

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

Bulletin—Boletín

Vol. 21, No. 7

**COMPARATIVE STUDY OF SOME MORPHOLOGICAL FEATURES OF  
YELLOWFIN (*THUNNUS ALBACARES*) AND BIGEYE (*THUNNUS OBESUS*) TUNAS**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE ALGUNAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS  
DE LOS ATUNES ALETA AMARILLA (*THUNNUS ALBACARES*)  
Y PATUDO (*THUNNUS OBESUS*)**

**by—por  
Kurt M. Schaefer**

La Jolla, California

1999

The Inter-American Tropical Tuna Commission operates under the authority and direction of a convention originally entered into by Costa Rica and the United States. The convention, which came into force in 1950, is open to adherence by other governments whose nationals fish for tropical tunas in the eastern Pacific Ocean. Under this provision Panama adhered in 1953, Ecuador in 1961, Mexico in 1964, Canada in 1968, Japan in 1970, France and Nicaragua in 1973, Vanuatu in 1990, Venezuela in 1991, and El Salvador in 1997. Canada withdrew from the Commission in 1984.

The IATTC's responsibilities are met with two programs, the Tuna-Billfish Program and the Tuna-Dolphin Program. The principal responsibilities of the Tuna-Billfish Program are (1) to study the biology of the tunas and related species of the eastern Pacific Ocean to estimate the effects that fishing and natural factors have on their abundance and (2) to recommend appropriate conservation measures so that the stocks of fish can be maintained at levels which will afford maximum sustainable catches. The principal responsibilities of the Tuna-Dolphin Program are (1) to monitor the abundance of dolphins and their mortality incidental to fishing through the collection of data aboard tuna purse seiners fishing in the eastern Pacific Ocean, (2) to analyze these data and make appropriate recommendations for the conservation of dolphins, (3) to study the causes of mortality of dolphins during fishing operations and encourage fishermen to adopt the techniques of fishing which minimize these mortalities, and (4) to study the effects of different modes of fishing on the various fish and other animals of the pelagic ecosystem.

The Commissioners serving at the time of publication are:

**COSTA RICA**

George Heigold  
Herbert Nanne

**ECUADOR**

Gustavo Gutierrez Vera

**EL SALVADOR**

Sandra Elizabeth Peña Villaran

**FRANCE**

Renaud Collard  
Phillipe Peronne

**JAPAN**

Junichiro Okamoto  
Yasuo Takase  
Yamato Ueda

**MEXICO**

La Comisión Interamericana del Atún Tropical funciona bajo la autoridad y dirección de un convenio establecido originalmente por Costa Rica y los Estados Unidos. El convenio, vigente desde 1950, está abierto a la afiliación de otros gobiernos cuyos ciudadanos pescan atunes en el Océano Pacífico oriental. Bajo esta estipulación, Panamá se afilió en 1953, Ecuador en 1961, México en 1964, Canadá en 1968, Japón en 1970, Francia y Nicaragua en 1973, Vanuatu en 1990, Venezuela en 1991, y El Salvador en 1997. México se retiró de la Comisión en 1978 y Canadá en 1984.

La CIAT cumple sus obligaciones mediante dos programas, el Programa Atún-Picudo y el Programa Atún-Delfín. Las responsabilidades principales del primero son (1) estudiar la biología de los atunes y especies afines en el Océano Pacífico oriental para estimar las consecuencias de la pesca y los factores naturales sobre su abundancia y (2) recomendar las medidas de conservación apropiadas para que los stocks de peces puedan mantenerse a niveles que permitan capturas máximas sostenibles. Las responsabilidades principales del segundo son (1) controlar la abundancia de los delfines y su mortalidad incidental a la pesca, mediante la toma de datos a bordo de embarcaciones atuneras de cerco que pescan en el Océano Pacífico oriental, (2) analizar esos datos y hacer recomendaciones adecuadas para la conservación de los delfines, (3) estudiar las causas de la mortalidad de delfines durante las faenas de pesca e instar a los pescadores a adoptar aquellas técnicas de pesca que minimicen esa mortalidad, y (4) estudiar los efectos de los distintos modos de pesca sobre las poblaciones de peces y otros animales del ecosistema pelágico.

Los Comisionados actuales son:

**NICARAGUA**

Sergio Martínez Casco

**PANAMA**

Arnulfo Luis Franco Rodriguez

**UNITED STATES OF AMERICA**

Barbara H. Britten  
M. Austin Forman  
James T. McCarthy  
Michael F. Tillman

**VANUATU**

Julian Ala  
A. N. Tillett

**VENEZUELA**

Carolina Beltrán  
Francisco Ortisi, Jr.  
Jean-François Pulvenis

*Director*

James Joseph

*Headquarters and Main Laboratory—Oficina y Laboratorio Principal*

Scripps Institution of Oceanography

La Jolla, California 92037-1508, U.S.A.

**Price per copy—\$2.00—Precio del ejemplar**

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

Bulletin—Boletín

Vol. 21, No. 7

**COMPARATIVE STUDY OF SOME MORPHOLOGICAL FEATURES OF  
YELLOWFIN (*THUNNUS ALBACARES*) AND BIGEYE (*THUNNUS OBESUS*) TUNAS**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE ALGUNAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS  
DE LOS ATUNES ALETA AMARILLA (*THUNNUS ALBACARES*)  
Y PATUDO (*THUNNUS OBESUS*)**

**by—por  
Kurt M. Schaefer**

La Jolla, California

1999

## CONTENTS—INDICE

### ENGLISH VERSION—VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT .....	491
INTRODUCTION .....	491
MATERIALS AND METHODS .....	492
RESULTS .....	492
Morphology and anatomical characters. ....	492
Coloration .....	493
DISCUSSION .....	493
ACKNOWLEDGEMENTS .....	497

---

FIGURES—FIGURAS .....	498
-----------------------	-----

---

TABLES—TABLAS .....	514
---------------------	-----

---

### VERSION EN ESPAÑOL - SPANISH VERSION

RESUMEN .....	517
INTRODUCCION .....	517
MATERIALES Y METODOS .....	518
RESULTADOS .....	518
Morfología caracteres anatómicos .....	518
Coloración .....	519
DISCUSION .....	520
RECONOCIMIENTOS .....	523

---

LITERATURE CITED-BIBLIOGRAFIA CITADA .....	524
--	-----

# COMPARATIVE STUDY OF SOME MORPHOLOGICAL FEATURES OF YELLOWFIN (*THUNNUS ALBACARES*) AND BIGEYE (*THUNNUS OBESUS*) TUNAS

by

Kurt M. Schaefer

## ABSTRACT

A quantitative comparison is presented for some external morphological and internal anatomical characters of two scombrids, bigeye tuna, *Thunnus obesus*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. External markings are described and illustrated. Fourteen external and two internal characters were evaluated for 62 yellowfin and 58 bigeye of lengths between 35 and 150 cm, by fitting nonlinear regressions to the non-transformed data for each species. Approximate F-ratio statistics indicate that all except one of the paired regression functions compared were significantly different for these species. Several external morphological and coloration differences can be utilized to distinguish these species throughout the size range in the catch of the surface fishery of the eastern Pacific Ocean. The following diagnostic features are considered the most practical for separation of yellowfin and bigeye specimens within three length classes: 30-45 cm, the patterns of lateral markings; 46-110 cm, the lengths of the pectoral fins relative to the posterior margin of the base of the second dorsal fin; and greater than 110 cm, the lengths of the second dorsal and anal fins. The functional significance of some anatomical differences are considered in relation to habitat differences among yellowfin and bigeye tunas.

**Key words:** ANATOMY, BIGEYE TUNA, COLORATION, EASTERN PACIFIC OCEAN, IDENTIFICATION, MORPHOMETRY, THUNNUS ALBACARES, THUNNUS OBESUS, YELLOWFIN TUNA

## INTRODUCTION

The estimated annual catches of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Pacific, Atlantic, and Indian Oceans combined have quadrupled over the past 40 years (Bayliff, 1998: Table 13). Of particular concern to the IATTC is the catch of bigeye tuna by the surface fishery in the eastern Pacific Ocean (EPO), which has increased from an estimated annual average of about 5 thousand metric tons during 1964-1993, to about 52 thousand metric tons in 1996, as a result of increased fishing effort on tuna schools associated with logs and fish-aggregating devices (FADs) south of 5°N (Bayliff, 1998: 56-57). The estimates of the catches and landings of tunas are based on logbook records from vessels and landing statistics from canneries (Tomlinson *et al.*, 1992). Unfortunately, discrimination between yellowfin, *Thunnus albacares*, and bigeye tunas has been problematic. Furthermore, there is little economic incentive to accurately document the tonnages of yellowfin and bigeye caught by the surface fishery and unloaded separately, as the prices paid for these two species are usually the same.

For stock assessments of tunas, it is imperative that data bases from which estimates of catches and landings are derived be accurate. Logbook records could be biased with respect to bigeye catches from non-reporting, under-reporting, or even over-reporting of tonnages loaded. To improve estimates of catches and landings of bigeye tuna requires sampling of species composition by observers at sea and/or during unloading. To this avail, it is necessary that observers aboard purse-seine fishing vessels and field technicians responsible for port sampling know the diagnostic features for separation of these species. This knowledge should be of interest to the industry as well.

Although some valuable information exists on morphological differences between yellowfin and bigeye tunas (Godsil and Byers, 1944; Gibbs and Collette, 1967; Honma *et al.*, 1973), there is no quantitative description of the diagnostic features which can reliably distinguish between the two species over the size range captured by the surface fishery of the EPO. The objectives of this paper are to:

(1) compare some of the morphological features of yellowfin and bigeye tunas throughout the size range captured by the purse-seine fishery in the EPO; and (2) provide valid diagnostic features which can be used for the rapid separation of fresh, frozen, or thawed specimens of these two species.

## MATERIALS AND METHODS

The specimens utilized in this study were captured by purse-seine vessels fishing near FADs in five locations (Figure 1) from July 1996 through January 1997. Sixty-two yellowfin (353 to 1493 mm) and 58 bigeye (342 to 1375 mm) specimens (Figure 2), selected at the time of unloading, were held frozen, and then thawed prior to examination. Tentative species identifications were based on liver morphology (Gibbs and Collette, 1967). Mitochondrial DNA analysis, which provides diagnostic restriction profiles of *Thunnus* species (Chow and Inoue, 1993), was used to confirm the species identifications (Seinen Chow, National Research Institute of Far Seas Fisheries, Japan; Berten Ely, University of South Carolina, USA; and Peter Grew, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia; pers. comm.).

Each specimen was first examined for coloration and distinctive markings. Whole weights were measured on a platform scale to the nearest ounce (28.35 g). Fifteen body dimensions (Figure 3) were measured with calipers to the nearest millimeter, except for eye diameters, which were measured to the nearest tenth of a millimeter. The first gill arch on the left side of each specimen was removed and the gill rakers counted. Each specimen was cut open from the anus to the isthmus to completely expose the abdominal cavity. The liver was examined, removed, and weighed on an electronic balance to the nearest tenth of a gram. The gonads were removed and the sex determined, based on gross examination, for most specimens greater than 50 cm or 70 cm fork length (FL) for yellowfin and bigeye, respectively. All remaining viscera were removed from the abdominal cavity to fully expose the swimbladder. Dimensions of inflated swimbladders, consisting of lengths and three width measurements (rostral, medial, and caudal) were measured with calipers to the nearest tenth of a millimeter. Representative photographs were taken of extracted livers and intact swimbladders over the size range of specimens for both species. White muscle samples were taken and stored in 95% ethanol.

Estimates of swimbladder volumes were computed from a geometrical reconstruction of the swimbladder based on measurements of its dimensions. Cross sections of the swimbladder were assumed to be elliptical, the rostral ends were assumed to be hemispheres, and the caudal ends were assumed to be ellipsoidal cones. Two rounded protrusions occur at the dorso-rostral end of the bladder of bigeye. Their volumes were computed by considering them to be hemispheres. The volumes of all the geometrical units were then summed to produce the estimates of the volume of the swimbladder.

## RESULTS

### *Morphology and anatomical characters*

Graphical displays of the data for 14 morphometric relationships and 2 internal anatomical relationships, by species and sex, indicated definite species differences, but no sexual dimorphism within species. Species differences were evaluated, for each of the morphometric and anatomical relationships, by fitting nonlinear regressions to the non-transformed data for females and males combined (Table 1). Growth of each morphometric or anatomical character was well described by one of the following functions:

$$Y_x = Y_{\infty} \exp[-e^{-K(x-x_*)}] \quad (1)$$

$$Y_x = Y_{\infty} [1 - (1 - m)e^{-K(x-x_*)}]^{1/(1-m)} \quad (2)$$

$$Y_x = ax^b \quad (3)$$

where  $Y_x$  = a size measurement at size  $x$ ;  $Y_\infty$  = the asymptotic size;  $x_*$  = the inflection point; and  $m$ ,  $K$ ,  $a$ , and  $b$  are parameters. Equation (1) is the Gompertz, (2) is the Richards, and (3) is the power function (Seber and Wild, 1989). Functions were selected based on the best fit with the fewest number of parameters according to an approximate F-ratio statistic (Schnute, 1981).

An approximate  $F$ -ratio statistic (Zar, 1974) was employed for testing the null hypothesis that species-specific regression functions, given in Table 1, are estimating the same population regression functions. None of the functions, except for distance from the origin of the pelvic fin to the origin of the anal fin *versus* FL, estimate the same population regression functions for yellowfin and bigeye tunas (Table 2).

The morphometric characters which are of practical value for distinguishing yellowfin and bigeye are: (1) head length *versus* FL (Figure 4); (2) eye diameter *versus* FL (Figure 5); (3) distance from origin of first dorsal fin to origin of pelvic fin *versus* FL (Figure 6); (4) pectoral fin length *versus* FL (Figure 7); (5) second dorsal fin length *versus* FL (Figure 8); and (6) anal fin length *versus* FL (Figure 9).

The total gill raker counts were significantly greater for yellowfin (mean = 30.38) than for bigeye (mean = 26.55) (ANOVA:  $F = 372.2$ ,  $P < 0.001$ ). However, some specimens of both species had total gill raker counts of 28 or 29 (Figure 10).

The morphologies of the livers of yellowfin and bigeye are very distinct (Figure 11). For yellowfin, the right lobe of the liver is considerably longer and narrower than the medial and left lobes, whereas for bigeye the medial lobe is slightly longer than the lateral lobes. Striations are absent on the liver of yellowfin, but present along the ventral edges of the lobes of bigeye. The regression functions for liver weight *versus* body weight (Figure 12) show an obvious difference for specimens greater than 50 kg, with the liver weight being significantly greater for yellowfin than for bigeye.

The morphologies of the swimbladders of yellowfin and bigeye are also distinct (Figure 13). In yellowfin, the inflated swimbladder, attached to the dorsal surface of the body cavity, extends from the rostral end posteriorly about half the length of the body cavity. In bigeye, the inflated swimbladder is noticeably larger, rounded at the rostral end, and tapering to a point at the caudal end of the body cavity. It is attached to the dorsal surface and extends along most of the length of the body cavity. The regression functions for swimbladder volume *versus* FL (Figure 14) show an obvious difference for specimens greater than 60 cm FL, with the swimbladder volume being significantly greater for bigeye than for yellowfin.

### Coloration

Although the overall coloration of yellowfin and bigeye appeared similar, both being dark blue to black dorsally and white ventrally, there were distinctive differences in the lateral markings which may be used for distinguishing specimens less than 46 cm FL. For yellowfin, there are prominent lateral markings on the body, consisting of narrow, closely-spaced, vertical, white stripes, usually alternating continuous lines and dotted lines, extending from below the origin of the pectoral fin to the caudal peduncle region (Figures 15, 17, 19). For bigeye, the lateral markings on the body consist of wider, relatively widely-spaced, vertical, white continuous stripes restricted primarily to the posterior half of the body (Figures 16, 18). Although this pattern was not apparent in the bigeye greater than 125 cm in length, the pattern described for yellowfin was apparent in all of the yellowfin.

## DISCUSSION

External morphological characters provide a rapid, non-invasive method for identification of yellowfin and bigeye greater than about 30 cm FL captured in the surface fishery of the EPO. Specific diagnostic features, which differ for specimens of different length intervals, should be utilized for identification and separation of these species.

For yellowfin 30-45 cm FL, the lateral markings on the body are prominent, consisting of narrow, closely-spaced, vertical, white stripes (Figure 15). These stripes consist of alternating continuous lines and dotted lines, extending from below the origin of the pectoral fin to the caudal peduncle. For fresh specimens, the tip of the pectoral fin is relatively wide and rounded. For bigeye 30-45 cm FL, the lateral markings on the body are not as densely spaced as in yellowfin, and instead consist of wider, relatively widely-spaced, vertical, white continuous stripes restricted primarily to the posterior half of the body, but sometimes extending from below the origin of the pectoral fin to the caudal peduncle (Figure 16). In fresh specimens, the tip of the pectoral fin is narrow and, when held down against the body, points ventrally. The lateral markings useful for distinguishing smaller specimens of yellowfin and bigeye tunas were previously reported to be a practical character to separate these species from about 30 to 50 cm FL in the western Pacific Ocean (Honma *et al.*, 1973) and 20 to 40 cm FL in the Philippines (Miyabe *et al.*, 1996).

For yellowfin 46-110 cm FL, the pectoral fin extends posteriorly no further than the middle of the base of the second dorsal fin (Figure 17). The overall shape of the body, particularly the posterior half, is elongate. For fresh specimens, the tip of the pectoral fin is relatively wide and rounded. For bigeye 46-110 cm FL, the pectoral fin extends beyond the posterior margin of the base of the second dorsal fin (Figure 18). The overall shape of the body is rotund, with a deeper body, larger head, and larger eyes than in yellowfin. For fresh specimens, the tip of the pectoral fin is narrow and, when held against the body, points ventrally.

For yellowfin greater than 110 cm FL, the second dorsal and anal fins are elongate, attaining lengths of 22-32% of fork length for specimens from 110-149 cm FL (Figure 19). The overall shape of the body is elongate, particularly the posterior half. For bigeye greater than 110 cm FL, the second dorsal and anal fins are not elongate and attain lengths of only 11-15% of FL for specimens from 110-138 cm FL (Figure 20). The overall shape of the body is rotund, with a deeper body, larger head, and larger eyes than in yellowfin.

Although the above external characters enable definitive separation of yellowfin and bigeye tunas, identifications can also be obtained by examining internal features in specimens of 30 cm FL or greater. For yellowfin, the inflated swimbladder extends from the rostral end posteriorly about half the length of the body cavity. In contrast, for bigeye, the inflated swimbladder is noticeably larger, and extends most of the length of the body cavity. Also, for yellowfin, the right lobe of the liver is much longer and narrower than the other two lobes, and the ventral surface of the liver is without striations. In contrast, for bigeye, the three lobes of the liver are of about equal length, although the middle lobe is often slightly longer than the lateral lobes. The edges of the ventral surface of the liver are striated, but this is not always easy to detect. Unfortunately, the widespread dissemination of information regarding the importance of ventral liver striations in distinguishing yellowfin and bigeye has, no doubt, added to confusion in identifying these two species.

Yellowfin and bigeye tunas are but two of the seven species in the genus *Thunnus* (Gibbs and Collette, 1967; Collette and Nauen, 1983). Members of this genus are characterized by dark blue dorsal surfaces (in dead specimens) with no longitudinal striping and whitish ventral surfaces with no black spots or longitudinal stripes. The two other members of this genus commonly found in the EPO, albacore, *Thunnus alalunga*, and northern bluefin, *Thunnus thynnus orientalis*, can be easily separated from yellowfin and bigeye by external appearance, primarily lengths and shapes of the pectoral fins. Northern bluefin has a very short pectoral fin, about 17% to 21% of FL, clearly separating it from the other three species (Gibbs and Collette, 1967). Albacore specimens greater than 50 cm FL have long pectoral fins, extending from about 30% to 45% of FL. The pectoral fin length in albacore, however, is less than in bigeye up to about 70 cm FL, and from 70 to 120 cm FL the lengths are about equal for those species (Gibbs and Collette, 1967). The greatest body depth in albacore, however, is at about the origin



of the base of the second dorsal fin or slightly anterior, whereas in yellowfin, bigeye, and bluefin the greatest body depth is more anterior, from about the middle to the origin of the first dorsal fin. Another diagnostic feature of albacore not seen in yellowfin, bigeye, or bluefin is the whitish posterior margin of the caudal fin (Collette and Nauen, 1983).

There are several morphological and anatomical differences in yellowfin and bigeye tunas which are obvious adaptations to the different habitats occupied by these two species. Holland *et al.* (1990), observed the horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tunas in waters around Hawaii, using ultrasonic transmitters. During the daytime, when not associated with FADs or the 40-fathom (73-m) contour, the yellowfin stayed near the bottom of the mixed layer (50-90 m), whereas bigeye occupied depths between 190 and 250 m, below the thermocline, in association with the 15°C isotherm. Analyses of oceanographic data in relation to longline catch data in the eastern, central, and western Pacific also indicated that the principal habitat of yellowfin is the mixed layer and the upper portion of the thermocline, with apparent preferred temperatures of 20°-30°C, whereas bigeye primarily inhabit deeper waters in and below the thermocline, with apparent preferred temperatures of 10°-15°C (Hanamoto, 1976; Suzuki *et al.*, 1977; Hanamoto, 1987).

The difference in the sizes of the swimbladders in bigeye and yellowfin (Figures 13 and 14, Table 2) is an obvious adaptation to the different depths which these two species commonly inhabit. The swimbladder functions as a hydrostatic organ, reducing the density of the fish relative to that of the surrounding water, and thus lowering energetic costs of locomotion (Magnuson, 1978). All perciform fishes, including these two species, are physoclistous, so inflation and deflation of the swimbladders are controlled by special structures which function in the secretion or resorption of gases from or to the blood (Alexander, 1993). Virtually nothing is known about inflation and deflation rates in swimbladders of tunas, but it would appear from studies of other fishes (Alexander, 1993) that swimbladder volume adjustments are extremely slow relative to the rapid swimming speeds during vertical forays by these species (Holland *et al.*, 1990). The lift provided by the volume of gas in the swimbladder is greatest near the surface because the pressure is less, and at greater depths the swimbladder volumes would be expected to be reduced in accord with Boyle's law (Alexander, 1993). A swimbladder needs to occupy about 5% of the volume of a typical marine fish to achieve neutral buoyancy (Alexander, 1993). From this study, swimbladder volumes for yellowfin of 10 kg, 25 kg, and 50 kg are estimated to be about 2%, 2%, and 1.5% of body volume, respectively. Using a presumably high value of 1.09 g/cm<sup>3</sup>, which was derived for small yellowfin (Magnuson, 1978), for the density of yellowfin 10 to 50 kg without their swimbladders, yellowfin with intact swimbladders are expected to be negatively buoyant at the sea surface in the region of this study, where the density of water is about 1.024 g/cm<sup>3</sup>. About 96% of their weight, however, would be opposed by buoyancy.

From this study, swimbladder volumes for bigeye of 10 kg, 25 kg, and 50 kg are estimated to be about 7%, 8%, and 8% of body volume, respectively. Given the same conservative value as that used for yellowfin for the density of bigeye 10 to 50 kg, without their swimbladders (Magnuson, 1978), bigeye with intact swimbladders are expected to be positively buoyant at the surface. In fact, dead specimens of bigeye tunas in excess of 10 kg captured in purse-seine nets in the Pacific are commonly seen floating, bellies up, prior to being loaded aboard vessels. Given the same assumptions for fish density, the depth at which bigeye greater than 10 kg are neutrally buoyant is estimated to be about 5 m. However, the depth of neutral buoyancy is most likely greater because a reduced density would be expected for bigeye (Magnuson, 1973), particularly for fish of this size range, due to greater buoyancy attributed to a higher fat content. Bigeye and yellowfin greater than 10 kg swimming at the depth of the thermocline in the region of this study, 40 to 100 m (Fiedler, 1992), would have about 95% and 94%, respectively, of their weight opposed by buoyancy. Densities of yellowfin and bigeye greater than 10 kg should be measured in the future. Both species are probably negatively buoyant within their typical depth distributions,

because of excess density, but have relatively large pectoral fins which function as hydrofoils for lift when swimming (Magnuson, 1978). The swimbladder volumes for these species are apparently adapted to optimize swimming performance and vertical mobility within their niches.

Relative shape and size of swimbladders in yellowfin and bigeye tunas was previously described (Godsil and Byers, 1944; Gibbs and Collette, 1967). Swimbladder volumes for 11 yellowfin specimens (44-82 cm FL) and 15 bigeye (50-59 cm FL) were also previously measured directly by displacement volumes and from geometrical reconstructions from radiographs, and the two techniques produced very similar estimates (Chang and Magnuson, 1968), providing credence to the estimated volumes in this study. Considering the importance of accurate measurements of density for predicted swimming speeds of these species (Magnuson, 1973, 1978) and the swimbladder volumes reported here, in contrast to previously reported extrapolated values for larger fish, theoretical estimates of sustained swimming speeds should be reassessed.

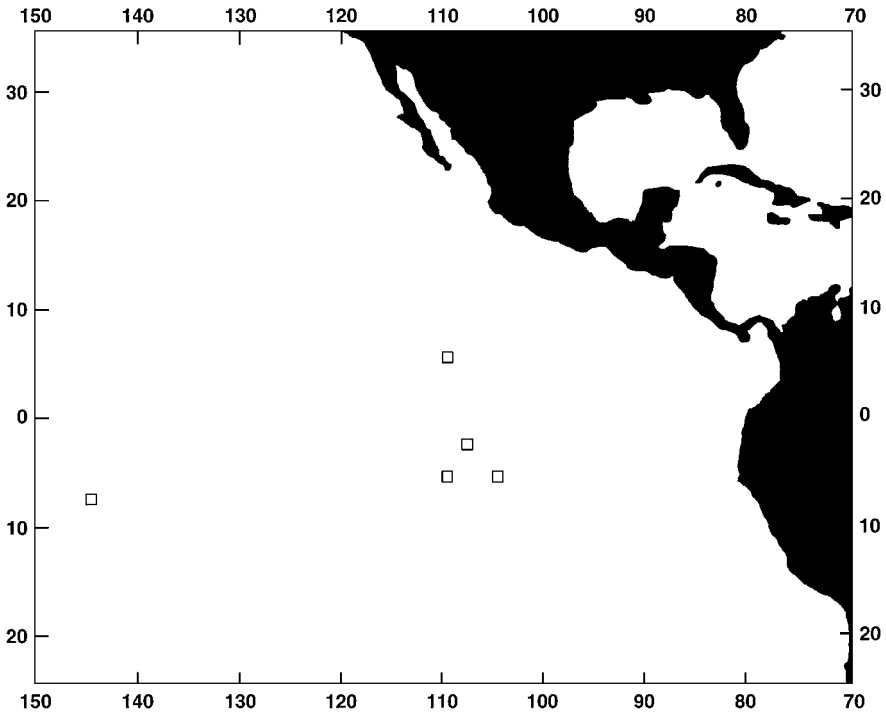
The livers of yellowfin and bigeye tunas are distinct in their anatomy, morphology, and growth (Figures 11 and 12, Table 2). Countercurrent heat exchangers are present as vascular cones on the dorsal surface of the livers of the four species of the subgenus *Thunnus*, bigeye, albacore, northern bluefin, and southern bluefin (*Thunnus maccoyii*), but absent in the subgenus *Neothunnus*, yellowfin, blackfin (*Thunnus atlanticus*), and longtail (*Thunnus tonggol*) (Collette, 1978). The striations which occur on the ventral surface of the bigeye liver are due to the presence of blood vessels involved in the countercurrent heat exchanger system. Those species of *Thunnus*, including bigeye, possessing visceral countercurrent heat exchangers tend to be distributed more in subtropical or temperate regions and/or inhabit deeper cooler waters than the other three species of *Thunnus* (Collette and Nauen, 1983). The visceral countercurrent heat exchangers in bigeye apparently function to speed digestive processes in cooler waters by significantly elevating visceral temperatures (Carey *et al.*, 1971). Physiological and behavioral thermoregulation in bigeye tuna enables it to expand its habitat and exploit food resources in deep cold waters below the thermocline and within the mixed layer (Holland and Sibert, 1994). The vascular countercurrent heat exchangers in the liver of bigeye tuna are a part of a highly-evolved circulatory system which conserves heat while the fish forage in cold waters.

Yellowfin and bigeye tunas are highly dependent on their vision for feeding (Tamura and Wisby, 1963). Their eyes are well adapted to maximize detection of important stimuli in their respective photic environments (Fernald, 1993). The eyes of yellowfin and bigeye are morphologically and anatomically distinct. As expected from the name, the diameter of the eye in bigeye is significantly greater than in yellowfin for specimens greater than 50 cm FL (Figure 5, Table 2). The larger eye and the presence of retinal tapetum lucidum (Kawamura *et al.*, 1981) increases the sensitivity and efficiency in vision for feeding at night and at depths where ambient light is extremely limited. Bioluminescent organisms, such as squids, are important prey items (King and Ikehara, 1956).

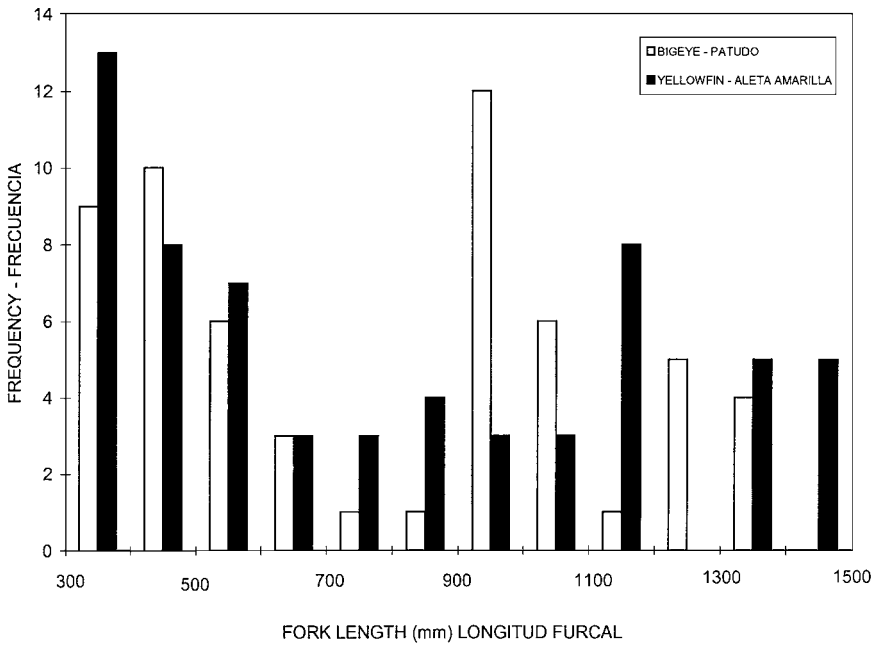
The morphological and anatomical relationships, along with the validated diagnostic features described in this study, assist identification of yellowfin and bigeye tunas in a fresh, frozen, or thawed state. The morphological characteristics described and compared in this study demonstrate some of the specialized adaptations in these two species to their respective environments. Further work on the comparative morphology of these species and other members of the Scombridae would help to elucidate more of the remarkable adaptations which are so evident within this highly-specialized, yet diverse, family of fishes.

**ACKNOWLEDGEMENTS**

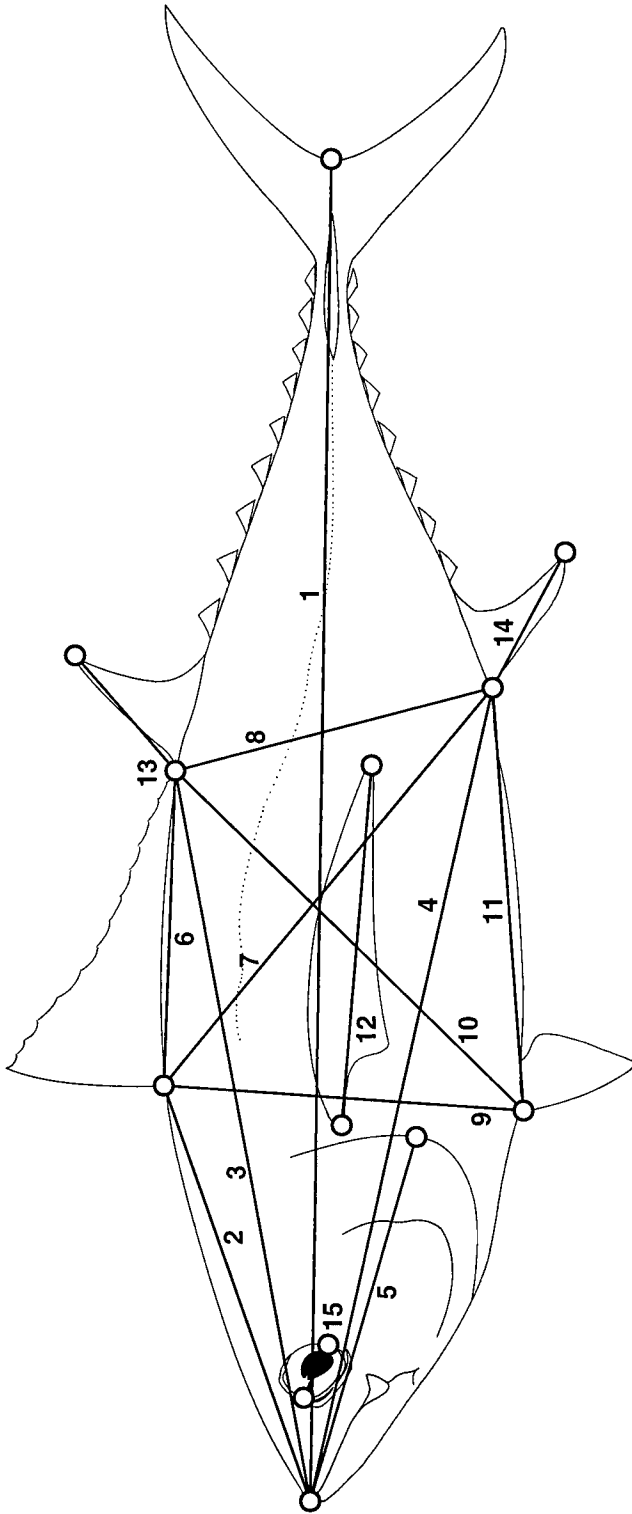
I gratefully acknowledge the Commissionís Director, James Joseph, Assistant Director, Robin Allen, and Chief Scientist of the Tuna-Billfish Program, Richard Deriso, for their encouragement and support of this investigation. I also acknowledge Seinen Chow, Berten Ely, and Peter Grewe for genetic confirmations of species identifications. I thank Juan Gracia at the IATTC field station in Mayaguez, PR, for his assistance with logistics and processing of specimens. I would like to thank the following individuals for reviews of drafts of this paper: William Bayliff, Bruce Collette, Richard Deriso, Geoffrey Moser, Robert Olson, and Nicholas Webb. A very special thanks to Kate Spencer for the scientific illustrations of yellowfin and bigeye tunas.



**FIGURE 1.** Sampling locations in the eastern Pacific Ocean for yellowfin and bigeye tunas.  
**FIGURA 1.** Zonas de muestreo de atunes aleta amarilla y patudo en el Océano Pacífico oriental.

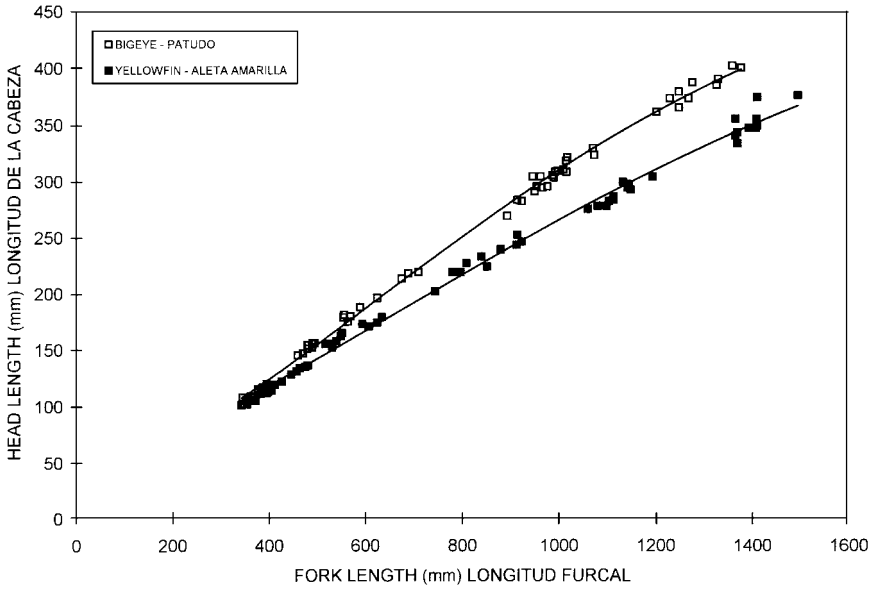


**FIGURE 2.** Length distributions of yellowfin and bigeye tunas sampled.  
**FIGURA 2.** Distribuciones de longitud de atunes aleta amarilla y patudo muestreados.

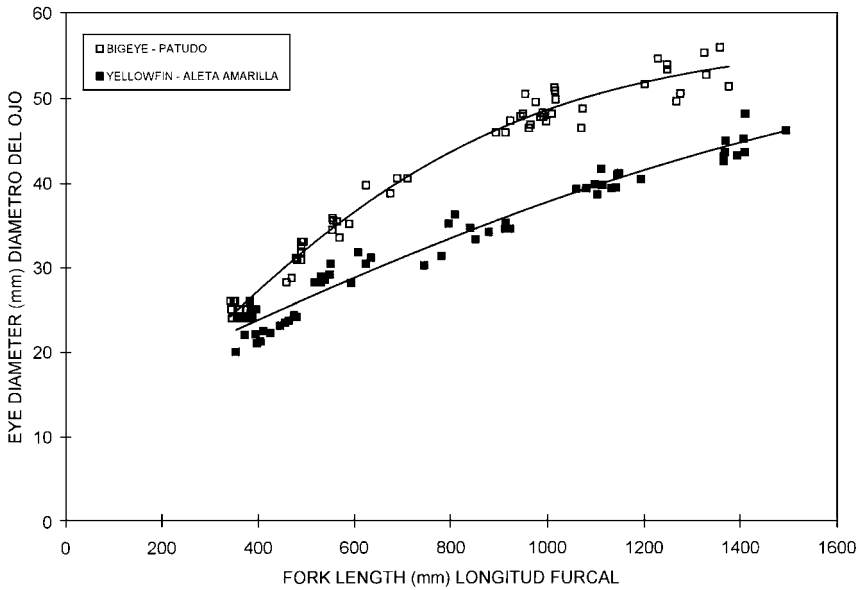


**FIGURE 3.** Morphometric characters used for comparative analyses of yellowfin and bigeye tunas. 1) FL: fork length; 2) SFD: snout to origin of first dorsal fin; 3) SSD: snout to origin of second dorsal fin; 4) SAF: snout to origin of anal fin; 5) HL: head length; 6) FDSD: origin of first dorsal fin to origin of second dorsal fin; 7) FADF: origin of first dorsal fin to origin of anal fin; 8) SDAF: origin of second dorsal fin to origin of anal fin; 9) FDPF: origin of first dorsal fin to origin of pelvic fin; 10) SDPF: origin of second dorsal fin to origin of pelvic fin; 11) PFAF: origin of pelvic fin to origin of anal fin; 12) PFL: pectoral fin length; 13) SDFL: second dorsal fin length; 14) AFL: anal fin length; 15) ED: eye diameter.

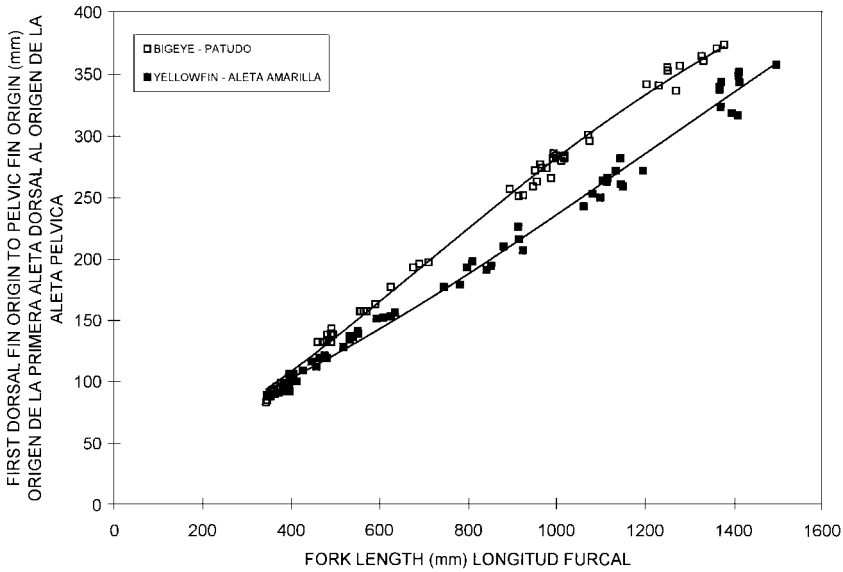
**FIGURA 3.** Caracteres morfométricos usados para análisis comparativos de atunes amarilla y patudo. 1) FL: longitud furcal; 2) SFD: hocico a origen de la primera aleta dorsal; 3) SSD: hocico a origen de la segunda aleta dorsal; 4) SAF: hocico a origen de la aleta anal; 5) HL: longitud de la cabeza; 6) FDSD: origen de la primera aleta dorsal al origen de la segunda aleta dorsal; 7) FADF: origen de la primera aleta dorsal al origen de la aleta anal; 8) SDAF: origen de la segunda aleta dorsal al origen de la aleta anal; 9) FDPF: origen de la primera aleta dorsal al origen de la aleta pélvica; 10) SDPF: origen de la segunda aleta dorsal al origen de la aleta pélvica; 11) PFAF: origen de la aleta pélvica al origen de la aleta anal; 12) PFL: longitud de la aleta pectoral; 13) SDFL: longitud de la segunda aleta dorsal; 14) AFL: longitud de la aleta anal; 15) ED: diámetro del ojo.



**FIGURE 4.** Relationships between head length and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the Gompertz equation (equation 1) and the model parameters given in Table 1.  
**FIGURA 4.** Relaciones entre longitud de la cabeza y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la ecuación de Gompertz (ecuación 1) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.

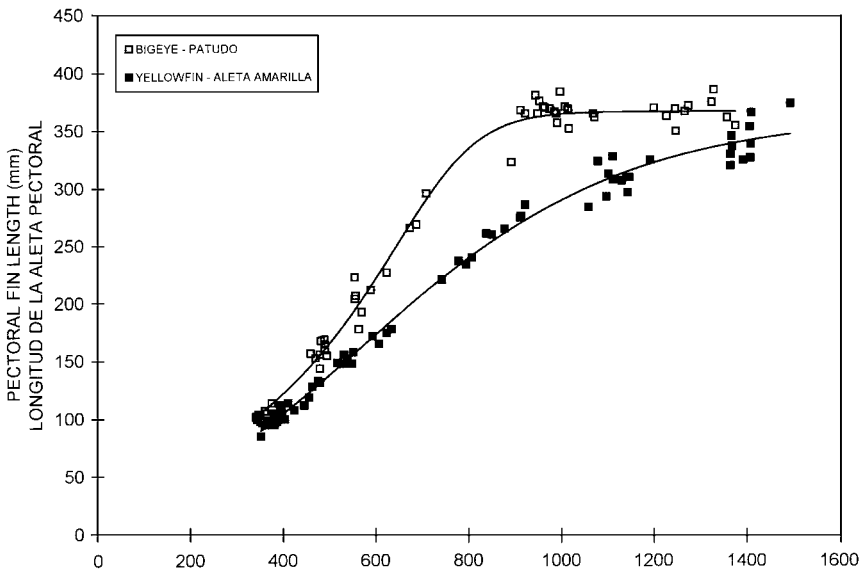


**FIGURE 5.** Relationships between eye diameter and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the Gompertz equation (equation 1) and the model parameters given in Table 1.  
**FIGURA 5.** Relaciones entre diámetro del ojo y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la ecuación de Gompertz (ecuación 1) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



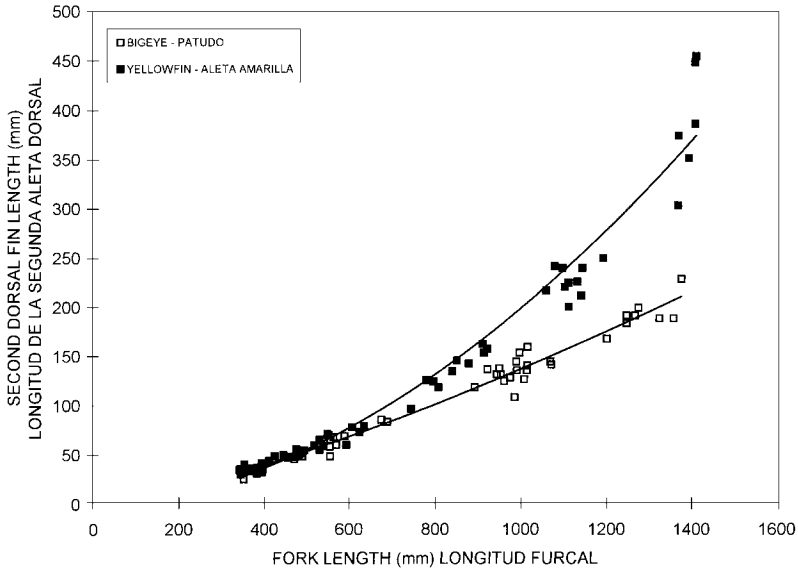
**FIGURE 6.** Relationships between first dorsal fin origin to pelvic fin origin and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the Gompertz equation (equation 1) and the model parameters given in Table 1.

**FIGURA 6.** Relaciones entre origen de la primera aleta dorsal y origen de la aleta pélvica y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la ecuación de Gompertz (ecuación 1) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



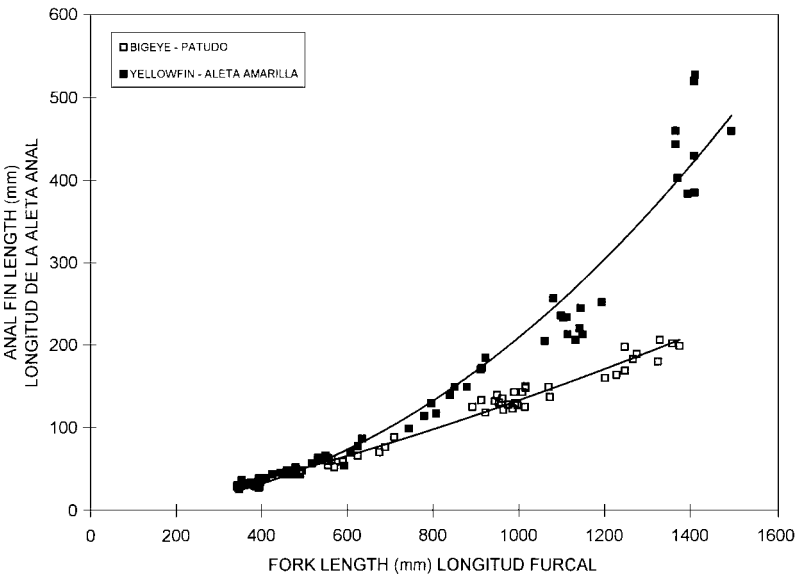
**FIGURE 7.** Relationships between pectoral fin length and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the Richards equation (equation 2) and the model parameters given in Table 1.

**FIGURA 7.** Relaciones entre longitud de la aleta pectoral y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la ecuación de Richards (ecuación 2) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



**FIGURE 8.** Relationships between second dorsal fin length and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the power function (equation 3) and the model parameters given in Table 1.

**FIGURA 8.** Relaciones entre longitud de la segunda aleta dorsal y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la función de potencia (ecuación 3) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



**FIGURE 9.** Relationships between anal fin length and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the power function (equation 3) and the model parameters given in Table 1.

**FIGURA 9.** Relaciones entre longitud de la aleta anal y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la función de potencia (ecuación 3) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



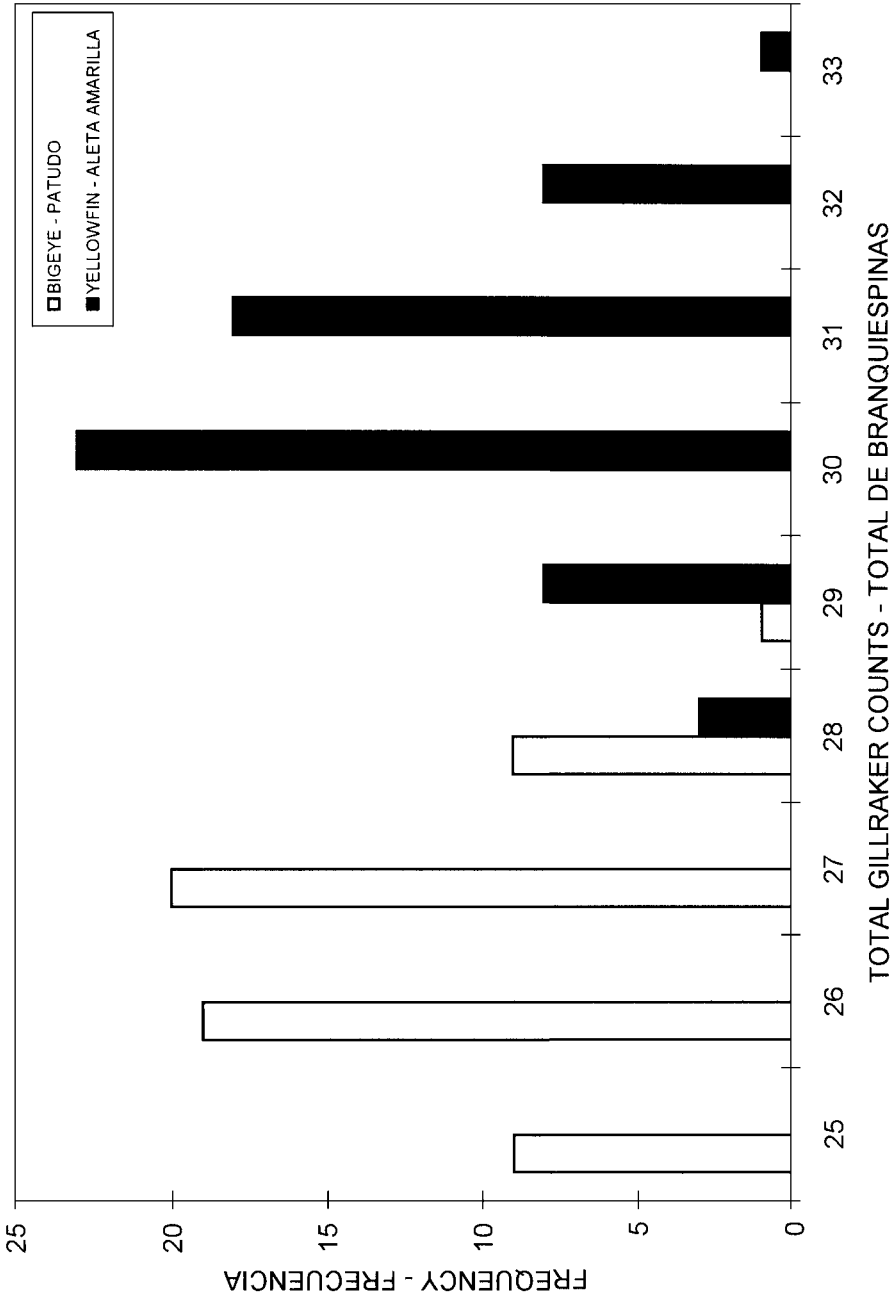
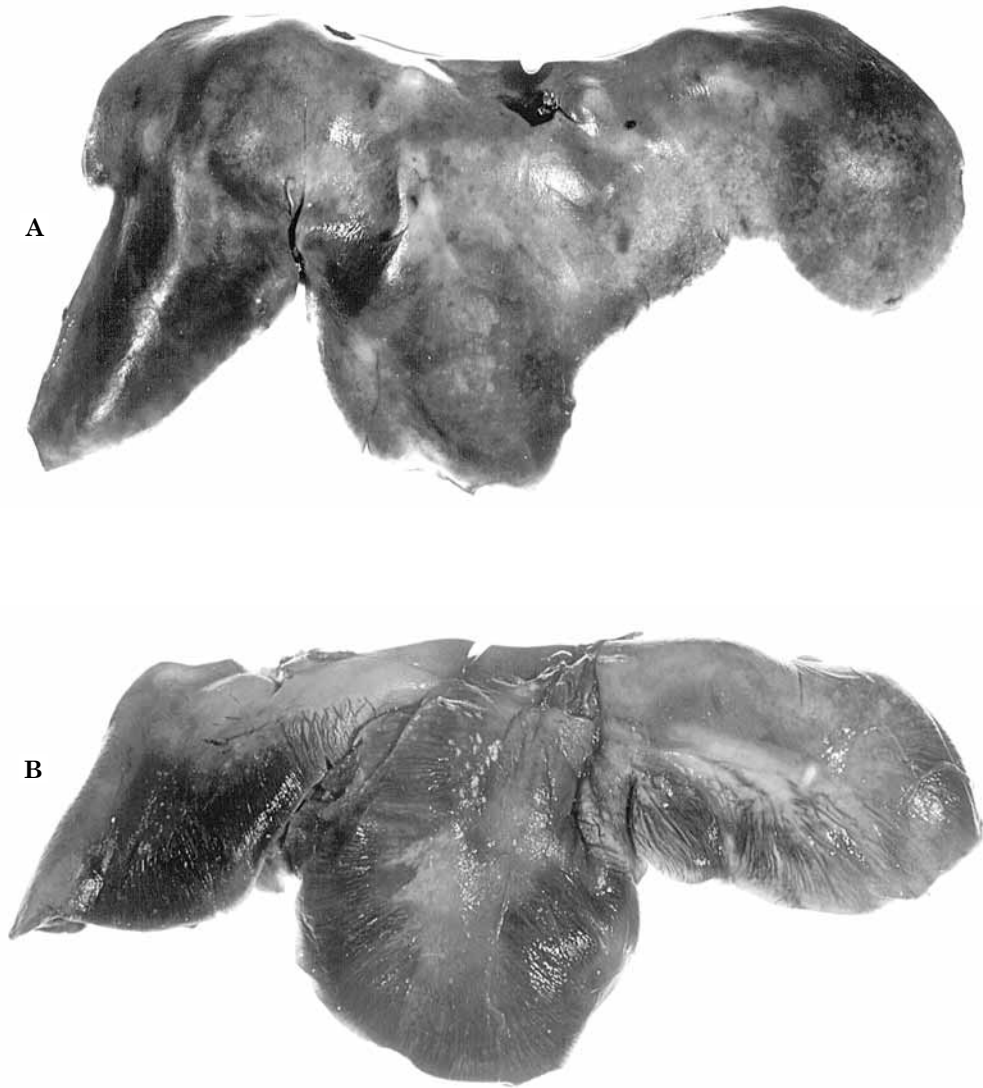
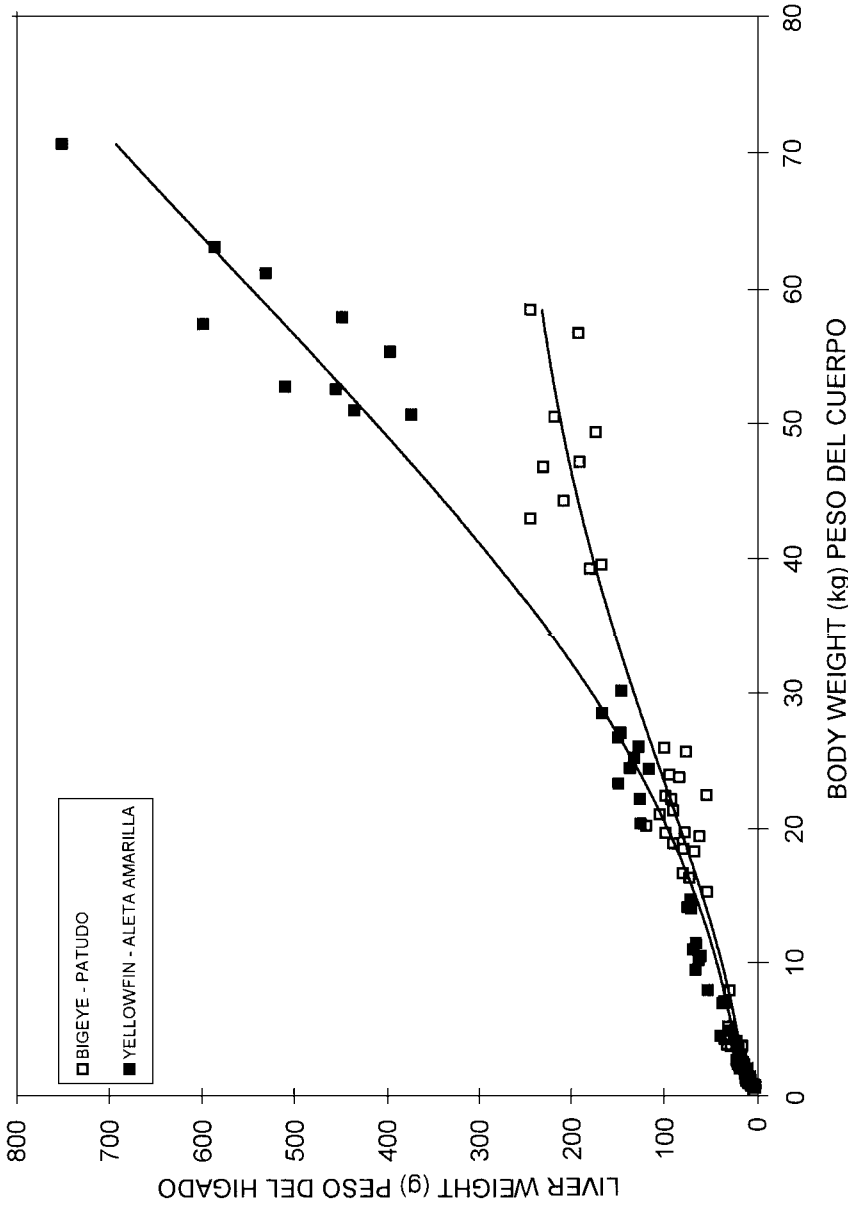


FIGURE 10. Total gillraker count distributions for yellowfin and bigeye tunas.

FIGURA 10. Distribuciones de los conteos totales de branquespinas para atunes aleta amarilla y patudo.

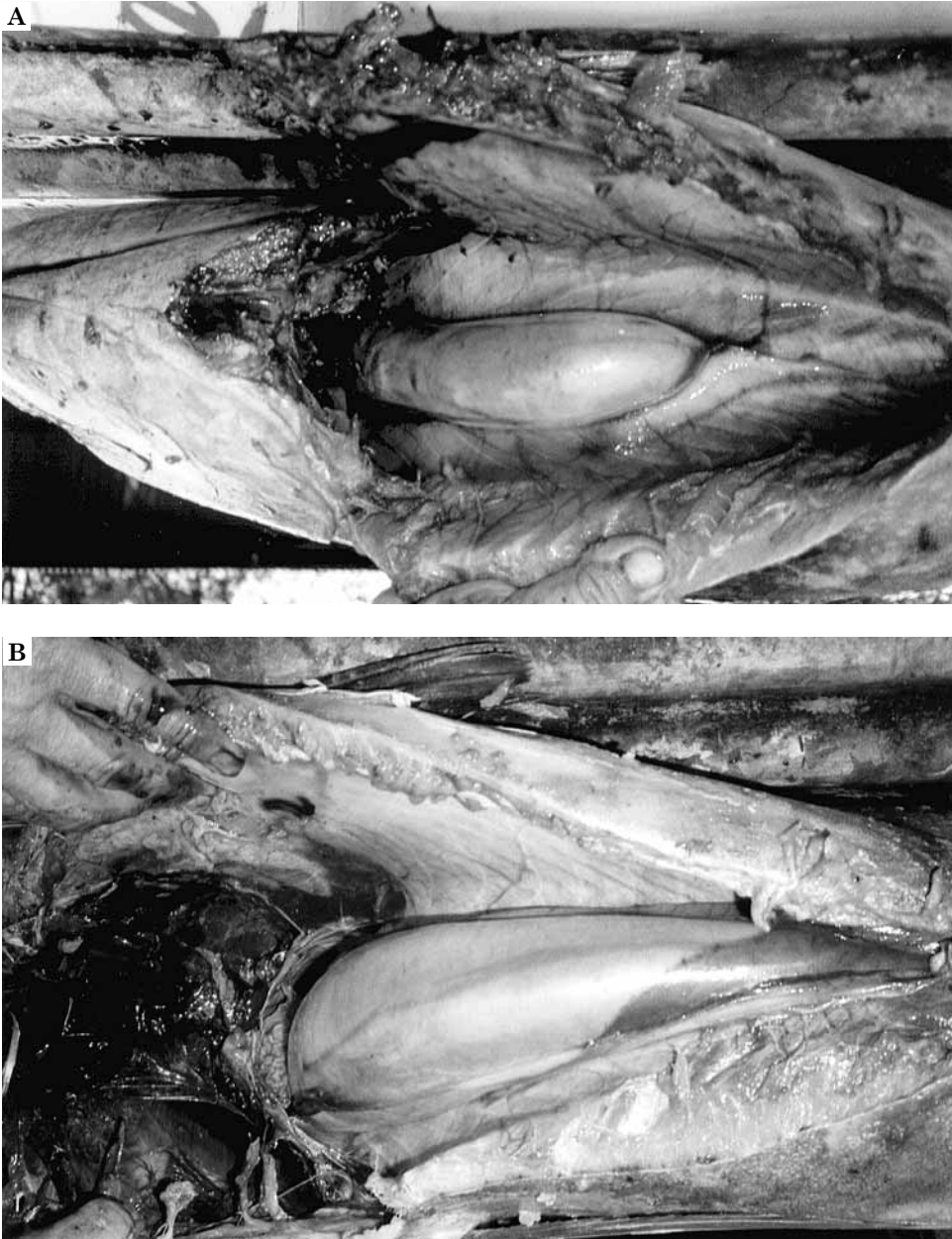


**FIGURE 11.** Ventral views of livers of : A) yellowfin and B) bigeye, for fish of about 100 cm FL.  
**FIGURA 11.** Aspecto ventral del hígado de: A) aleta amarilla y B) patudo, para peces de unos 100 cm LF.



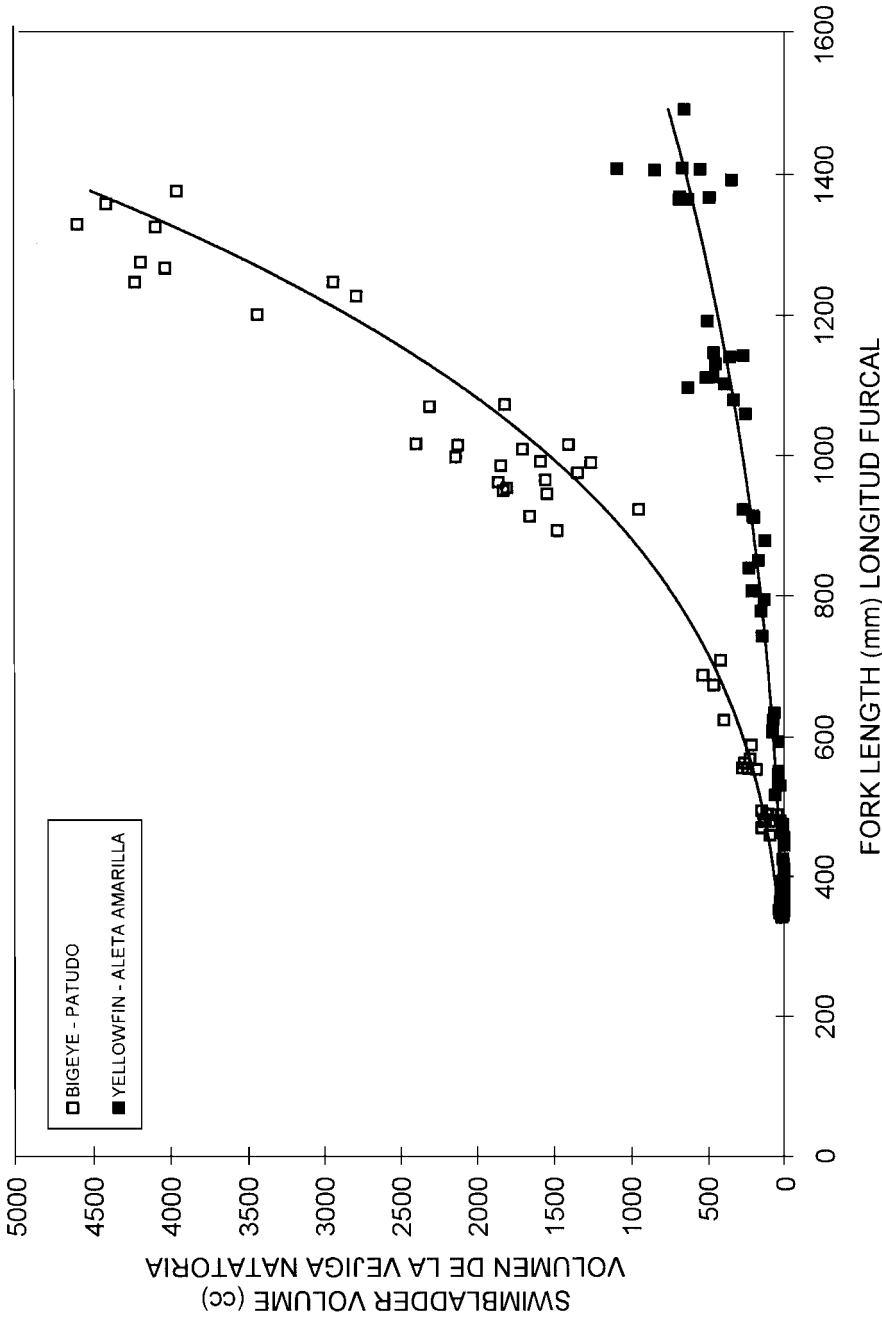
**FIGURE 12.** Relationships between liver weight and body weight for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the Gompertz equation (equation 1) and the model parameters given in Table 1.

**FIGURA 12.** Relaciones entre peso del hígado y peso del cuerpo para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la ecuación de Gompertz (ecuación 1) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



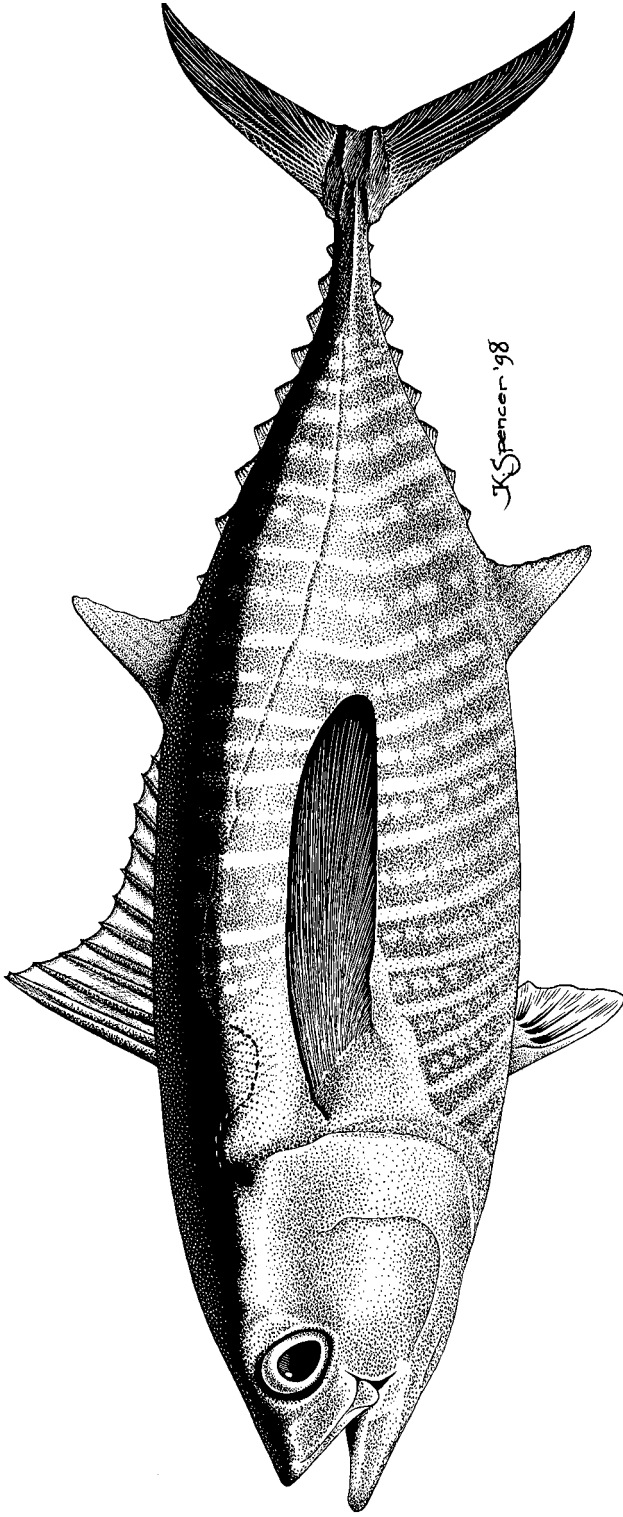
**FIGURE 13.** Swimbladders of: A) yellowfin and B) bigeye, for fish of about 100 cm FL.

**FIGURA 13.** Vejiga natatoria de: A) aleta amarilla y B) patudo, para peces de unos 100 cm LF.

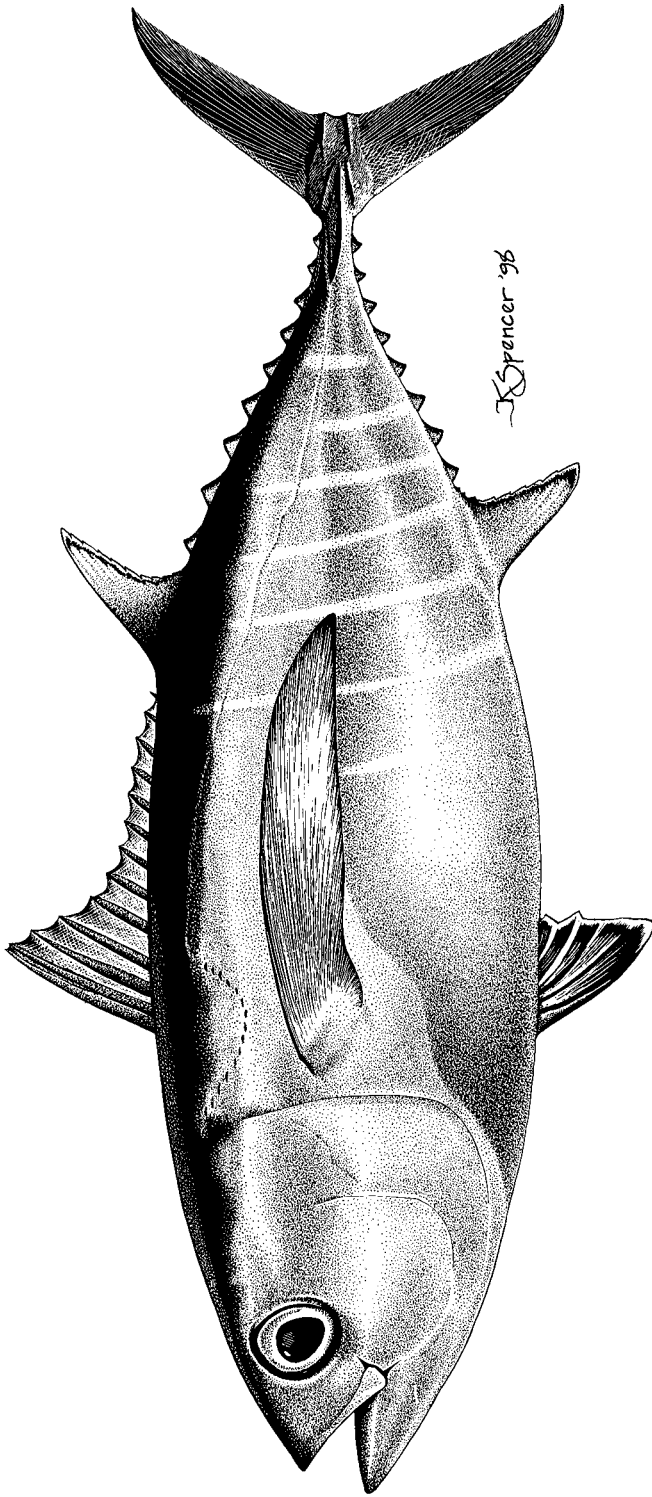


**FIGURE 14.** Relationships between swimbladder volume and fork length for yellowfin and bigeye tunas. The fitted lines are for the power function (equation 3) and the model parameters given in Table 1.

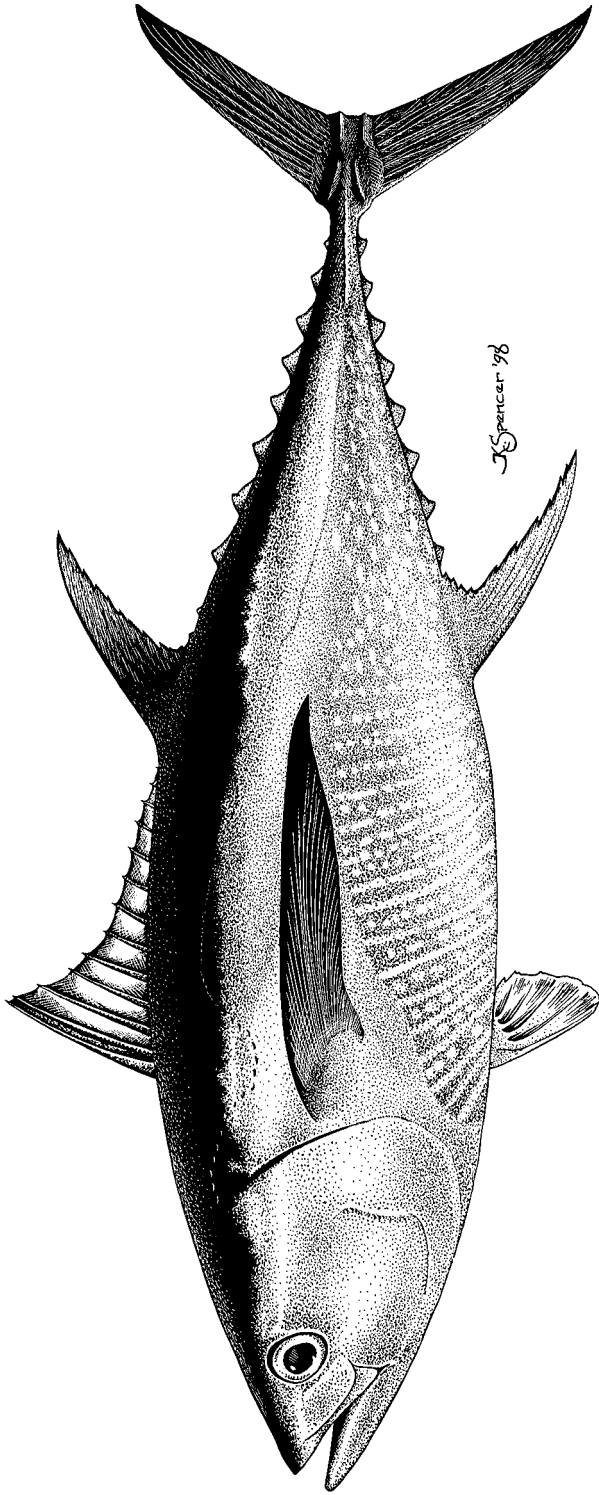
**FIGURA 14.** Relaciones entre volumen de la vejiga natatoria y longitud furcal para atunes aleta amarilla y patudo. Las líneas ajustadas corresponden a la función de potencia (ecuación 3) y los parámetros del modelo presentados en la Tabla 1.



**FIGURE 15.** Composite illustration of an eastern Pacific yellowfin of about 40 cm FL.  
**FIGURA 15.** Ilustración compuesta de un aleta amarilla del Pacífico oriental de unos 40 cm LF.

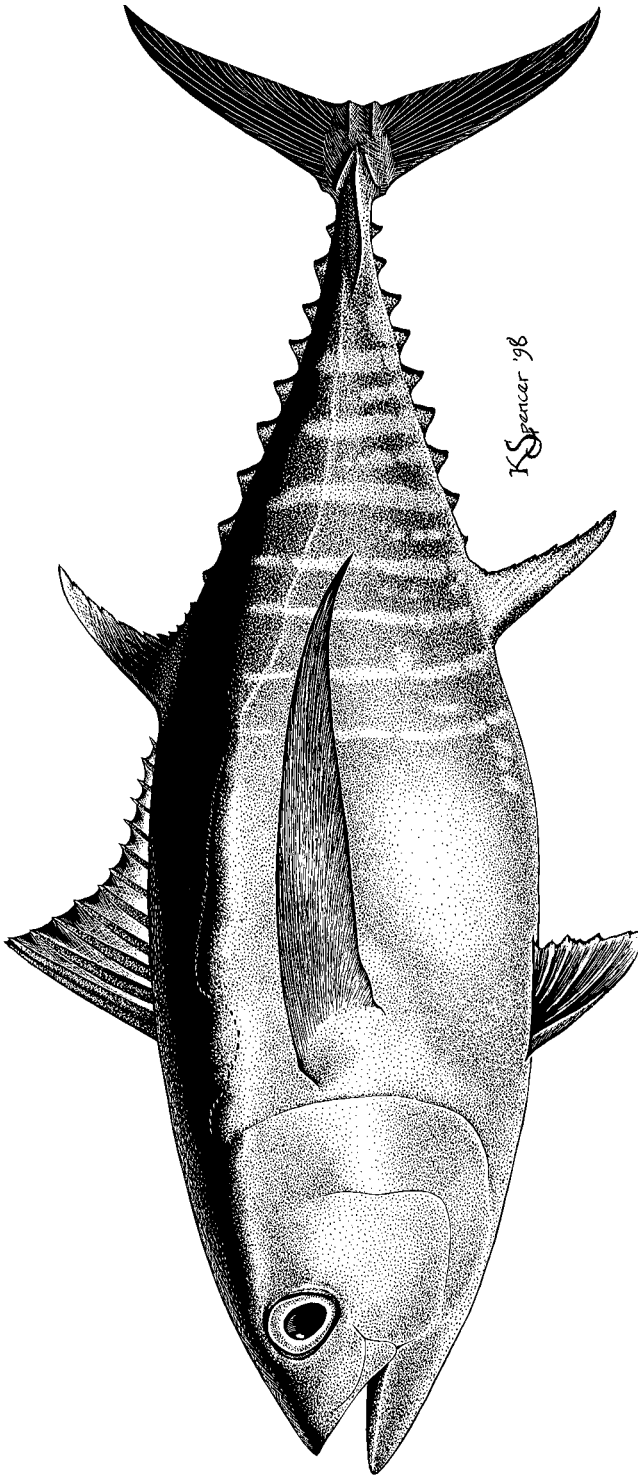


**FIGURE 16.** Composite illustration of an eastern Pacific bigeye of about 40 cm FL.  
**FIGURA 16.** Ilustración compuesta de un patudo del Pacífico oriental de unos 40 cm LF.

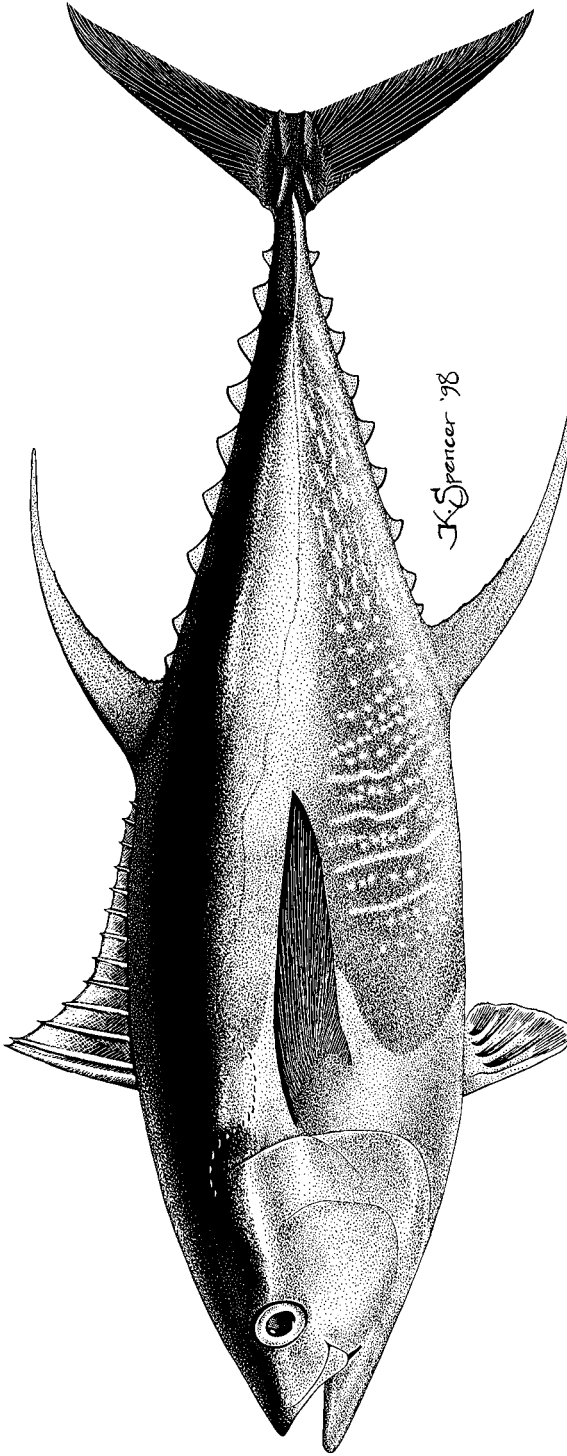


**FIGURE 17.** Composite illustration of an eastern Pacific yellowfin of about 80 cm FL.  
**FIGURA 17.** Ilustración compuesta de un aleta amarilla del Pacífico oriental de unos 80 cm LF.

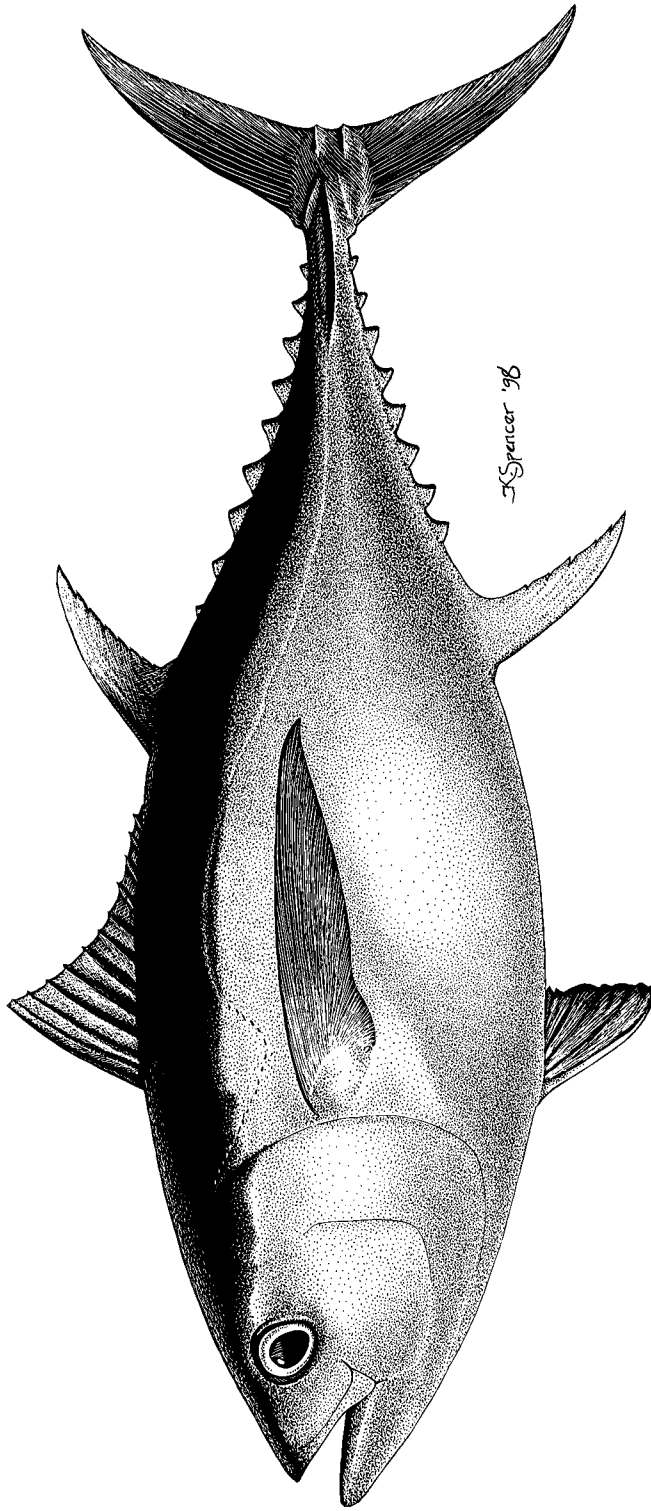




**FIGURE 18.** Composite illustration of an eastern Pacific bigeye of about 80 cm FL.  
**FIGURA 18.** Ilustración compuesta de un patudo del Pacífico oriental de unos 80 cm LF.



**FIGURE 19.** Composite illustration of an eastern Pacific yellowfin of about 130 cm FL.  
**FIGURA 19.** Ilustración compuesta de un aleta amarilla del Pacífico oriental de unos 130 cm LF.



**FIGURE 20.** Composite illustration of an eastern Pacific bigeye of about 130 cm FL.  
**FIGURA 20.** Ilustración compuesta de un patudo del Pacífico oriental de unos 130 cm LF.

**TABLE 1.** Regression model parameters for external and internal morphometric relationships of yellowfin (YFT) and bigeye (BET) tunas (Gompertz =1; Richards = 2; and Power function = 3). The definition for the abbreviation cv is the coefficient of variation, and pseudo r<sup>2</sup> is a measure of the sample coefficient of determination. The definitions for the abbreviations used for characters are given in the legend for Figure 3, except for LW (liver weight) and SBV (swimbladder volume).

**TABLA 1.** Parámetros del modelo de regresión para relaciones morfológicas externas e internas de atunes alata amarilla (YFT) y patudo (BET) (Gompertz =1; Richards = 2; función de potencia = 3). cv = coeficiente de variación, y pseudo r<sup>2</sup> es una medida del coeficiente de determinación de la muestra. En la leyenda de la Figura 3 se explican las siglas usadas para los caracteres, excepto LW (peso del hígado) y SBV (volumen de la vejiga natatoria).

Character	Species	Model	Y <sub>∞</sub>		K		X <sub>s</sub>		Pseudo r <sup>2</sup>		n
Carácter	Especie	Modelo	cv	Modelo	cv	Modelo	cv	Modelo	cv	Modelo	
SFD	YFT	1	702.751887	0.078	0.001075	0.084	859.829343	0.091	0.99	0.99	62
SFD	BET	1	542.793306	0.027	0.001701	0.044	589.048390	0.031	0.99	0.99	58
SSD	YFT	1	1319.863148	0.070	0.001053	0.069	929.470226	0.077	0.99	0.99	62
SSD	BET	1	1048.756337	0.025	0.001496	0.033	669.168763	0.027	0.99	0.99	58
SAF	YFT	1	1512.505364	0.058	0.001031	0.056	966.065447	0.062	0.99	0.99	62
SAF	BET	1	1201.066007	0.024	0.001441	0.030	698.091200	0.027	0.99	0.99	58
HL	YFT	1	524.556750	0.041	0.001302	0.053	703.613573	0.049	0.99	0.99	62
HL	BET	1	536.271518	0.013	0.001637	0.012	631.647382	0.028	0.99	0.99	58
FSD	YFT	1	637.739062	0.111	0.001052	0.105	976.544662	0.115	0.99	0.99	62
FSD	BET	1	615.918227	0.076	0.001191	0.076	873.863958	0.078	0.99	0.99	58
FDAF	YFT	1	1132.102038	0.088	0.000942	0.078	1108.410236	0.088	0.99	0.99	62
FDAF	BET	1	881.227199	0.045	0.001267	0.049	803.269300	0.048	0.99	0.99	58
SDAF	YFT	1	1062.839132	0.179	0.000746	0.115	1534.211542	0.149	0.99	0.99	62
SDAF	BET	1	599.769556	0.052	0.001202	0.052	866.805933	0.053	0.99	0.99	58
FDPF	YFT	1	764.617717	0.122	0.000893	0.097	1178.182955	0.118	0.99	0.99	62
FDPF	BET	1	529.825230	0.035	0.001545	0.046	697.879279	0.037	0.99	0.99	58
SDPF	YFT	1	1219.348806	0.129	0.000851	0.097	1276.252488	0.119	0.99	0.99	62
SDPF	BET	1	783.816886	0.040	0.001341	0.044	774.296202	0.042	0.99	0.99	58
PEAF	YFT	1	925.922981	0.103	0.000955	0.086	1122.774716	0.099	0.99	0.99	62
PEAF	BET	1	726.809129	0.079	0.001181	0.078	878.160371	0.081	0.99	0.99	58

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

Character	Species	Model	$Y_{\infty}$	$K$	cv	$X_*$	cv	$m$	cv	$\frac{\text{Pseudo } r^2}{\text{Seudo } r^2}$	$n$
Carácter	Especie	Modelo									
PPL	YFT	2	363.463078	0.031	0.003287	568.912304	0.182	1.500857	0.294	0.99	62
PPL	BET	2	366.156346	0.005	0.014229	648.007412	0.267	5.568947	0.275	0.99	58
ED	YFT	1	60.193951	0.096	0.001142	334.634066	0.178		0.223	0.96	62
ED	BET	1	57.149117	0.021	0.002531	281.388322	0.073		0.030	0.98	58
LW	YFT	1	1469.497345	0.008	0.025438	59.545409	0.026		0.009	0.98	62
LW	BET	1	276.354538	0.082	0.048925	24.055898	0.132		0.094	0.95	55
Character	Species	Model	$a$	$b$	cv	$\frac{\text{Pseudo } r^2}{\text{Seudo } r^2}$	cv	$n$			
Carácter	Especie	Modelo									
SDFL	YFT	3	0.000570	1.847382	0.257	0.99	0.020	57			
SDFL	BET	3	0.011567	1.357429	0.245	0.98	0.026	58			
AFL	YFT	3	0.000133	2.065223	0.363	0.99	0.025	61			
AFL	BET	3	0.008974	1.389321	0.228	0.98	0.024	58			
SBV	YFT	3	0.000006	2.551602	1.548	0.87	0.086	62			
SBV	BET	3	0.0000001	3.395095	0.856	0.99	0.035	58			

**TABLE 2.** Statistical comparisons of whether the regression functions for yellowfin and bigeye tunas, for the anatomical character indicated in Table 1, estimate the same regression function. The definitions for the abbreviations used for characters are given in the legend for Figure 3, except for LW (liver weight) and SBV (swimbladder volume).

**TABLA 2.** Comparaciones estadísticas de si las funciones de regresión para los atunes aleta amarilla y patudo, para el carácter anatómico indicado en la Tabla 1, estiman la misma función de regresión. En la leyenda de la Figura 3 se explican las siglas usadas para los caracteres, excepto LW (peso del hígado) y SBV (volumen de la vejiga natatoria).

Character—Carácter	<i>F</i>	<i>P</i>
SFD	53.02	<0.0005
SSD	60.65	<0.0005
SAF	88.07	<0.0005
HL	266.20	<0.0005
FSD	22.95	<0.0005
FDAF	37.19	<0.0005
SDAF	15.07	<0.0005
FDPF	158.13	<0.0005
SDPF	31.68	<0.0005
PFAF	1.02	>0.25
PFL	91.21	<0.0005
SDFL	111.33	<0.0005
AFL	134.20	<0.0005
ED	208.30	<0.0005
LW	491.96	<0.0005
SBV	397.13	<0.0005

# ESTUDIO COMPARATIVO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS ATUNES ALETA AMARILLA (*THUNNUS ALBACARES*) Y PATUDO (*THUNNUS OBESUS*)

por

Kurt M. Schaefer

## RESUMEN

Se presenta una comparación cuantitativa de algunos caracteres morfológicos externos y anatómicos internos de dos escómbridos, el atún patudo, *Thunnus obesus*, y el atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*. Se describen e ilustran las marcas externas. Se evaluaron catorce caracteres externos y dos internos para 62 aletas amarillas y 58 patudos de entre 35 y 150 cm de largo, ajustando regresiones no lineales a los datos no transformados para cada especie. Estadísticas aproximadas de cociente *F* indican que todas las funciones de regresión emparejadas comparadas excepto una fueron significativamente diferentes para estas dos especies. Varias diferencias externas morfológicas y de coloración pueden ser utilizadas para distinguir estas especies en todo el rango de tamaños capturados en la pesquería de superficie del Océano Pacífico oriental. Las características diagnósticas consideradas las más prácticas para la separación de especímenes de aleta amarilla y patudo en tres clases de longitud son: 30-45 cm, el patrón de marcas laterales; 46-110 cm, la longitud de las aletas pectorales en relación con el margen posterior de la base de la segunda aleta dorsal; y mayores de 110 cm, la longitud de las aletas segunda dorsal y anal. Se considera el significado funcional de algunas diferencias anatómicas en relación con diferencias de hábitat entre los atunes aleta amarilla y patudo.

**Key words:** ANATOMY, BIGEYE TUNA, COLORATION, EASTERN PACIFIC OCEAN, IDENTIFICATION, MORPHOMETRY, *THUNNUS ALBACARES*, *THUNNUS OBESUS*, YELLOWFIN TUNA

## INTRODUCCION

Las capturas anuales estimadas de atún patudo, *Thunnus obesus*, en los Océanos Pacífico, Atlántico, e Índico combinados se han cuadruplicado en los últimos 40 años (Bayliff, 1998: Tabla 13). De interés particular para la CIAT es la captura de atún patudo por la pesquería de superficie del Océano Pacífico oriental (OPO), que ha aumentado de un promedio anual estimado de unas 5 mil toneladas métricas durante 1964-1993 a unas 52 mil toneladas métricas en 1996, como resultado del aumento en el esfuerzo de pesca sobre cardúmenes de atunes asociados con palos y objetos flotantes artificiales ('plantados') al sur de 5°N (Bayliff, 1998: 259-260). Las estimaciones de las capturas y descargas de atunes se basan en registros de bitácora de buques y estadísticas de descargas en plantas enlatadoras (Tomlinson *et al.*, 1992). Desgraciadamente, discriminar entre atunes aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y patudo ha sido problemático. Además, hay poco incentivo económico para documentar con precisión por separado los tonelajes de aleta amarilla y patudo capturados y descargados por la pesquería de superficie, ya que generalmente se paga el mismo precio por las dos especies.

Para la evaluación de stocks de atunes es imprescindible que sean precisas las bases de datos de las cuales se derivan las estimaciones de capturas y descargas. Los registros de bitácora podrían estar sesgados con respecto a las capturas de patudo debido a que no se reportaran los tonelajes cargados, o a que los que sí se reportaron fueran demasiado bajos o hasta demasiado altos. Mejorar las estimaciones de capturas y descargas de atún patudo requiere un muestreo de la composición por especies por observadores en el mar y/o durante la descarga. Para este propósito, es necesario que los observadores a bordo de buques pesqueros de cerco y técnicos responsables del muestreo en puerto conozcan las características diagnósticas para distinguir estas especies. Estos conocimientos podrían ser de interés para la industria también.

Aunque existe cierta información valiosa sobre las diferencias morfológicas entre los atunes aleta amarilla y patudo (Godsil y Byers, 1944; Gibbs y Collette, 1967; Honma *et al.*, 1973), no hay ninguna descripción cuantitativa de las características diagnósticas que permiten distinguir con confianza entre las dos especies en todo el rango de tamaños capturados en la pesquería de superficie del OPO. Los objetivos de este estudio son: (1) comparar algunas de las características morfológicas de los atunes aleta amarilla y patudo en todo el rango de tamaños capturados en la pesquería de superficie del OPO; y (2) definir características diagnósticas que se puedan usar para separar rápidamente especímenes frescos, congelados, o descongelados de estas dos especies.

### **MATERIALES Y METODOS**

Los especímenes utilizados en este estudio fueron capturados por buques cerqueros pescando cerca de plantados en cinco zonas (Figura 1) entre julio de 1996 y enero de 1997. Se mantuvieron congelados 62 especímenes de aleta amarilla (de 353 a 1493 mm) y 58 de patudo (de 342 a 1375 mm) (Figura 2), seleccionados durante la descarga, y luego se descongelaron antes de examinarlos. Se basaron identificaciones provisionales de las especies en la morfología del hígado (Gibbs y Collette, 1967). Se usó análisis de ADN mitocondrial, que proporciona perfiles de restricción diagnósticos de especies de *Thunnus* (Chow e Inoue, 1993), para confirmar las identificaciones de especies (Seinen Chow, National Research Institute of Far Seas Fisheries, Japón; Berten Ely, Universidad de Carolina del Sur, EE.UU.; y Peter Grew, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia; com. pers.).

En primer lugar se examinó cada espécimen para determinar la coloración y marcas distintivas. Se pesaron los peces enteros en una báscula de plataforma a la onza (28,35 g) más cercana. Se midieron 15 dimensiones del cuerpo (Figura 3) con calibre al milímetro más cercano, excepto el diámetro del ojo, medido a la décima de milímetro más cercana. Se extrajo el primer arco branquial en el lado izquierdo de cada espécimen y se contaron las branquiespinas. Se abrió cada espécimen con un corte desde el ano hasta el istmo para exponer completamente la cavidad abdominal. Se examinó y extrajo el hígado, y se pesó en una báscula electrónica a la décima de gramo más cercana. Se extrajeron las gónadas y se determinó el sexo, con base en un examen general, para la mayoría de los especímenes de más de 50 ó 70 cm de longitud furcal (LF) para el aleta amarilla y patudo, respectivamente. Se extrajeron todas las vísceras restantes de la cavidad abdominal para dejar la vejiga natatoria completamente expuesta. Se midieron las dimensiones (longitud y tres anchuras, rostral, media, y caudal) de la vejiga natatoria inflada con calibre a la décima de milímetro más cercana. Se tomaron fotografías representativas de los hígados extraídos y de vejigas natatorias intactas de ambas especies sobre todo el rango de tamaños de los especímenes. Se tomaron muestras de músculo blanco y se conservaron en etanol al 95%.

Se computaron estimaciones del volumen de la vejiga natatoria a partir de una reconstrucción geométrica de la vejiga natatoria basada en mediciones de sus dimensiones. Se supuso que las secciones transversales de la vejiga natatoria eran elípticas, que los extremos rostrales eran hemisféricos, y que los extremos caudales eran conos elipsoides. En el patudo ocurren dos protuberancias redondeadas en el extremo dorsorostral de la vejiga natatoria; se calcularon los volúmenes de los mismos suponiendo que eran hemisféricos. Se sumaron los volúmenes de todas las unidades geométricas para obtener las estimaciones del volumen de la vejiga natatoria.

### **RESULTADOS**

#### ***Morfología y caracteres anatómicos***

Visualizaciones gráficas de los datos para 14 relaciones morfométricas y 2 relaciones anatómicas internas, por especie y sexo, indicaban diferencias claras entre especies, pero ningún dimorfismo sexual dentro de especies. Se evaluaron las diferencias entre especies para cada una de las relaciones



morfométricas y anatómicas, ajustando regresiones no lineales a los datos no transformados para hembras y machos combinados (Tabla 1). El crecimiento de cada carácter morfométrico o anatómico fue bien descrito por una de las siguientes funciones:

$$Y_x = Y_\infty \exp[-e^{-K(x-x_*)}] \quad (1)$$

$$Y_x = Y_\infty [1 - (1 - m)e^{-K(x-x_*)}]^{1/(1-m)} \quad (2)$$

$$Y_x = ax^b \quad (3)$$

donde  $Y_x$  = una medida de tamaño a tamaño  $x$ ;  $Y_\infty$  = el tamaño asintótico;  $x_*$  = el punto de inflexión; y  $m$ ,  $K$ ,  $a$ , y  $b$  son parámetros. La ecuación (1) es la de Gompertz, (2) es la de Richards, y (3) es la función de potencia (Seber y Wild, 1989). Se seleccionaron las funciones con base en el mejor ajuste con el menor número de parámetros según una estadística aproximada de cociente  $F$  (Schnute, 1981).

Se usó una estadística aproximada de cociente  $F$  (Zar, 1974) para comprobar la hipótesis nula de que las funciones de regresión por especie, detalladas en la Tabla 1, están estimando las mismas funciones de regresión de la población. Ninguna de las funciones, excepto distancia del origen de la aleta pélvica al origen de la aleta anal *versus* LF, estiman las mismas funciones de regresión de la población para atunes aleta amarilla y patudo (Tabla 2).

Los caracteres morfométricos de valor práctico para distinguir el aleta amarilla del patudo son: (1) longitud de la cabeza *versus* LF (Figura 4); (2) diámetro del ojo *versus* LF (Figura 5); (3) distancia del origen de la primera aleta dorsal al origen de la aleta pélvica *versus* LF (Figura 6); (4) longitud de la aleta pectoral *versus* LF (Figura 7); (5) longitud de la segunda aleta dorsal *versus* LF (Figura 8); y (6) longitud de la aleta anal *versus* LF (Figura 9).

El número total de branquiespinas fue significativamente mayor para el aleta amarilla (promedio = 30,38) que para el patudo (promedio = 26,55) (ANOVA:  $F = 372,2$ ,  $P < 0,001$ ). Sin embargo, en algunos especímenes de ambas especies se contaron 28 ó 29 branquiespinas (Figura 10).

La morfología del hígado del aleta amarilla es muy diferente de la del patudo (Figura 11). En el aleta amarilla, el lóbulo derecho del hígado es considerablemente más largo y estrecho que los lóbulos medio e izquierdo, mientras que en el patudo el lóbulo medio es ligeramente más largo que los lóbulos laterales. No hay estriaciones en el hígado del aleta amarilla, pero sí a lo largo de los bordes ventrales de los lóbulos en el patudo. Las funciones de regresión de peso del hígado *versus* peso del cuerpo (Figura 12) señalan una diferencia clara para especímenes de más de 50 kg, con el peso del hígado significativamente mayor para el aleta amarilla que para el patudo.

La morfología de la vejiga natatoria del aleta amarilla es asimismo distinta de la del patudo (Figura 13). En el aleta amarilla, la vejiga natatoria inflada, sujeta a la superficie dorsal de la cavidad del cuerpo, se extiende desde el extremo rostral hacia detrás aproximadamente la mitad de la longitud de la cavidad del cuerpo. En el patudo, la vejiga natatoria inflada es notoriamente más larga, redondeada al extremo rostral, y terminando en punta en el extremo caudal de la cavidad del cuerpo. Está sujeta a la superficie dorsal y se extiende a lo largo de la mayor parte de la longitud de la cavidad del cuerpo. Las funciones de regresión del volumen de la vejiga natatoria *versus* LF (Figura 14) señalan una diferencia clara para especímenes de LF de más de 60 cm, con el volumen de la vejiga natatoria significativamente mayor para el patudo que para el aleta amarilla.

### Coloración

Aunque el aleta amarilla y el patudo parecen similares en su coloración general, con dorso entre negro y azul oscuro y vientre blanco, habían diferencias claras en las marcas laterales que se pueden usar para distinguir especímenes de menos de 46 cm LF. En el aleta amarilla hay marcas laterales prominentes en el cuerpo, consistiendo de rayas estrechas, juntas, verticales, blancas, generalmente

alternando rayas continuas y de puntos, extendiéndose desde debajo del origen de la aleta pectoral hasta la región del pedúnculo caudal (Figuras 15, 17, 19). En el patudo, las marcas laterales en el cuerpo consisten de rayas continuas más anchas, más separadas, verticales, blancas, restringidas principalmente a la mitad posterior del cuerpo (Figuras 16, 18). Aunque este patrón no fue aparente en patudos de más de 125 cm de largo, el patrón descrito para el aleta amarilla fue aparente en todos los ejemplares de esa especie.

## DISCUSION

Los caracteres morfológicos externos brindan un método rápido y no invasivo para identificar aletas amarillas y patudos de más de unos 30 cm LF capturados en la pesquería de superficie del OPO. Se deben usar características diagnósticas específicas, diferentes para especímenes de distintos intervalos de longitud, para identificar y separar estas especies.

En aletas amarillas de 30-45 cm LF, las marcas laterales en el cuerpo son prominentes, consistiendo de rayas estrechas, juntas, verticales, blancas (Figura 15). Estas rayas consisten de líneas continuas y de puntos alternas, extendiéndose desde debajo del origen de la aleta pectoral hasta el pedúnculo caudal. En especímenes frescos, la punta de la aleta pectoral es relativamente ancha y redondeada. En patudos de 30-45 cm LF, las marcas laterales en el cuerpo están más separadas que en los aletas amarillas, y consisten de rayas continuas más anchas, más separadas, verticales, blancas, restringidas principalmente a la mitad posterior del cuerpo, pero a veces extendiéndose desde debajo del origen de la aleta pectoral hasta el pedúnculo caudal (Figura 16). En especímenes frescos, la punta de la aleta pectoral es estrecha y, si se apreta contra el cuerpo, apunta hacia el vientre. Se reportó previamente que las marcas laterales útiles para distinguir especímenes de atunes aleta amarilla y patudo eran un carácter práctico para separar estas especies entre unos 30 y 50 cm LF en el Océano Pacífico occidental (Honma *et al.*, 1973) y 20 y 40 cm LF en las Filipinas (Miyabe *et al.*, 1996).

En aletas amarillas de 46-110 cm LF, la extensión posterior máxima de la aleta pectoral es el medio de la base de la segunda aleta dorsal (Figura 17). La forma general del cuerpo, particularmente la mitad posterior, es alargada. En especímenes frescos, la punta de la aleta pectoral es relativamente ancha y redondeada. En patudos de 46-110 cm LF, la aleta pectoral se extiende más allá del margen posterior de la base de la segunda aleta dorsal (Figura 18). La forma general del cuerpo es rotunda, con el cuerpo más alto, cabeza más grande, y ojos más grandes que en el aleta amarilla. En especímenes frescos, la punta de la aleta pectoral es estrecha y, si se apreta contra el cuerpo, apunta hacia el vientre.

En aletas amarillas de más de 110 cm LF, las aletas segunda dorsal y anal son alargadas, alcanzando longitudes del 22-32% de la longitud furcal en especímenes de 110-149 cm LF (Figura 19). La forma general del cuerpo, particularmente la mitad posterior, es alargada. En patudos de más de 110 cm LF, las aletas segunda dorsal y anal no son alargadas, y alcanzan solamente longitudes del 11-15% de la LF de especímenes de 110-138 cm LF (Figura 20). La forma general del cuerpo es rotunda, con el cuerpo más alto, cabeza más grande, y ojos más grandes que en el aleta amarilla.

Aunque estos caracteres externos permiten una separación clara de atunes aleta amarilla y patudo, pueden ser identificados también mediante el examen de características internas en especímenes de 30 cm LF o más. En el aleta amarilla, la vejiga natatoria inflada se extiende desde el extremo rostral hacia detrás aproximadamente la mitad de la longitud de la cavidad del cuerpo. Por contraste, en el patudo, la vejiga natatoria inflada es notoriamente más larga, y se extiende a lo largo de la mayor parte de la longitud de la cavidad del cuerpo. Además, en el aleta amarilla, el lóbulo derecho del hígado es mucho más largo y estrecho que los dos otros lóbulos, y la superficie ventral del hígado carece de estriaciones. Por contraste, en el patudo los tres lóbulos del hígado son de longitud aproximadamente igual, aunque el central es a menudo ligeramente más largo que los laterales. Los bordes de la superficie ventral del hígado son estriados, pero esto no es siempre fácil de detectar. Desgraciadamente, la amplia

divulgación de información sobre la importancia de las estriaciones ventrales del hígado para distinguir el aleta amarilla y patudo sin duda ha contribuido a la confusión en la identificación de estas dos especies.

Los atunes aleta amarilla y patudo son solamente dos de las siete especies en el género *Thunnus* (Gibbs y Collette, 1967; Collette y Nauen, 1983). Son características de los miembros de este género superficies dorsales de color azul oscuro (en especímenes muertos) sin rayas longitudinales y superficies ventrales blanquizas sin puntos negros ni rayas longitudinales. Los dos otros miembros de este género encontrados comunmente en el OPO, la albacora (*Thunnus alalunga*) y el aleta azul del norte (*Thunnus thynnus orientalis*), pueden ser fácilmente distinguidos del aleta amarilla y patudo por su aspecto externo, principalmente longitud y la forma de las aletas pectorales. El aleta azul del norte tiene la aleta pectoral muy corta, un 17% a 21% de la LF, separándolo claramente de las tres otras especies (Gibbs y Collette, 1967). Especímenes de albacora de más de 50 cm LF tienen aletas pectorales largas, de entre un 30% y 45% de la LF, pero la aleta pectoral en la albacora es más corta que en patudos de hasta unos 70 cm LF, y entre 70 y 120 cm LF son aproximadamente igual de largas en las dos especies (Gibbs y Collette, 1967). Sin embargo, en la albacora la mayor altura del cuerpo ocurre aproximadamente en o justo delante del origen de la base de la segunda aleta dorsal, mientras que en el aleta amarilla, patudo, y aleta azul ocurre más adelante, desde aproximadamente el centro hasta el origen de la primera aleta dorsal. Otra característica diagnóstica de la albacora no observada en el aleta amarilla, patudo, ni aleta azul es el margen posterior blanquizo de la aleta caudal (Collette y Nauen, 1983).

Existen varias diferencias morfológicas y anatómicas en los atunes aleta amarilla y patudo que son obviamente adaptaciones a los distintos hábitats ocupados por estas dos especies. Holland *et al.* (1990), observaron los desplazamientos horizontales y verticales de atunes aleta amarilla y patudo en aguas cerca de Hawaii, usando transmisores de ultrasonidos. Durante el día, si no estaban asociados con plantados o el contorno de 73 m (40 brazas), las aletas amarillas permanecían cerca del fondo de la capa de mezcla (50-90 m), mientras que los patudos se mantenían a profundidades de entre 190 y 250 m, por debajo de la termoclina, en asociación con el isóbaro de 15°C. Análisis de datos oceanográficos en relación con datos de captura palangrera en el Pacífico oriental, central, y occidental también indicaron que el hábitat principal del aleta amarilla es la capa de mezcla y la parte superior de la termoclina, con temperaturas aparentemente preferidas de 20°-30°C, mientras que los patudos habitan principalmente aguas más profundas en y debajo de la termoclina, con temperaturas aparentemente preferidas de 10°-15°C (Hanamoto, 1976; Suzuki *et al.*, 1977; Hanamoto, 1987).

La diferencia en el tamaño de la vejiga natatoria en el patudo y el aleta amarilla (Figuras 13 y 14, Tabla 2) es una clara adaptación a las distintas profundidades ocupadas típicamente por las dos especies. La vejiga natatoria funciona como órgano hidroestático, reduciendo la densidad del pez con respecto a la del agua que lo rodea, reduciendo así los costos energéticos de la locomoción (Magnuson, 1978). Todos los peces perciformes, incluso estas dos especies, son fisoclistos, y la inflación y desinflación de la vejiga natatoria son controladas por estructuras especiales que funcionan en la secreción o resorción de gases de o a la sangre (Alexander, 1993). No se sabe casi nada acerca de las tasas de inflación y desinflación en las vejigas natatorias de los atunes, pero parecería a partir de estudios de otros peces (Alexander, 1993) que los ajustes del volumen de la vejiga natatoria son extremadamente lentos con respecto a las altas velocidades de natación durante desplazamientos verticales por estas especies (Holland *et al.*, 1990). El empuje proporcionado por el volumen de gas en la vejiga natatoria es máximo cerca de la superficie porque la presión es menor, y a profundidades mayores se esperaría que el volumen de la vejiga natatoria se redujera, conforme a la ley de Boyle (Alexander, 1993). La vejiga natatoria necesita ocupar alrededor del 5% del volumen de un pez marino típico para ejercer un efecto de flotación neutro (Alexander, 1993). En este estudio se estimó el volumen de la vejiga natatoria en aletas amarillas de 10 kg, 25 kg, y 50 kg en un 2%, 2%, y 1,5% del volumen del cuerpo, respectivamente. Usando un valor probablemente alto de 1.09 g/cm<sup>3</sup>, derivado para aletas amarillas pequeños

(Magnuson, 1978), para la densidad de aletas amarillas de entre 10 y 50 kg, sin la vejiga natatoria, se espera que aletas amarillas con vejiga natatoria intacta serían de capacidad de flotación negativa en la superficie del mar en la región de este estudio, donde la densidad del agua es aproximadamente 1,024 g/cm<sup>3</sup>. No obstante, un 96% de su peso sería contrarrestado por la capacidad de flotación.

A partir de este estudio, se estima el volumen de la vejiga natatoria en patudos de 10 kg, 25 kg, y 50 kg en un 7%, 8%, y 8% del volumen del cuerpo, respectivamente. Con el mismo valor conservador usado para el aleta amarilla para la densidad de patudos de 10 to 50 kg, sin la vejiga natatoria (Magnuson, 1978), se espera que patudos con vejiga natatoria intacta serían de capacidad de flotación positiva en la superficie. En efecto, especímenes muertos de atún patudo de más de 10 kg capturados en redes de cerco en el Pacífico son a menudo vistos flotando, vientre arriba, antes de ser cargados a bordo del buque. Con los mismos supuestos sobre la densidad de los peces, se estima la profundidad a la cual patudos de más de 10 kg son de capacidad de flotación neutra en unos 5 m. Sin embargo, esta profundidad es muy probablemente mayor porque se esperaría una densidad reducida para el patudo (Magnuson, 1973), particularmente para peces en este rango de tamaño, debido a una mayor capacidad de flotación atribuida a su mayor proporción de grasa. Para patudos y aletas amarillas de más de 10 kg nadando a la profundidad de la termoclina en la región de este estudio, 40 a 100 m (Fiedler, 1992), un 95% y 94%, respectivamente, de su peso sería contrarrestado por la capacidad de flotación. En el futuro se debería medir las densidades de aletas amarillas y patudos de más de 10 kg. Ambas especies son probablemente de capacidad de flotación negativa en sus distribuciones típicas de profundidad, debido a densidad excesiva, pero poseen aletas pectorales relativamente grandes que funcionan como hidroalas para levantarlos mientras nadan (Magnuson, 1978). El volumen de la vejiga natatoria en estas especies está aparentemente adaptado para optimizar el desempeño natatorio y movilidad vertical en sus nichos.

La forma y tamaño relativos de la vejiga natatoria en los atunes aleta amarilla y patudo fueron descritos previamente (Godsil y Byers, 1944; Gibbs y Collette, 1967). Los volúmenes de las vejigas natatorias de 11 especímenes de aleta amarilla (44-82 cm LF) y 15 de patudo (50-59 cm LF) fueron también medidos previamente directamente a partir de su volumen de desplazamiento y de reconstrucciones geométricas de radiografías, y las dos técnicas arrojaron estimaciones muy similares (Chang y Magnuson, 1968), apoyando los volúmenes estimados en este estudio. Considerando la importancia de medidas precisas de la densidad para las velocidades de natación predichas de estas especies (Magnuson, 1973, 1978) y los volúmenes de las vejigas natatorias aquí reportados, por contraste con los valores previamente reportados extrapolados para peces de mayor tamaño, se deberían evaluar de nuevo las estimaciones teóricas de las velocidades sostenidas de natación.

Los hígados de los atunes aleta amarilla y patudo son distintos en su anatomía, morfología, y crecimiento (Figuras 11 y 12, Tabla 2). Están presentes multiplicadores de contracorrientes en la superficie dorsal del hígado en forma de conos vasculares en cuatro de las especies del subgénero *Thunnus* (patudo, albacora, aleta azul del norte, y aleta azul del sur (*Thunnus maccoyii*)), pero no en el subgénero *Neothunnus* (aleta amarilla, aleta negra (*Thunnus atlanticus*), y tongol (*Thunnus tonggol*)) (Collette, 1978). Las estriaciones que ocurren en la superficie ventral del hígado del patudo se deben a la presencia de vasos sanguíneos asociados con esos multiplicadores de contracorrientes. Esas especies de *Thunnus*, inclusive el patudo, que poseen multiplicadores de contracorrientes viscerales suelen estar distribuidas más en regiones subtropicales o templadas y/o vivir en aguas más profundas y frías que las tres otras especies de *Thunnus* (Collette y Nauen, 1983). Los multiplicadores de contracorrientes viscerales en los patudos sirven aparentemente para acelerar los procesos digestivos en aguas más frías al elevar significativamente la temperatura visceral (Carey *et al.*, 1971). La termoregulación fisiológica y de comportamiento en el atún patudo le permite ampliar su hábitat y aprovechar recursos de alimento en aguas frías y profundas debajo de la termoclina y en la capa de mezcla (Holland y Sibert, 1994). Los multiplicadores de contracorrientes viscerales en el hígado del atún patudo forman parte de un sistema

circulatorio altamente desarrollado que conserva calor mientras el pez busca alimento en aguas frías.

Los atunes aleta amarilla y patudo dependen mucho de la vista para alimentarse (Tamura y Wisby, 1963). Sus ojos están bien adaptados para maximizar la detección de estímulos importantes en sus ambientes fóticos respectivos (Fernald, 1993). Los ojos del aleta amarilla y el patudo son morfológicamente y anatómicamente distintos. Como es de esperar de su nombre común inglés, *bigeye*, el diámetro del ojo en el patudo es significativamente mayor que en el aleta amarilla para especímenes de más de 50 cm LF (Figura 5, Tabla 2). El ojo más grande y la presencia de tapete lúcido retinal (Kawamura *et al.*, 1981) aumenta la sensibilidad y eficacia de la vista para la alimentación nocturna y a profundidades donde la luz ambiental es extremadamente limitada. Organismos bioluminescentes, como los calamares, son presas importantes (King e Ikehara, 1956).

Las relaciones morfológicas y anatómicas, junto con las características diagnósticas validadas descritas en este estudio, ayudan en la identificación de atunes aleta amarilla y patudo frescos, congelados, o descongelados. Las características morfológicas descritas y comparadas en este estudio demuestran algunas de las adaptaciones especializadas en estas dos especies a sus ambientes respectivos. Una mayor investigación de la morfología comparativa de estas especies y otros miembros de los Scombridae ayudaría a esclarecer más de las adaptaciones extraordinarias tan evidentes en esta familia de peces altamente especializada pero diversa.

### RECONOCIMIENTOS

Reconozco con agradecimiento el entusiasmo y apoyo de esta investigación por parte del Director de la Comisión, James Joseph, el Subdirector, Robin Allen, y el Científico Jefe del Programa Atún-Picudo, Richard Deriso. Agradezco también a Seinen Chow, Berten Ely, y Peter Grewe sus confirmaciones genéticas de las identificaciones de especies. Quisiera expresar mi agradecimiento a Juan Gracia, de la oficina regional de la CIAT en Mayaguez (Puerto Rico), por su ayuda logística y con el procesamiento de los especímenes. A los siguientes les agradezco sus revisiones del manuscrito: William Bayliff, Bruce Collette, Richard Deriso, Geoffrey Moser, Robert Olson, y Nicolás Webb. Un reconocimiento muy especial a Kate Spencer por las ilustraciones científicas de los atunes aleta amarilla y patudo.

## LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alexander, R.M. 1993. Buoyancy. In Evans, D.H. (editor). *The Physiology of Fishes*. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL: 75-97.
- Bayliff, W.H. (editor). 1998. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Ann. Rep. for 1996*: 306 pp.
- Carey, F.G., Teal, J.M., Kanwisher, J.W., Lawson, K.D., and Beckett, K.S. 1971. Warm-bodied fish. *Am. Zool.* 11 (1): 137-145.
- Chang, R.K.C., and J.J. Magnuson. 1968. A radiographic method for determining gas bladder volume of fish. *Copeia*, 1: 187-189.
- Chow, S., and S. Inoue. 1993. Intra- and interspecific restriction fragment length polymorphisms in mitochondrial genes of *Thunnus* tuna species. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.*, 30: 207-225.
- Collette, B.B. 1978. Adaptations and systematics of the mackerels and tunas. In Sharp, G.D. and Dizon, A.E. (editors) *The Physiological Ecology of Tunas*. Academic Press, New York: 7-39.
- Collette, B.B., and C.E. Nauen. 1983. *FAO species catalogue. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date.* FAO Fish. Synop. 125, Vol. 2: 137 pp.
- Fernald, R.S. 1993. Vision. In Evans, D.H. (editor). *The Physiology of Fishes*. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL: 161-189.
- Fiedler, P.C. 1992. Seasonal climatologies and variability of eastern tropical Pacific surface waters. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Tech. Rep., 109: 1-65.
- Gibbs, R.H., Jr. and B.B. Collette. 1967. Comparative anatomy and systematics of the tunas, genus *Thunnus*. U.S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull. 66(1): 65-130.
- Godsil, H.C., and R.D. Byers. 1944. A systematic study of Pacific tunas. *Calif. Div. Fish Game, Fish Bull.* 60: 131 pp.
- Hanamoto, E. 1976. The swimming layer of bigeye tuna. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 29: 41-44. [Engl. Transl. No. 21 by T. Otsu, 1977, 7 p.; avail. Honolulu Lab., Southwest Fish. Cent., Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Honolulu, HI 96822-2396]
- Hanamoto, E. 1987. Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 51(3): 203-216.
- Holland, K.N., R.W. Brill, and R.K.C. Chang. 1990. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 88(3): 493-507.
- Holland, K.N., and J.R. Sibert. 1994. Physiological thermoregulation in bigeye tuna, *Thunnus obesus*. *Environ. Biol. of Fish.* 40(3): 319-327.
- Honma, M., Y. Warshina, and Z. Suzuki. 1973. Identification of young yellowfin and bigeye tunas in the western Pacific Ocean. Examination of practical standards based on external characters and the reliability in field survey. *Bull. Far Seas Res. Lab.*, 8: 1-23.
- Kawamura, G., W. Nishimura, S. Ueda, and T. Nishi. 1981. Vision in tunas and marlins. *Mem. Kagoshima Univ. Res. Cen. South Pac.*, 2(1): 3-47.

- King, J.E., and I.I. Ikehara. 1956. Comparative study of food of bigeye and yellowfin tuna in the central Pacific. U.S. Fish. Wild. Serv., Fish. Bull., 57 (108): 61-85.
- Kishinouye, K. 1923. Contributions to the comparative study of the so-called scombroid fishes. J. Coll. Agr., Imp. Univ. Tokyo 8(3): 293-475.
- Magnuson, J.J. 1973. Comparative study of adaptations for continuous swimming and hydrostatic equilibrium of scombroid and xiphoid fishes. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 71(2): 337-356.
- Magnuson, J.J. 1978. Locomotion by scombroid fishes: hydromechanics, morphology and behavior. *In* Hoar, W.S. and Randall, D.J., (editors). Fish Physiology, vol. 7. Academic Press, New York.: 239-313.
- Miyabe, N., N. Barut, and S. Chow. 1996. Species identification of small juvenile tunas caught in surface fisheries in the Philippines. FAO Fish. Tech. Pap., 366: 556-565.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38(9): 1128-1140.
- Seber, G.A.F., and C.J. Wild. 1989. Nonlinear Regression. John Wiley and Sons, Inc.: 768 pp.
- Suzuki, Z., Y. Warashina, and M. Kishida. 1977. The comparison of catches by regular and deep tuna longline gears in the western and central equatorial Pacific. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 15: 51-73.
- Tamura, T., and W.J. Wisby. 1963. The visual senses of pelagic fishes, especially the visual axis and accommodation. Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb., 13(3): 433-448.
- Tomlinson, P.K., S. Tsuji, and T.P. Calkins. 1992. Length-frequency estimation for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) caught by commercial fishing gear in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20 (6): 359-398.
- Zar, J.H. 1974. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: 620 pp.









An important part of the work of the Inter-American Tropical Tuna Commission is the prompt publication and wide distribution of its research results. The Commission publishes its results in its Bulletin and Special Report series. The Bulletins contain reports of original research carried out by members of its staff and other scientists. These are reviewed by scientists of other organizations before being accepted for publication. They are issued on an irregular basis, and the volumes are closed when they reach about 500 to 600 pages. The Special Reports contain material other than original scientific research, which is nevertheless of interest to a wide segment of the scientific community.

The Commission also publishes Annual Reports and Quarterly Reports, which include policy actions of the Commission, information on the fishery, and reviews of the year's or quarter's work carried out by the staff. The Annual Reports also contain financial statements and a roster of the IATTC staff.

The Bulletins, Special Reports, and Annual Reports are distributed on an exchange basis to a selected list of governmental organizations, libraries, laboratories, and universities. A nominal cost is set for individuals desiring the publications. Remittances must be in advance, payable in U.S. funds to the order of the Inter-American Tropical Tuna Commission. The distribution of the Quarterly Reports is much more restricted than those of the Bulletins, Special Reports, and Annual Reports, but these may also be purchased. Requests for these publications, as well as a list of all publications, may be directed to the editor.

Some recent publications in the Bulletin series are:

La pronta publicación y amplia distribución de los resultados de investigación forman un aspecto importante de las labores de la Comisión, la cual publica los resultados en su serie de Boletines e Informes Especiales. Los Boletines incluyen informes sobre la investigación original emprendida por los miembros del personal y otros científicos; son revisados por científicos de otras organizaciones antes de ser aceptados para la publicación. Se concluye cada volumen al llegar a unas 500 o 600 páginas, y se publican a intervalos irregulares. Los Informes Especiales contienen material aparte de investigación científica original, que es sin embargo de interés para una gran parte de la comunidad científica.

La Comisión publica también Informes Anuales e Informes Trimestrales; éstos incluyen información sobre las labores de la Comisión, la pesquería, y las investigaciones realizadas en el año o trimestre correspondiente. Los Informes Anuales incluyen también un resumen financiero y una lista del personal de la CIAT.

Los Boletines, Informes Especiales, e Informes Anuales se envían a base de intercambio a entidades gubernamentales, bibliotecas, laboratorios, y universidades seleccionadas. Se ha fijado un costo nominal para individuos que desean estas publicaciones. Se debe pagar por adelantado en moneda de los EE.UU., remitido a la Comisión Interamericana del Atún Tropical. La repartición de los Informes Trimestrales es más limitada que la de los Boletines, Informes Especiales, e Informes Anuales, pero también se pueden comprar. Se deben dirigir al Redactor los pedidos tanto de estas publicaciones como de la lista de las mismas.

Las publicaciones recientes en la serie de Boletines son:

Vol. 21, No. 4—\$2.00

Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data, with an application to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries in the Pacific, by Michael G. Hinton and Hideki Nakano, 1996

Estandarización de estadísticas de captura y esfuerzo usando restricciones fisiológicas, ecológicas, o de comportamiento y datos ambientales, con aplicación a datos de captura y esfuerzo del marlín azul (*Makaira nigricans*) de las pesquerías palangreras japonesas en el Pacífico, por Michael G. Hinton y Hideki Nakano, 1996

Vol. 21, No. 5—\$2.00

Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean, by Kurt M. Schaefer, 1998

Biología reproductora del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico oriental, por Kurt M. Schaefer, 1998

Vol. 21, No. 6—\$5.00

A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992, by Koji Uosaki and William H. Bayliff, 1999

Un examen de la pesca palangrera japonesa de atunes y picudos en el Océano Pacífico oriental, 1988-1992, por Koji Uosaki y William H. Bayliff, 1999

Editor—Redactor  
William H. Bayliff

Inter-American Tropical Tuna Commission  
Comisión Interamericana del Atún Tropical  
Scripps Institution of Oceanography  
La Jolla, California 92037-1508, U.S.A.

Price per copy—\$2.00—Precio del ejemplar