecimiento de 389 días. Basados en la rapidez de depósito encontrada en otras especies tropicales durante las primeras etapas de crecimiento, existe la razón para sospechar que este índice puede aplicarse también al aleta amarilla que mide menos de 40 cm de longitud. Sin embargo, la extrapolación de los resultados fuera de estos intervalos de tiempo y de la longitud de horquilla no se justifica y la rapidez (tasa) de la formación de los incrementos no puede aplicarse al aleta amarilla que habita otras aguas.

La posición en la que se cuentan los incrementos en el otolito del aleta amarilla es crítica. Después de un período inicial, el crecimiento del otolito viene a ser alométrico (Fig. 1) apareciendo la máxima rapidez de acumulación a lo largo de los ejes del primordium-postrostrum y rostrum. En cualquier dirección la uniformidad y el espacio entre los incrementos es superior a la encontrada en el borde ventral, una posición en la que el registro es más susceptible a unificarse (Pannella, 1974) y ser incompleto. Los resultados indican que, en promedio, la rapidez en la que se depositan los incrementos en el borde ventral es aproximadamente 13 por ciento inferior ya sea a la postrostrum o rostrum. La conclusión se aplica al aleta amarilla durante el crecimiento de 40 a 110 cm y sobre un intervalo máximo de 312 días. Para determinar si la subestimación es independiente de la talla del pez o relacionada a ésta, sería conveniente obtener el resultado de un experimento separado. La cuenta total de los incrementos, desde el primordium hasta el postrostrum y borde ventral en 26 aleta amarilla de una talla entre 70 y 150 cm, revela a que la magnitud de la diferencia entre \bar{I}_r e \bar{I}_v se correlaciona positivamente ($r^2 = .83$) con la longitud del pez. Basados en esta información y en el experimento de tetraciclina, no se recomienda el empleo de los incrementos en el borde ventral como indicadores del tiempo.

La desviación importante de la relación de uno a uno entre los incrementos del barrilete y los días es una indicación de la interrupción del crecimiento. Al principio de la discusión se atribuyeron las causas probables de esta condición al hambre o comienzo de la madurez. Como se conoce que el barrilete se desplaza mucho más que el aleta amarilla, la necesidad excesiva de manutención puede también ser un factor en el crecimiento retardado y formación de los incrementos. De las tres posibilidades, el hambre es la causa menos aceptable; su efecto potencial se contradice por

la rapidez (tasa) observada de crecimiento. El valor calculado de 1.15 cm por mes no es inusualmente bajo, pero en estrecho acuerdo con la mayoría de las estimaciones anteriores para el barrilete del Pacífico oriental (Tabla 7b). Como los 25 peces de la muestra fueron recuperados en un radio promedio de 310 millas del punto de liberación y en unos 73 días (media), es improbable que los efectos del desplazamiento sean perceptibles. Sin embargo, es posible que la interrupción en el crecimiento sea el resultado de la maduración. El barrilete del Pacífico central empieza a madurar aproximadamente de los 40 a 45 cm (Brock, 1954) y en el Pacífico oriental a unos 40 cm (Rothschild, 1965). El examen de los datos de las gónadas y del índice de la longitud de horquilla de la zona de las Islas Revillagigedo (Orange, 1961) indica también que la madurez puede empezar entre 40 y 45 cm. En el experimento actual la variación estimada de la talla cuando se pone la inyección (42 a 55 cm) y recaptura (43 a 64 cm) indica que podían encontrarse en la muestra barriletes en el proceso de maduración aunque esta condición no fue confirmada mediante examen. Una última posibilidad a la que se le puede atribuir la diferencia de los resultados entre el barrilete y el aleta amarilla es la disponibilidad del alimento y la necesidad de manutención relativa a cada especie. De acuerdo a Richards y Dove (1971), la vejiga natatoria se degenera antes de que el barrilete alcanza una longitud de 20 mm. En el aleta amarilla, la vejiga natatoria empieza a ofrecer una flotabilidad positiva cuando el pez pesa cerca de un kilogramo (Magnuson, 1973), o mide aproximadamente 47 mm. Luego la vejiga crece progresivamente con relación al aumento del peso del pez. Aunque ambas especies nadan continuamente, la energía dirigida al crecimiento del barrilete puede reducirse aún más si la disponibilidad del alimento es relativamente pobre en la zona de las Islas Revillagigedo. Alverson (1963) indicó anteriormente que comparado con trece estaciones oceánicas entre Baja California y la costa ecuatoriana, los barriletes de las Islas Revillagigedo tenían el porcentaje más bajo de estómagos llenos (20) mientras que los atunes aleta amarilla tenían el 50 por ciento. No se justifica seguir examinando ésto, ya que la biología de estas especies y los procesos que controlan la formación de los incrementos no se comprenden completamente.

Basados en el experimento de la tetraciclina se justifica la conclusión que durante el crecimiento en la longitud de horquilla de 42 a 64 cm, el barrilete de la región de las Islas Revillagigedo-Baja California no acumula un incremento diario. En promedio, se subestima el tiempo más o menos en un 24 por ciento sobre el intervalo máximo de 249 días. La suposición de que un incremento equivale a un día en estos peces sobreestima también el índice de crecimiento. Esta conclusión no significa que los incrementos no se forman diariamente durante un período más temprano de crecimiento.

Se ha demostrado la potencialidad del método de la tetraciclina en los otolitos para estimar el índice de crecimiento del aleta amarilla y barrilete.

Los valores respectivos de 3.06 y 1.15 cm por mes son lineales con relación al tiempo y a la variación en la longitud de horquilla estudiados, y se pueden comparar los resultados con hallazgos anteriores a pesar de la cantidad limitada de datos. Las ventajas de este método es que para corregir el error debido al encogimiento, son innecesarios los ajustes con relación a la longitud final de horquilla de los peces descongelados, y obliga a que todos los cambios en el crecimiento sean positivos mientras se pueda medir un cambio en la dimensión del otolito. Si un pez experimenta un período en el que se reduce el índice de crecimiento, el cambio total en la dimensión del otolito es un reflejo válido del promedio del índice de crecimiento del ejemplar. Las desventajas del método incluyen más gasto en los materiales de las inyecciones y labor, y el aumento en la variabilidad del índice de crecimiento estimado sobre períodos prolongados de tiempo. Pueda que sea necesario en la práctica aceptar los datos que se basan solamente en los intervalos de tiempo de poca duración.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alverson, F. G. 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 7(5):295-367.
- Anonymous. 1974a Annual Rep. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. for 1973* (in English and Spanish) :29-30.
- . 1974b *Ibid.* :38-39.
- . 1976a Annual Rep. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. for 1975* (in English and Spanish) :48-49.
- . 1976b *Ibid.* :53.
- . 1978. Annual Rep. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. for 1977* (in English and Spanish) :25-27.
- Bell, R. R. 1964. A history of tuna age determinations. *Proc. Symp. Scombroid Fishes; Mar. Biol. Assn. of India; Mandapam Camp*; 2:693-706.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.*, 10:181-213.
- Beverlander, G., and R. J. Goss. 1962. Influence of tetracycline on calcification in normal and regenerating teleost scales. *Nature*, 193:1098-99.
- Blunt, C. E. Jr., and J. D. Messersmith. 1960. Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959. *Calif. Fish Game*, 46(3):301-369.
- Brock, V. E. 1954. Some aspects of the biology of the Aku, *Katsuwonus pelamis*, in the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 8(1):94-101.
- Brothers, E. B. 1978. Exogenous factors and the formation of daily and subdaily growth increments in fish otoliths. *Amer. Zool.*, 18(3):631.
- . 1979. Personal communication. Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- , C. P. Mathews, and R. Lasker. 1976. Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *U.S. Fish Bull.*, 74(1):1-8.
- Choate, J. 1964. Use of tetracycline drugs to mark advanced fry and fingerling brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 93(3):309-311.
- Clemens, H. B., and P. M. Roedel. 1952. Tagging experiments on tuna and mackerel in the eastern Pacific. *Symp. Scombroid fishes (Part II)*, *Mar. Biol. Assoc. India*, 1:769-784.

- Davidoff, E. B. 1963. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, 1951-1961 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 8(4):201-251.
- Díaz, E. L. 1963. An increment technique for estimating growth parameters of tropical tunas, as applied to yellowfin (*Thunnus albacares*) (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 8(7) 383-416.
- Fabens, A. J. 1965. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth*, 29:265-269.
- Hennemuth, R. C. 1961. Size and year class composition of catch, age and growth of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean for the years 1954-1958 (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 5(1):112 pp.
- Jensen, A. C., and K. B. Cumming. 1967. Use of lead compounds and tetracycline to mark scales and otoliths of marine fishes. *Prog. Fish Cult.*, 29(3):166-167.
- Joseph J., and T. P. Calkins. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean (in English and Spanish). *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 13(1):273 pp.
- Kobayashi, S., R. Yûki and T. Furui. 1964. Calcification in fish and shellfish-I. Tetracycline labelling patterns on scale, centrum and otolith in young fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 30(1):6-13.
- Kompowski, A., and A. Wysokiński. 1976. Formation of growth zones in otoliths of scad (*Trachurus trachurus* L.) from the Cap Blanc region. *Prace, Morskiego Instytutu Rybackiego*, Tom 18, Seria A: 141-156 (in Polish; English abstract).
- Lanzing, W. J. R., and J. S. Hynd. 1966. Tetracycline distribution in body tissues of marine fishes. *Austl. J. Sci.*, 29(6):177-178.
- Le Guen, J. C. 1976. Utilisation des otolithes pour la lecture de l'âge de Sciaenidés intertropicaux marques saisonnières et journalières. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 14(4):331-338.
- . 1978. Personal communication. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Noumea, New Caledonia.
- , F. Baudin-Laurencin, and C. Champagnat. 1969. Croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans les régions de Pointe-Noire et de Dakar (in French with English summary). *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 7(1):19-40.

- , and G. T. Sakagawa. 1973. Apparent growth of yellowfin tuna from the eastern Atlantic Ocean. U.S. Fish. Bull., 71(1):175-187.
- Magnuson, J. J. 1973. Comparative study of adaptations for continuous swimming and hydrostatic equilibrium of scombroid and xiphoid fishes. U.S. Fish. Bull., 71(2):337-356.
- Messieh, S. N. 1972. Use of otoliths in identifying herring stocks in the southern Gulf of St. Lawrence and adjacent waters. J. Fish. Res. Board Can., 29(8):1113-1118.
- Methot, R. D. 1978. *Personal communication*. Nat. Mar. Fish. Serv., La Jolla, Ca.
- Moore, H. L. 1951. Estimation of age and growth of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) in Hawaiian waters by size frequencies. U.S. Fish. Bull., 52(65):132-149.
- Orange, C. J. 1961. Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the eastern tropical Pacific, as inferred from studies of gonad development (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 5(6):459-526.
- Pannella, G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Sci., 173:1124-27.
- . 1974. Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In T. B. Bagenal (Ed.). The ageing of fish. Proc. Internat. Symp. on the ageing of fish, Univ. Reading; pp. 28-29. Unwin Bros., Ltd., Surrey, Engl.
- Ralston, S. 1976. Age determination of a tropical reef butterflyfish utilizing daily growth rings of otoliths. U.S. Fish. Bull., 74(4):990-994.
- Richards, Wm. J. and G. R. Dove. 1971. Internal development of young tunas of the genera *Katsuwonus*, *Euthynnus*, *Auxis* and *Thunnus* (Pisces, Scombridae). Copeia, 1:72-78.
- Rothschild, B. J. 1965. Hypotheses on the origin of exploited skipjack tunas (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern and central Pacific Ocean. U.S. Fish and Wildlife Service; Spec. Sci. Rep., No. 512.
- . 1966. Estimates of the growth of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Hawaiian Islands. Proc. Indo-Pac. Fish. Coun., 12(II): 100-111.
- Schaefer, M. B. 1961. Report on the investigation of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1960 (in English and Spanish). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep., 1960:40-183.

- Shomura, R. S. 1966. Age and growth studies of four species of tunas in the Pacific Ocean. *In* T. A. Manar (Ed.). Proc. Governor's Conf. Central Pac. Fish. Resources; State of Hawaii; 203-219.
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1969. Biometry. W. H. Freeman and Co., San Francisco. 776 p.
- Struhsaker, P., and J. H. Uchiyama. 1976. Age and growth of the nehu, *Stolephorus purpureus* (Pisces: Engraulidae) from the Hawaiian Islands as indicated by daily growth increments of sagittae. U.S. Fish Bull., 74(1):9-17.
- Taubert, B. D. and D. W. Coble. 1977. Daily rings in otoliths of three species of *Lepomis* and *Tilapia mossambica*. J. Fish. Res. Board Can., 34:332-340.
- Uchiyama, J. H., and P. Struhsaker. 1978. Age and growth of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. Nat. Mar. Fish. Serv., *unpublished manuscript*.
- Weber, D., and G. J. Ridgway. 1967. Marking Pacific salmon with tetracycline antibiotics. J. Fish. Res. Board Can., 24(4):849-865.
- Yabuta, Y., M. Yukinawa, and Y. Warashina. 1960. Growth and age of yellowfin tuna II. Age determination (scale method) (in Japanese with English summary). Hankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep. 12:63-74.
- Yang, R., Y. Nose, and Y. Hiyama. 1969. A comparative study of the age and growth of yellowfin tunas from the Pacific and Atlantic oceans. Far Seas Fish. Res. Lab. (Shimizu), Bull., 2:1-21.