

ISSN: 0074-0993

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

Bulletin—Boletín

Vol. 23, No. 1

**REPRODUCTIVE BIOLOGY OF BIGEYE TUNA (*THUNNUS*
OBESUS) IN THE EASTERN AND CENTRAL PACIFIC OCEAN**

**BIOLOGÍA REPRODUCTORA DEL ATÚN PATUDO (*THUNNUS*
OBESUS) EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL Y CENTRAL**

by—por

Kurt M. Schaefer, Daniel W. Fuller, and—y Naozumi Miyabe

La Jolla, California
2005

The Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) 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 1992, El Salvador in 1997, Guatemala in 2000, Peru in 2002, and Spain in 2003. Canada withdrew from the Commission in 1984.

Additional information about the IATTC and its publications can be found on the inside back cover of this report.

La Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) funciona bajo la autoridad y dirección de una convención establecida originalmente por Costa Rica y los Estados Unidos. La Convención, vigente desde 1950, está abierta 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, El Salvador en 1997, Guatemala en 2000, Perú en 2002, y España en 2003. Canadá se retiró de la Comisión en 1984.

Información adicional sobre la CIAT y sus publicaciones puede ser encontrada en la parte interna posterior de la cubierta de este informe.

COMMISSIONERS—COMISIONADOS

COSTA RICA

Ligia Castro
George Heigold
Asdrubal Vásquez

ECUADOR

Juan Francisco Ballén M.
Jorge Kalil Barreiro
Boris Kusijanovic Trujillo
Luis Torres Navarrete

EL SALVADOR

Manuel Calvo Benivides
Manuel Ferín Oliva
Sonia Salaverría
José Emilio Suadi Hasbun

ESPAÑA—SPAIN

Rafael Centenera Ulecia
Fernando Curcio Ruigómez
Samuel J. Juárez Casado

FRANCE—FRANCIA

Rachid Bouabane-Schmitt
Patrick Brenner
Delphine Leguerrier
Daniel Silvestre

GUATEMALA

Nicolás de Jesús Acevedo Sandoval
Ricardo Santacruz Rubí
Erick R. Villagran

JAPAN—JAPÓN

Katsuma Hanafusa
Masahiro Ishikawa
Toshiyuki Iwado

MÉXICO

Guillermo Compeán Jiménez
Ramón Corral Avila
Michel Dreyfus León

NICARAGUA

Miguel Angel Marengo Urcuyo
Edward E. Weissman

PANAMÁ

María Patricia Díaz
Arnulfo Franco Rodríguez
Leika Martínez
George Novey

PERÚ

Gladys Cárdenas Quintana
Rosa Lilibiana Gómez
Alejandro Jiménez Morales
Jorge Vértiz Calderón

USA—EE.UU.

Scott Burns
Robert Fletcher
Rodney McInnis
Patrick Rose

VANUATU

Moses Amos
Christophe Emelee
David Johnson

VENEZUELA

Alvin Delgado
Oscar Lucentini Wozel
Nancy Tablante

Director—Directór

Robin Allen

Headquarters and Main Laboratory—Oficina y Laboratorio Principal

8604 La Jolla Shores Drive

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

www.iattc.org

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

Bulletin—Boletín

Vol. 23, No. 1

**REPRODUCTIVE BIOLOGY OF BIGEYE TUNA (*THUNNUS*
OBESUS) IN THE EASTERN AND CENTRAL PACIFIC OCEAN**

**BIOLOGÍA REPRODUCTORA DEL ATÚN PATUDO (*THUNNUS*
OBESUS) EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL Y CENTRAL**

by—por

Kurt M. Schaefer, Daniel W. Fuller, and—y Naozumi Miyabe

La Jolla, California

2005

CONTENTS—INDICE

ENGLISH VERSION—VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT	3
INTRODUCTION	3
MATERIALS AND METHODS	4
RESULTS	5
DISCUSSION	7
ACKNOWLEDGEMENTS	9

FIGURES—FIGURAS	11
------------------------------	----

TABLES—TABLAS	19
----------------------------	----

VERSION EN ESPAÑOL—SPANISH VERSION

RESUMEN	21
INTRODUCCIÓN	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN	25
AGRADACIMIENTOS	28

LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFÍA CITADA	29
---	----

REPRODUCTIVE BIOLOGY OF BIGEYE TUNA (*THUNNUS OBESUS*) IN THE EASTERN AND CENTRAL PACIFIC OCEAN

by

Kurt M. Schaefer¹, Daniel W. Fuller¹, and Naozumi Miyabe²

ABSTRACT

The reproductive biology of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, was investigated by sampling 1,986 fish caught by purse-seine vessels and 124 fish caught by a longline vessel in the eastern and central Pacific Ocean during February 2000 through March 2003. Histological evaluations of ovaries from 683 females provided the foundation for the estimates of length-specific reproductive characteristics. Spawning was observed between about 15°N and 15°S and between about 105°W and 175°W, and occurred during most months of the year in which the sea-surface temperatures exceeded about 24°C. Spawning occurs primarily at night, between about 1900 h and 0400 h. The estimated length at which 50% of the females were mature was 135 cm. The estimated mean relative fecundity was 24 oocytes per gram of body weight. The fraction of mature females with postovulatory follicles was 0.39, indicating the average female spawned every 2.6 d. Reproductively active females spawned every 1.3 d. The overall sex ratio deviated from 1:1, with a preponderance of males.

Key words: bigeye tuna, fecundity, maturity, Pacific Ocean, sex ratio, spawning

INTRODUCTION

Bigeye tuna, *Thunnus obesus*, which inhabit tropical and temperate waters of the Atlantic, Indian, and Pacific Oceans (Collette and Nauen, 1983; Collette *et al.*, 2001) are an extremely valuable fishery resource, particularly for the sashimi market. In the Pacific Ocean, bigeye are exploited by longliners from about 40°N to 40°S and by purse seiners from about 10°N to 20°S (Hampton *et al.*, 1998; Miyabe and Bayliff, 1998). The longline fishery targets medium to large bigeye, whereas the purse-seine fishery catches primarily small to medium bigeye as a result of fishing effort directed at tunas associated with flotsam and fish-aggregating devices (FADs).

The annual catch by the surface fishery (purse-seine and pole-and-line vessels) in the eastern Pacific Ocean (EPO) has increased from about 5 thousand metric tons during 1970-1993 to about 47 thousand metric tons during 1994-2002 (Anonymous, 2004). Recognizing the uncertainties about the population biology of bigeye tuna, there is reason for concern about the potential impact on the resource of the recent increase in the catch of juvenile bigeye tuna by surface fisheries.

Data on apparent maturation, size frequencies, and catch per unit of effort (Kikawa, 1962, 1966; Kume and Joseph, 1966; Miyabe, 1994) indicate that the reproductive potential for bigeye tuna is greater in the EPO than in the western and central Pacific Ocean. However, accurate information on the size-specific reproductive characteristics of bigeye tuna in the EPO is lacking (Schaefer, 2001). Knowledge of these is fundamental to understanding many aspects of their population biology and for making informed fisheries management decisions.

The objectives of this paper are to classify the reproductive status of bigeye caught by the purse-seine and longline fisheries in the eastern and central Pacific in order to define with precision: (1) sex ratios; (2) length at maturity; (3) spatiotemporal aspects of spawning; (4) batch fecundity; (5) spawning periodicity and frequency.

¹ Inter-American Tropical Tuna Commission, 8604 La Jolla Shores Drive, La Jolla, California 92037-1508, U.S.A.

² National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency, 5-7-1 Ordo, Shimizu, Shizuoka, 424- 8633, Japan

MATERIALS AND METHODS

Field sampling

Bigeye tuna gonads were collected by observers of the Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) aboard purse-seine vessels in the EPO during February 2000 through December 2001 (Figure 1). Gonads were sampled from 1,986 fish captured in 120 sets made during 21 observed trips. Ovaries from an additional 124 female bigeye captured by the Japanese longline research vessel *Kaihatsu-maru* in the EPO and the central Pacific Ocean during June 2002 through March 2003 (Figure 1) were sampled by scientific personnel aboard that vessel.

The at-sea sampling program called for the observer aboard a purse-seine vessel to collect gonads from bigeye, caught in waters with surface temperatures of 24°C or more, from approximately 12 males and 12 females from each 10-cm length interval, starting at 80 cm fork length (FL) during each trip. When possible, 20 fish were sampled from individual sets. The at-sea sampling program aboard the longline vessel called for the collection of gonads from bigeye, greater than 90 cm FL, caught in waters with surface temperatures of 24°C or more. These sampling criteria were based on previous studies of maturation and spawning of bigeye (Schaefer, 2001). Each fish was measured with calipers to the nearest centimeter, gonads were removed, and sex was determined. From each female, a central section approximately 1 cm in length was cut from the right or left ovary and placed in a jar with 10% neutral buffered formalin. A Nalgene Polypaper label with the capture information, and length of the fish, was placed in the jar. The ovaries from the fish were placed in a plastic bag with a duplicate label and frozen. For all sets in which gonad samples were collected, capture locations, dates, times, set types, and sea-surface temperatures (SSTs) were recorded.

Length frequencies of males and females captured by purse-seine vessels and of females captured by the longline vessel are shown in Figure 2.

Sex ratio

Sex-ratio analyses were based solely on bigeye specimens sampled at sea from purse-seine sets in which a minimum sample of 15 fish was obtained.

Histological methods

A portion of each of 683 samples of preserved ovarian tissue was embedded in paraffin and sectioned at approximately 5 μm ; sections were mounted on microscopic slides and stained with Harris hematoxylin, followed by eosin counterstain (Gabe, 1976; Humason, 1979). Slides prepared from these were examined with a Nikon Optiphot light microscope. Photomicroscopy was performed with a Nikon Microflex HFX-II photographic attachment and Fuji Velvia 100 film.

Female classification

The histological classification of bigeye ovaries was based on the system of Schaefer (1998). The bigeye ovary is considered asynchronous (Wallace and Selman, 1981) because oocytes in various developmental stages are present in the ovary simultaneously. For each ovary, the oocytes in the most-developed mode were classified as (1) unyolked, (2) early yolked, (3) advanced yolked, (4) migratory-nucleus stage, or (5) hydrated (Figure 3). Postovulatory follicles identified in ovaries were classified into one of three age groups (0 h, <12 h old, or >12 h old) (Figure 4). Identification of alpha (α) atresia was restricted to advanced yolked oocytes. Ovaries were classified into one of three categories of α atresia (none, minor (<50%), or major (>50%)) and presence or absence of beta (β) atresia (Figure 5). The histological analyses of ovaries were used to estimate the maturity and reproductive activity stages for individual females (Table 1).

Females were classified as active when the ovary contained advanced yolked oocytes and there

was no atresia, or only minor α atresia, present. Active females whose ovaries showed evidence of past spawning (postovulatory follicles present) or imminent spawning (hydrated or migratory-nucleus oocytes present), were classified as spawning, whereas those whose ovaries showed no evidence of past or imminent spawning were classified as nonspawning. The spawning-rate index is the proportion of active females classified as spawning. Spawning performance was also assessed by evaluating the number of females whose ovaries showed more than one spawning state, *e.g.* migratory nucleus or hydrated-stage oocytes, and also postovulatory follicles present.

Females with ovaries classified as inactive can be either immature or mature, since an active mature female can resorb the ovary and regress to an inactive state. The classification utilized for inactive ovaries provides the best opportunity to distinguish between mature and immature conditions. The inactive-mature class included ovaries with evidence of previous reproductive activity. Ovaries with oocytes in developmental stages of either unyolked or early yolked also contained α atresia of yolked oocytes, and/or β atresia. Also included in this class were ovaries with advanced yolked oocytes, of which more than 50% were atretic (major atresia). The immature class consists of females whose ovaries contained unyolked or early yolked oocytes, but no signs of atresia.

Batch fecundity

The batch fecundity for a female was considered to be the number of migratory-nucleus stage oocytes in the ovary (Hunter *et al.*, 1985; Schaefer, 1998). For each female, counts were made of migratory-nucleus stage oocytes in two subsamples of 0.05 to 0.07 g each, weighed to the nearest 0.1 mg.

Each of the two subsamples yielded an estimate of batch fecundity for each female, calculated from the product of the number of migratory-nucleus oocytes per unit of weight of the subsample and the total weight of the ovaries. The mean of these two estimates provided the batch fecundity estimate for each fish. The weight of each fish was estimated from a weight-length relationship for bigeye from the EPO (Schaefer and Fuller, unpublished data) to calculate relative fecundity (oocytes per gram of body weight).

RESULTS

Sex ratios

The overall sex ratio for the sampling from the 120 purse-seine sets deviated significantly ($\chi^2_{0.05, 1} = 24.8$) from the expected 1:1 ratio; 1,085 (55.7%) of the fish were males and 864 (44.3%) were females. Chi-square tests of males and females grouped into 5-cm length classes for the pooled data (Table 2) indicated significantly greater numbers of males in 4 of 15 length classes.

Length at maturity

The Richards (1959) function, with $Y_\infty = 1$, was fitted to the non-transformed data set of proportions mature for female bigeye in each 5-cm interval, using a nonlinear regression procedure:

$$Y_x = [1 - (1 - m)e^{-K(x - x_*)}]^{1/(1-m)}$$

where Y_x = proportion mature at length x , $m = 3.370570$, $K = 0.167734$, and $x_* = 138.201000$. The relationship between length and the estimated proportion of mature female fish is well described by the Richards curve (Figure 6). The minimum observed length at sexual maturity was 102 cm. Initially, there is a gradual increase in the proportion mature until just before the predicted length at 50% maturity of 135 cm (95% confidence interval (CI): 0.43 to 0.57), at which point the proportion mature increases rapidly in relation to length. After that point, a decline in the rate of maturation is observed, with 90% of the females predicted to be mature at 151 cm.

Spatiotemporal aspects of spawning

The data from 198 mature and 102 active females were used in the description of the spawning distribution. The spawning distribution for February 2000 through March 2003 is shown in Figure 7. Spawning was observed between about 15°N and 15°S and between about 105°W and 175°W. These data, although sporadic, indicate that spawning was widespread, and occurred during most months of the year.

The SSTs at locations at which female bigeye were sampled and those at which spawning occurred are shown in Figure 8. The females classified as spawning in these analyses would have spawned within several hours, since their ovaries contained either migratory-nucleus oocytes or hydrated oocytes, or had already spawned within 24 h, as indicated by the presence of postovulatory follicles. Spawning occurred from 24°C to 30°C. The percentages of females classified as spawning were higher at SSTs greater than 28°C. Considerable numbers of mature females were collected where SSTs were between 24°C and 27°C, but there was very little reproductive activity in that temperature range (Figure 8).

Batch fecundity

Migratory-nucleus oocytes in ovarian tissues were initially identified during the histological evaluations of the microscopic slides. Migratory-nucleus oocytes were easily distinguished from other whole oocytes in preparations of the ovarian tissue samples by their larger size (≥ 0.75 mm) and by their appearance.

About 50 to 100 migratory-nucleus oocytes were counted in seven ovarian tissue samples suitable for batch fecundity estimation. The batch and relative fecundity estimates for each of the females, along with their lengths and predicted weights, are given in Table 3. The estimates of relative fecundity ranged from 13.8 to 43.0 oocytes per gram of body weight (mean = 23.7; 95% CI = 14.1 to 33.3).

Spawning periodicity

The times of day at which bigeye spawn can be estimated by examining the times of day at which the various reproductive states occur. The times of occurrence are obtained from the records for the times at which sets were completed and at which ovarian tissues were fixed. The purse seine-caught samples provided no data for fish caught from about 1600 h to 0500 h, because fishing operations, particularly around FADs, occurred primarily during predawn hours. However, the longline-caught samples provided records for fish caught from about 1600 h to 0400 h, because longline fishing operations occurred primarily during the night. Migratory nucleus-stage ovaries were observed to occur between 1234 h and 0646 h, with a mean time of 1724 h. Hydrated-stage ovaries, which are the final stage of oogenesis previous to ovulation, were observed to occur between 1210 h and 0352 h, with a mean time of 1914 h. There were 14 females with new (time 0) postovulatory follicles, caught between 1837 h and 0352 h, with a mean time of 2044 h. It appears that spawning of bigeye occurs almost entirely at night, between approximately 1900 h and 0400 h.

Spawning frequency

The fraction of mature females ($n = 198$) with postovulatory follicles was 0.39, equivalent to a mean spawning interval of 2.6 d. If only females that are classified as reproductively active ($n = 102$) are considered, the fraction spawning per day is 0.78, equivalent to a mean spawning interval of 1.3 d.

The minimum observed length at which postovulatory follicles were observed was 103 cm.

DISCUSSION

Sex ratios

The overall sex ratio deviated significantly from the expected 1:1, as 55.7% of the purse seine-caught bigeye tuna were males. The analysis of sex ratios by length intervals indicated a preponderance of males in 4 of 15 classes (Table 2). The overall sex ratios reported for most other tuna species do not deviate significantly from the expected 1:1 ratio (Schaefer, 2001). However, previous studies of bigeye tuna (Kikawa, 1966; Kume and Joseph, 1966; Kume, 1969a; Kume, 1969b; Nikaido, *et al.*, 1991; Pallares *et al.*, 1998; Sun *et al.*, 1999; Matsumoto and Miyabe, 2002), and some other tunas, have also reported a preponderance of males in overall sex ratios and in the larger length intervals.

Although the discrimination of ovaries versus testes, from gross examinations, is problematic in the smaller individuals with undeveloped gonads, the differences observed in this study are probably not the result of misidentification, as the observers who conducted the sampling were well-trained and experienced. However, it was not possible to verify the sex ratio data in the laboratory, as only the ovaries were saved.

There may be some segregation of bigeye tuna schools by sex and/or a higher proportion of males within schools with reproductively-active females present. There may also be some sexual differences in behavior, including vertical distributions, in bigeye aggregations associated with floating objects, causing differential vulnerability to capture by purse-seine vessels. There is obviously a need for further data collection and investigations of various aspects of differential sex ratios in bigeye tuna.

Length at maturity

The length at which various proportions of a population of bigeye tuna reach maturity is an important life history parameter that has been inadequately evaluated in previous studies of sexual maturity. Those studies have commonly reported the apparent length at first maturity, which is misleading regarding the reproductive potential of a population and inappropriate for inclusion in stock assessments (Schaefer, 2001). The current study has derived a functional relationship between the estimated proportion mature and length of female bigeye. Whereas the minimum observed length at sexual maturity for female bigeye in this study was 102 cm, the predicted length at 50% maturity is 135 cm.

Gonad indices or oocyte diameters are inadequate for separating developing ovaries from postspawning ovaries; only histological examinations of ovarian tissues and precise criteria yield accurate classification of sexual maturity of female bigeye tuna. Furthermore, histological preparation prolongs the period during which postspawning fish can be classified through identification of α - and β -stage atresia in yolked oocytes (Schaefer, 2001).

Regardless of the methodology utilized, most previous studies have reported the minimum length at sexual maturity for female bigeye to be around 100 cm, which is similar to the finding in the present study. Kikawa (1953, 1962) reported that very few female bigeye sampled in the Pacific Ocean were mature at less than 100 cm, based on evaluations of gonad indices. Yuen (1955) reported a similar minimum length at maturity, based on gonad indices, for female bigeye sampled from the central and western equatorial Pacific. Kume and Joseph (1966) also reported, on the basis of gonad indices, that the minimum length at maturity for female bigeye sampled from the EPO was about 100 cm and that the smallest female bigeye observed to be in a condition of imminent spawning was 115 cm. McPherson (1992) reported the minimum size at first maturity in the Coral Sea, based on comparisons of macroscopic and histological classifications, to be

100 and 125 cm in areas fished by handline and by longlines, respectively. The minimum length at maturity based on histological evaluations of ovarian tissues from female bigeye sampled in the western Pacific Ocean was reported to be 100 cm (Sun *et al.*, 1999).

In contrast to other previous studies on maturity of bigeye, the smallest mature female reported from the northwestern Coral Sea in a relatively recent study was 80 cm and length at 50% maturity was estimated to be 102.4 cm in females (Farley *et al.*, 2003). The classification of mature or immature was, however, based on macroscopic appearance of the ovaries, which potentially resulted in an underestimation of the length at 50% maturity. It should be noted that life history characteristics of bigeye, including length at maturity, may demonstrate some geographic variation across the Pacific, considering the limited amount of mixing observed from tagging studies to date (Hampton and Williams, 2005; Schaefer and Fuller, 2005).

Spatiotemporal aspects of spawning

Although the sampling coverage of bigeye tuna gonads in the current study was inadequate for a comprehensive description of the spatiotemporal dynamics in spawning distributions in the eastern and central Pacific Ocean, there are some meaningful patterns and relationships derived from these data. Based on histological identification of reproductively-active females, spawning was observed to occur over a widespread area and during most months of the year. Spawning occurred in areas where the SSTs ranged from 24°C to 30°C.

It appears that spawning of most species of tunas occurs year-round in tropical regions and seasonally in subtropical regions. A common factor among those species is that spawning takes place at SSTs greater than about 24°C, and is probably continuous for individuals energetically capable of spawning (Schaefer, 2001). Bigeye spawning is reported to occur throughout equatorial regions of the Pacific Ocean during most months of the year (Yuen, 1955; Kikawa, 1962, 1966; Kume and Joseph, 1966; Nishikawa *et al.*, 1985). Kume (1967) reported a correlation between the occurrence of sexually-inactive bigeye and SSTs below 23°C to 24°C. Hisada (1979), reporting on the results of a study carried out in the Pacific Ocean, found that reproductive activity occurs where the depth of the upper mixed layer is at least 50 m and the SST is at least 24°C.

Batch fecundity

Although there were only seven ovary samples suitable for estimation of batch fecundity in this study, the results indicate that the relative fecundity of bigeye tuna (24 oocytes per gram of body weight) is much lower than those for yellowfin tuna *Thunnus albacares* (67 oocytes per gram of body weight) (Schaefer, 1998) or southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* (57 oocytes per gram of body weight) (Farley and Davis, 1998), but close to that derived for bigeye from the western Pacific Ocean (31 oocytes per gram of body weight) (Nikaido *et al.*, 1991). The estimated batch fecundities for bigeye in this study and that from Nikaido *et al.* (1991) are much lower than estimates from Yuen (1955) or Sun *et al.* (1999), which were apparently not based on counts of migratory-nucleus or hydrated oocytes, and thus potentially biased upward (Schaefer, 2001).

Only at the final stages of oocyte maturation, beginning with the migratory-nucleus phase and followed by hydration, is there a distinct hiatus in the distribution of oocytes in tuna ovaries from which the batch fecundity estimates can be derived (Hunter *et al.*, 1985; Schaefer, 1998). Because spawning in tunas occurs primarily at night (Schaefer, 2001), and the migratory-nucleus phase preceding hydration does not typically occur until late in the afternoon, this leaves a very short time period to obtain suitable samples for batch fecundity estimation, particularly from catches by purse-seine vessels, which set primarily during daylight. There is a need to further investigate the batch fecundity of bigeye tunas throughout the size range of mature fish by sampling hundreds of suitable ovary samples from longline vessels, which operate during the night.

Spawning periodicity and frequency

As observed in this study, bigeye tuna, like other tunas investigated, exhibit nocturnal spawning (Schaefer, 2001). Based on histological classification of the ovaries utilized in this study and apparent timing of oogenesis, it was concluded that spawning of bigeye occurred almost entirely at night, between approximately 1900 h and 0400 h. The results of the current study are similar to those reported for bigeye tuna spawning between 1900 h and 2400 h in the central and western Pacific Ocean (Nikaido *et al.*, 1991) and from 1900 h to 0400 h in the central Atlantic Ocean (Matsumoto and Miyabe, 2002).

The estimation of spawning frequency, as the mean spawning interval between sequential spawning events, is essential for understanding the reproductive dynamics of bigeye tuna. Knowledge of the appearance and longevity of postovulatory follicles in ovaries of bigeye tuna after spawning is necessary for estimation of spawning frequency (Hunter and Macewicz, 1985; Schaefer, 2001). The age and longevity of postovulatory follicles have been determined only for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Hunter *et al.*, 1986) and yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Schaefer, 1996). However, the rates of postovulatory follicle degeneration and resorption, along with oocyte development, are apparently correlated with temperature (Fitzhugh and Hettler, 1995), and the frequency of ovaries containing postovulatory follicles can be used to estimate spawning frequencies in other species of tunas (Schaefer, 2001).

In this study, the estimated fraction of mature bigeye tuna females in the population spawning per day was 0.39, which is equivalent to a spawning frequency of 2.6 d. This is a mean spawning interval for the average mature female in the population during the period of this study, and does not imply that individual fish are spawning at that rate throughout the year. If only females which are classified as reproductively active are considered, the fraction spawning per day is 0.78, equivalent to a mean spawning interval of 1.3 d, implying that reproductively-active females spawn almost daily. Similar spawning frequencies have been reported for mature and reproductively-active female bigeye in the central and western Pacific Ocean (Nikaido *et al.*, 1991; Sun *et al.*, 1999) and the central and eastern Atlantic Ocean (Batalyants, 1992; Matsumoto and Miyabe, 2002).

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Robin Allen, Director of the IATTC, Rick Deriso, Chief Scientist of the IATTC Tuna-Billfish Program, and Ziro Suzuki, Pelagic Fish Resources Division Chief NRIFSF, for their support of this investigation. We are indebted to the owners and captains of purse-seine vessels for permitting the gonad sampling aboard their vessels and to the observers who conducted the sampling. We are also grateful to the scientists and crew aboard the research vessel *Kaihatsu-maru* (Japan Marine Fisheries Resources Research Center) for conducting the gonad sampling at sea. We also wish to thank Bill Bayliff, Rick Deriso, Jeanne Wexler, and two anonymous reviewers for constructive comments on drafts of the manuscript.

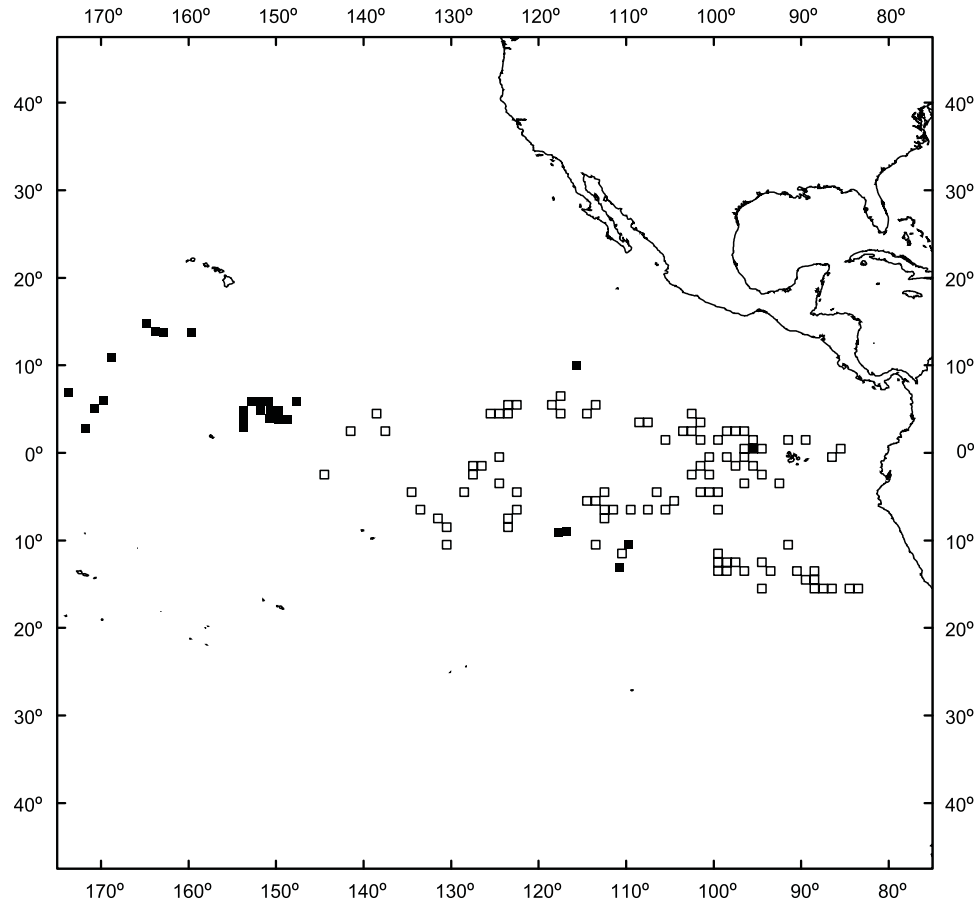


FIGURE 1. Distribution of bigeye tuna sampled by purse-seine (open squares) and longline (solid squares) gear.

FIGURA 1. Distribución de los atunes patudo muestreados con red de cerco (cuadros abiertos) y palangre (cuadros cerrados).

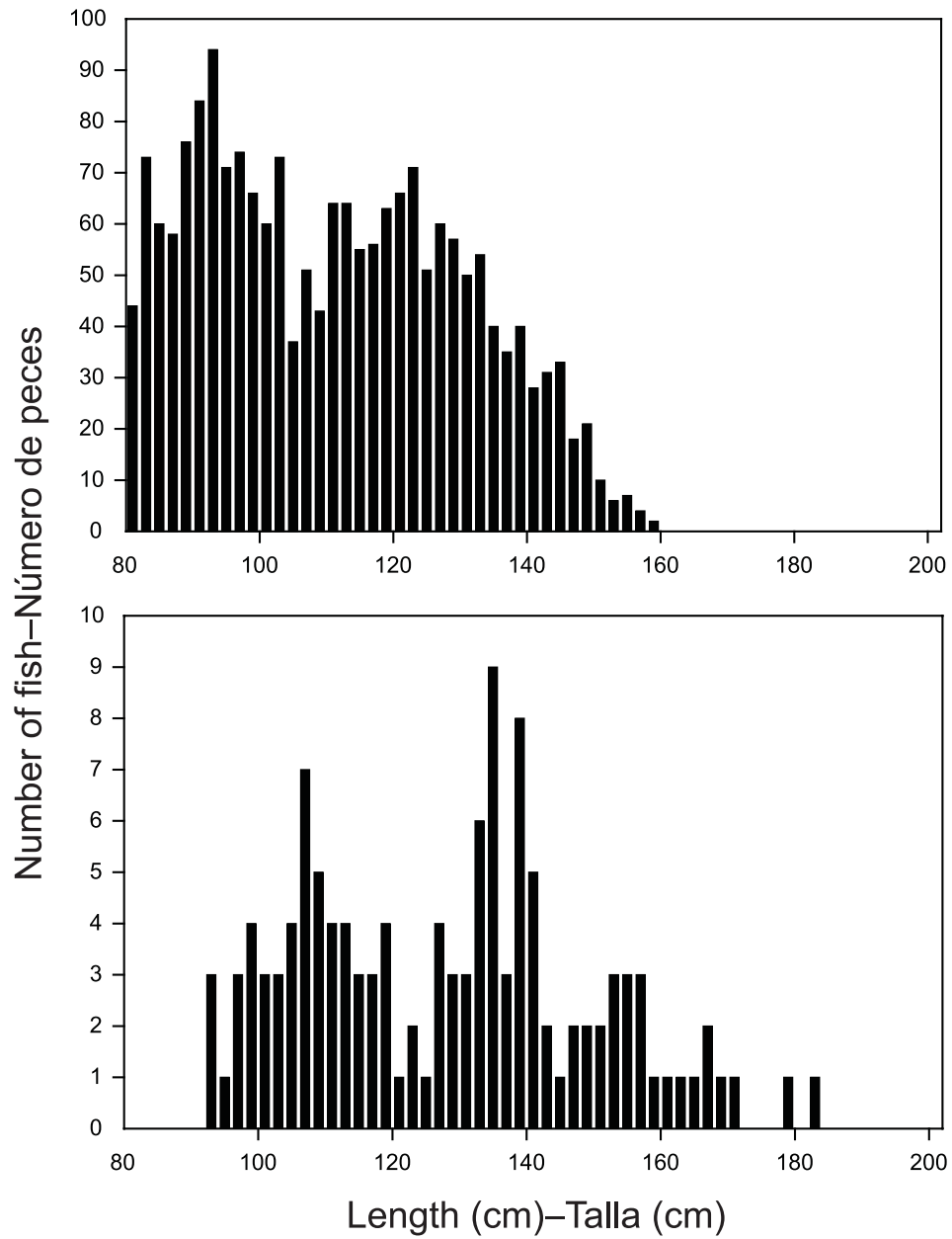


FIGURE 2. Length distributions of female and male bigeye tuna sampled by purse-seine (upper panel) and female bigeye tuna sampled by longline (lower panel) gear.

FIGURA 2. Distribuciones de atunes patudo hembra y macho muestreados con red de cerco (recuadro superior) y atunes patudo hembra muestreados con palangre (recuadro inferior).

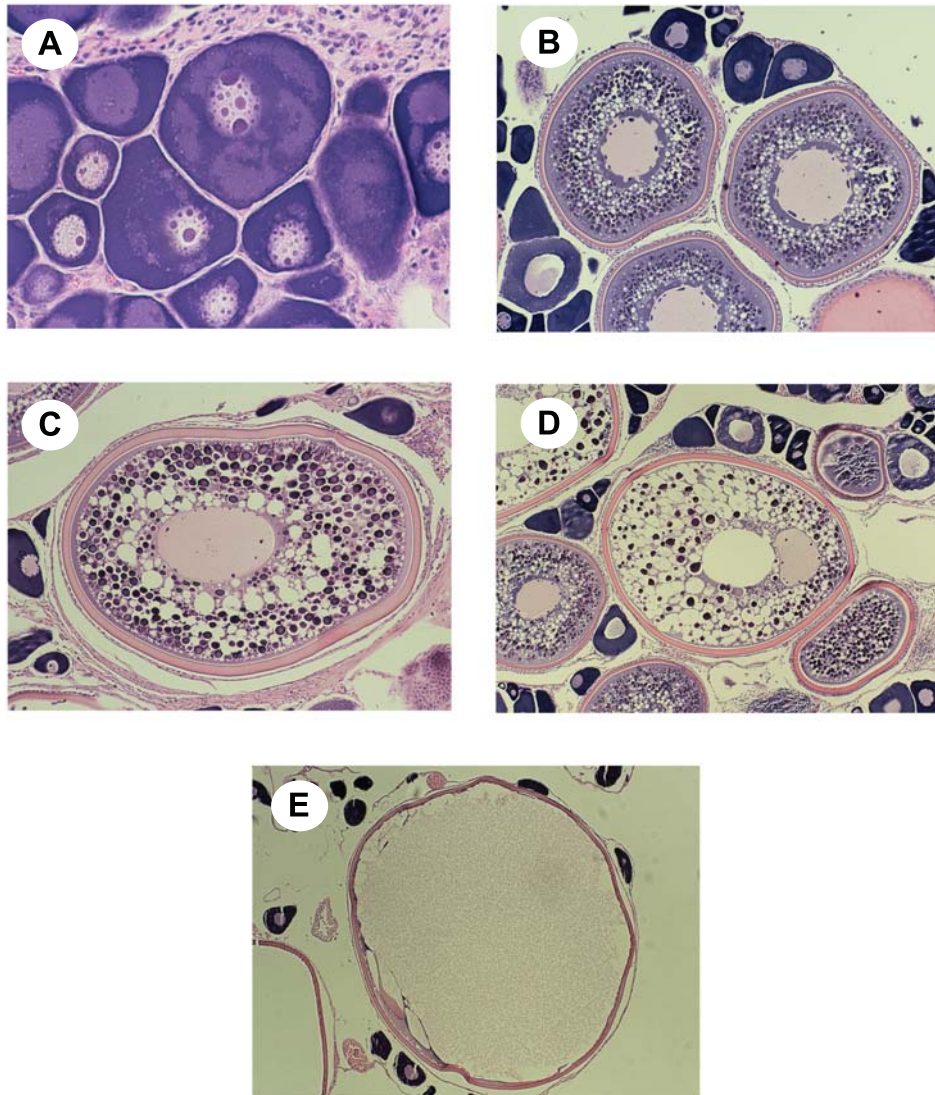


FIGURE 3. Developmental stages of oocytes in bigeye tuna ovaries. (A) Unyolked oocyte (X 160). (B) Early yolked oocyte (X 40). (C) Advanced yolked oocyte (X 40). (D) Migratory-nucleus-stage oocyte (X 25). (E) Hydrated oocyte (X 25).

FIGURA 3. Etapas de desarrollo de los ovocitos en los ovarios del atún patudo. (A) Ovocito sin yema (X 160). (B) Ovocito temprano con yema (X 40). (C) Ovocito con yema avanzada (X 40). (D) Ovocito en etapa de núcleo migratorio (X 25). (E) Ovocito hidratado (X 25).

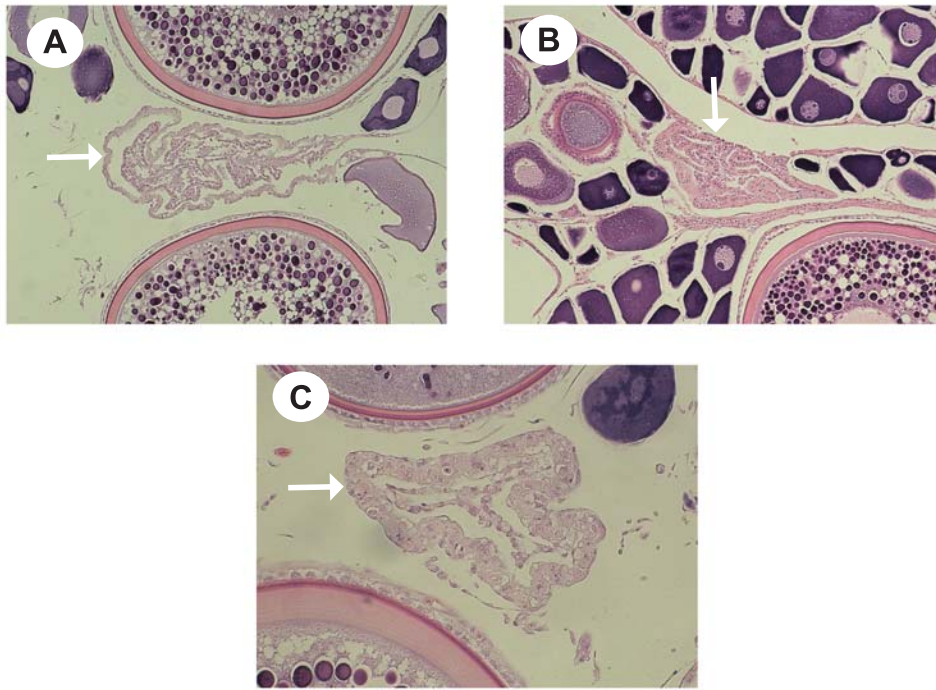


FIGURE 4. Postovulatory follicles (arrows) of bigeye tuna at three stages after spawning. (A) at time of ovulation (X 40). (B) less than 12 h after ovulation (X 40). (C) between 12 and 24 h after ovulation (X 100).

FIGURA 4. Folículos postovulatorios (flechas) de atún patudo en tres etapas después del desove. (A) en el momento de ovulación (X 40). (B) menos de 12 h después de la ovulación (X 40). (C) entre 12 y 24 h después de la ovulación (X 100).

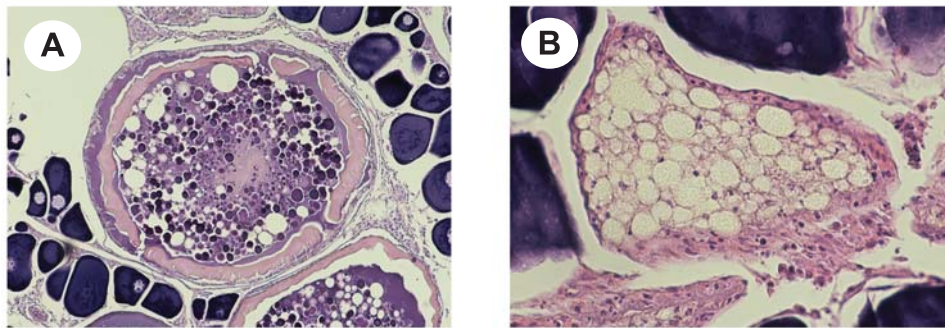


FIGURE 5. Alpha (α) and beta (β) stage atresia in yolked oocytes of bigeye tuna. (A) α atresia (X 40). (B) β atresia (X 160).

FIGURA 5. Atresia en etapas alfa (α) y beta (β) en ovocitos con yema de atún patudo. (A) atresia α (X 40). (B) atresia β (X 160).

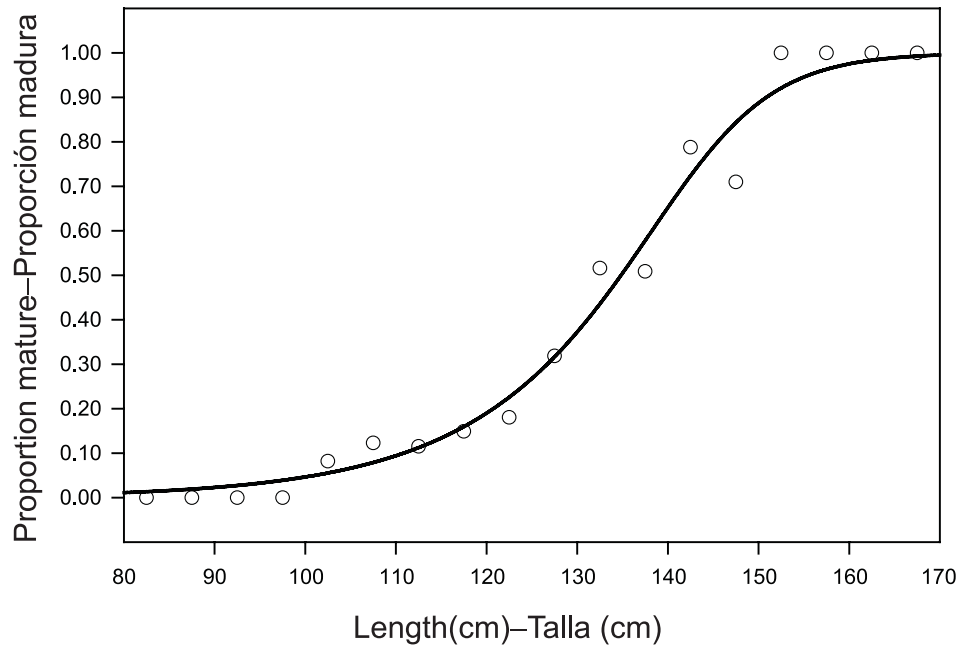


FIGURE 6. Relationship between proportion of female bigeye tuna mature and length. The circles represent the observed value in each 5-cm length interval. The curve is for the Richards equation given in the text.

FIGURA 6. Relación entre la proporción de atún patudo hembra maduro y talla. Los círculos representan el valor observado en cada intervalo de talla de 5 cm. La curva corresponde a la ecuación de Richards en el texto.

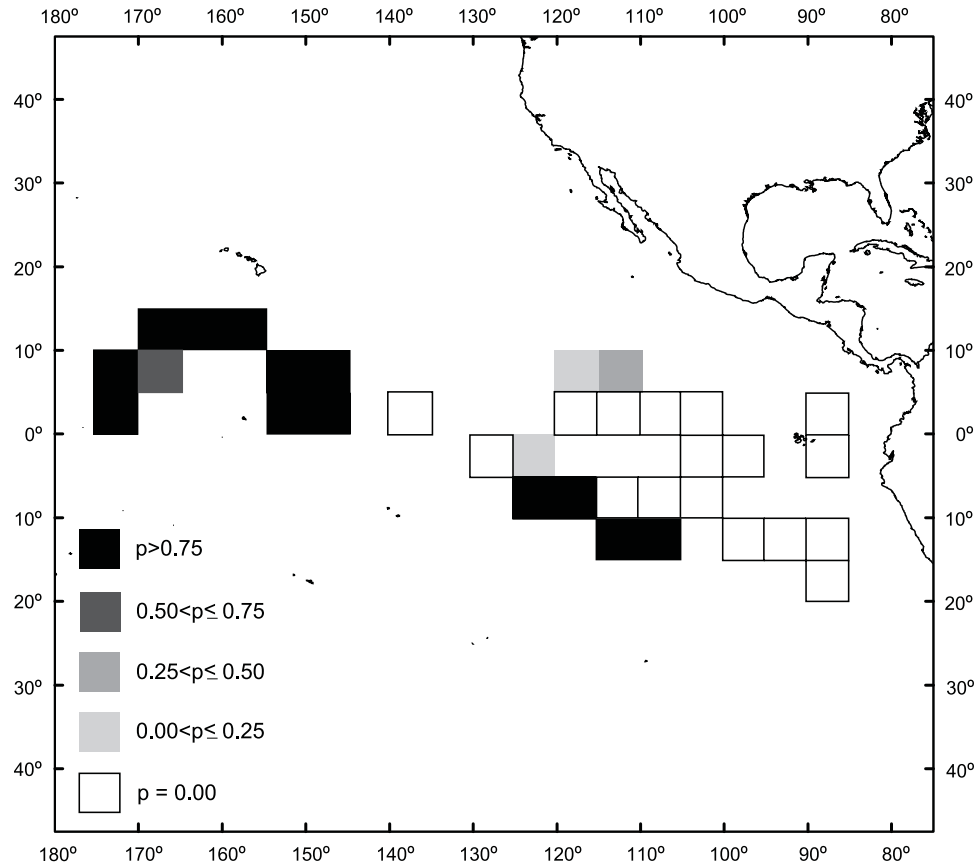


FIGURE 7. Annual spawning distribution of bigeye tuna. The data are presented as the proportions (p) of reproductively-active females relative to the total numbers of mature females captured within the 5-degree areas.

FIGURA 7. Distribución anual del desove del atún patudo. Se presentan los datos como proporciones (p) de hembras reproductivamente activas en relación con el número total de hembras maduras capturadas en las áreas de 5 grados.

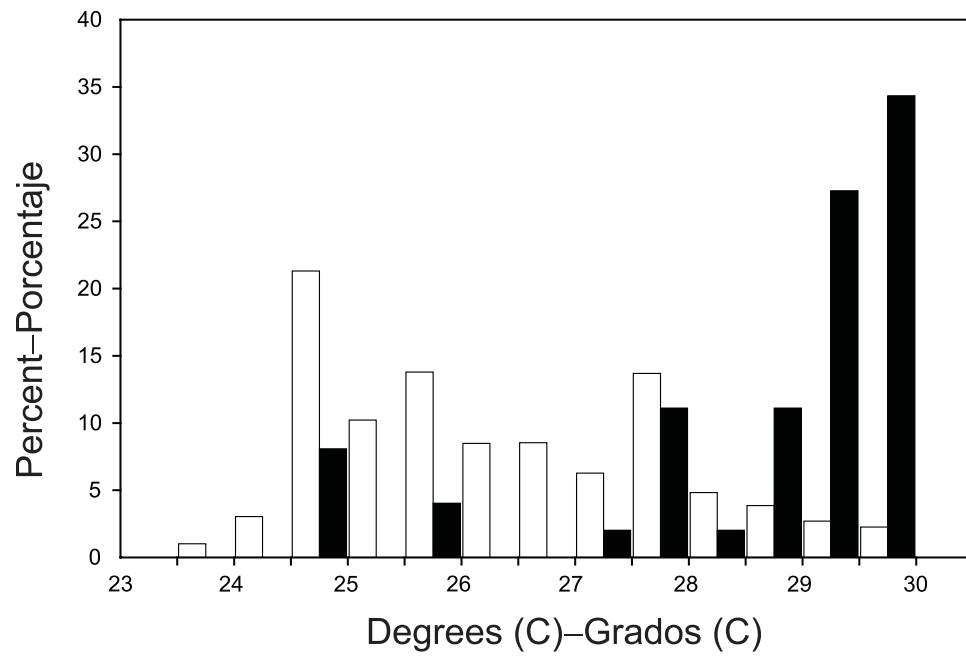


FIGURE 8. Sea-surface temperatures at which bigeye tuna were captured (open bars) and at which spawning was detected (solid bars).

FIGURA 8. Temperatura superficial del mar en las que se capturó atún patudo (barras abiertas) y en las que se detectó desove (barras sólidas).

TABLE 2. Sex ratios of bigeye.

TABLA 2. Proporciones de sexos de patudo.

Length (cm)	Number observed		Percent male	Chi-square
	Male	Female		
Talla (cm)	Número observado		Porcentaje macho	Ji cuadrado
	Macho	Hembra		
80.0-84.9	120	87	58.0	5.26*
85.0-89.9	90	99	47.6	0.43
90.0-94.9	117	82	58.8	6.16*
95.0-99.9	83	83	50.0	0.00
100.0-104.9	77	61	55.8	1.86
105.0-109.9	76	54	58.5	3.72
110.0-114.9	74	70	51.4	0.11
115.0-119.9	100	60	62.5	10.00*
120.0-124.9	89	68	56.7	2.81
125.0-129.9	72	60	54.5	1.09
130.0-134.9	68	45	60.2	4.68*
135.0-139.9	42	42	50.0	0.00
140.0-144.9	44	29	60.3	3.08
145.0-149.9	21	19	52.5	0.10
150.0-154.9	12	5	70.6	2.88

* $P < 0.05$

TABLE 3. Batch and relative fecundity estimates of bigeye.

TABLA 3. Estimaciones de la fecundidad por camada y relativa del patudo.

Length (cm)	Body weight (kg)	Batch fecundity	Relative fecundity
Talla (cm)	Peso del cuerpo (kg)	Fecundidad por camada	Fecundidad relativa
126	45.0	622,718	13.8
128	47.2	925,019	19.6
130	49.5	834,438	16.9
136	56.8	884,841	15.6
142	64.8	1,776,074	27.4
145	69.0	2,965,049	43.0
148	73.4	2,152,076	29.3

**BIOLOGÍA REPRODUCTORA DEL ATÚN PATUDO (*THUNNUS OBESUS*)
EN EL OCEÁNO PACÍFICO ORIENTAL Y CENTRAL**

por

Kurt M. Schaefer¹, Daniel W. Fuller¹, y Naozumi Miyabe²**RESUMEN**

La biología reproductora del atún patudo, *Thunnus obesus*, fue investigada mediante el muestreo de 1.986 peces capturados por buques cerqueros y 124 peces capturados por un buque palangrero en el Océano Pacífico oriental y central entre febrero de 2000 y marzo de 2003. Evaluaciones histológicas de los ovarios de 683 hembras formaron la base para las estimaciones de las características reproductoras por talla. Se observó desove entre 15°N y 15°S y entre 105°O y 175°O, aproximadamente, y ocurrió durante la mayoría de los meses del año en los que la temperatura superficial del mar fue más de unos 24°C. El desove ocurre principalmente de noche, entre las 1900 h y 0400 h. La talla estimada en la que el 50% de las hembras era maduro fue 135 cm. La fecundidad relativa media estimada fue 24 ovocitos por gramo de peso del cuerpo. La fracción de hembras maduras con folículos postovulatorios fue 0,39, lo cual indica que la hembra promedio desova cada 2,6 días. Las hembras reproductivamente activas desovaron cada 1,3 días. La proporción de sexos general no fue 1:1, con una preponderancia de machos.

Palabras clave: atún patudo; desove; fecundidad; madurez; Océano Pacífico; proporción de sexos

INTRODUCCIÓN

El atún patudo, *Thunnus obesus*, que vive en las aguas tropicales y templadas de los Océanos Atlántico, Índico, y Pacífico (Collette y Nauen, 1983; Collette *et al.*, 2001) es un recurso pesquero de gran valor, particularmente para el mercado de sashimi. En el Océano Pacífico, el patudo es capturado con palangre entre 40°N y 40°S y con red de cerco entre 10°N y 20°S (Hampton *et al.*, 1998; Miyabe y Bayliff, 1998). La pesquería palangrera dirige su esfuerzo hacia el patudo mediano y grande, mientras que la pesquería de cerco captura principalmente patudo mediano y pequeño, como consecuencia de un esfuerzo de pesca dirigido hacia atunes asociados con objetos flotantes y dispositivos para agregar peces (plantados).

La captura anual por la pesquería de superficie (buques cerqueros y cañeros) en el Océano Pacífico oriental (OPO) ha aumentado de unas 5 mil toneladas métricas durante 1970-1993 a unas 47 mil toneladas métricas durante 1994-2002 (Anónimo, 2004). Reconociendo las incertidumbres acerca de la biología de la población de atún patudo, existen motivos de preocupación acerca del impacto potencial sobre el recurso del aumento reciente en la captura de atún patudo juvenil por las pesquerías de superficie.

Los datos de maduración aparente, frecuencias de talla, y captura por unidad de esfuerzo (Kikawa, 1962, 1966; Kume y Joseph, 1966; Miyabe, 1994) indican que el potencial reproductor del atún patudo es mayor en el OPO que en el Océano Pacífico occidental y central. Falta información precisa sobre las características reproductoras por talla del atún patudo en el OPO (Schaefer, 2001). Conocimientos de los mismos son fundamentales para la comprensión de muchos de los aspectos de la biología de la población y para poder tomar decisiones informadas sobre la gestión de las pesquerías.

¹ Comisión Interamericana del Atún Tropical, 8604 La Jolla Shores Drive, La Jolla, California 92037-1508, EE.UU.

² National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency, 5-7-1 Orido, Shimizu, Shizuoka, 424-8633, Japón

Los objetivos del presente trabajo son clasificar la condición reproductora del patudo capturado por las pesquerías cerquera y palangrera en el Pacífico oriental y central a fin de definir con precisión: (1) las proporciones de sexos; (2) la talla de madurez; (3) los aspectos espaciotemporales del desove; (4) la fecundidad por camada; (5) la periodicidad y frecuencia del desove.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo en el mar

Observadores de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) muestrearon las gónadas de atunes patudo a bordo de buques cerqueros en el OPO entre febrero de 2000 hasta diciembre de 2001, inclusive (Figura 1). Se obtuvieron gónadas de 1.986 peces capturados en 120 lances realizados durante 21 viajes observados. Los ovarios de 124 patudos hembra adicionales capturados por el buque palangrero japonés de investigación *Kaihatsu-maru* en el OPO y el Océano Pacífico central entre junio de 2002 y marzo de 2003 (Figura 1) fueron muestreados por personal científico a bordo de dicho buque.

El programa de muestreo en el mar requiso que el observador a bordo del buque cerquero obtuviese durante cada viaje las gónadas de atunes patudo capturados en aguas con temperaturas superficiales de 24°C o más, de aproximadamente 12 machos y 12 hembras de cada intervalo de talla de 10 cm, a partir de los 80 cm de talla furcal (TF). En todo caso posible, se muestrearon 20 peces de lances individuales. El programa de muestreo a bordo en el buque palangrero especificó que se obtuvieran las gónadas de patudos de más de 90 cm de TF capturados en aguas de temperatura superficial de 24°C o más. Estos criterios de muestreo se basaron en estudios previos de maduración y desove de patudo (Schaefer, 2001). Cada pez fue medido con calibre al centímetro más cercano, las gónadas fueron extraídas, y el sexo determinado. De cada hembra se cortó una central sección de aproximadamente 1 cm de largo del ovario derecho o izquierdo y se colocó en un frasco con formol neutro al 10%. Se colocó en el frasco una etiqueta de Nalgene Polypaper con la información de captura y la talla del pez. Los ovarios del pez fueron colocados en una bolsa plástica con una etiqueta duplicada y congelados. Para cada lance en el cual se obtuvieron muestras de gónadas, se registró el lugar, fecha y hora de captura, el tipo de lance, y la temperatura superficial del mar (TSM).

En la Figura 2 se presenta la frecuencia de tallas de los machos y hembras capturados por buques cerqueros y aquélla de las hembras capturadas por el buque palangrero.

Proporción de sexos

Los análisis de proporciones de sexos se basaron exclusivamente en los especímenes de patudo muestreados en el mar de lances cerqueros en los que se obtuvo una muestra mínima de 15 peces.

Métodos histológicos

Una porción de cada una de las 683 muestras de tejido de ovario conservado fue empotrada en cera de parafina y seccionado en aproximadamente 5 μm ; las secciones fueron montadas en portaobjetivos de microscopio y teñidos con hematoxilina de Harris, seguida por eosina (Gabe, 1976; Humason, 1979). Las muestras preparadas de esta forma fueron examinadas con un microscopio de luz Nikon Optiphot. Se realizó fotomicroscopía con un aparato fotográfico Nikon Microflex HFX-II y película Fuji Velvia 100.

Clasificación de las hembras

La clasificación histológica de los ovarios de patudo se basó en el sistema de Schaefer (1998). El ovario del patudo es considerado asíncrono (Wallace y Selman, 1981) porque hay presentes en el ovario simultáneamente ovocitos en varias etapas de desarrollo. Para cada ovario, los ovocitos en la moda más desarrollada fueron clasificados de (1) sin yema, (2) con yema temprana, (3) con yema avanzada, (4) en etapa de núcleo migratorio, o (5) hidratados (Figura 3). Los folículos postovulatorios identificados en los ovarios fueron clasificados en uno de tres grupos de edad (0 h, <12 h, o >12 h) (Figura 4). La identificación de atresia alfa (α) fue limitada a los ovocitos con yema avanzada. Los ovarios fueron clasificados en una de tres categorías de atresia α (ninguna, menor (<50%), o mayor (>50%)) y presencia o ausencia de atresia beta (β) (Figura 5). Se usaron los análisis histológicos de los ovarios para estimar la madurez y la etapa de actividad reproductora de hembras individuales (Tabla 1).

Las hembras fueron clasificadas de activas si el ovario contenía ovocitos con yema avanzada y si no había atresia presente, o solamente atresia α menor. Las hembras activas cuyos ovarios mostraban indicios de desove previo (presencia de folículos postovulatorios) o desove inminente (presencia de ovocitos hidratados o de núcleo migratorio), fueron clasificados como en desove, mientras que aquéllas cuyos ovarios no mostraban ningún indicio de desove previo o inminente fueron clasificadas como no en desove. El índice de tasa de desove es la proporción de hembras activas clasificadas de en desove. Se evaluó el desempeño de desove también mediante la evaluación del número de hembras cuyos ovarios mostraban más de una etapa de desove, por ejemplo, ovocitos en etapa de núcleo migratorio o hidratado, y también folículos postovulatorios presentes.

Las hembras con ovarios clasificados de inactivos pueden ser inmaduras o maduras, ya que una hembra madura activa puede resorber el ovario y volver a un estado inactivo. La clasificación utilizada para los ovarios inactivos brinda la mejor oportunidad para distinguir las condiciones madura e inmadura. La clase inactiva-madura incluyó ovarios con indicios de actividad reproductora previa. Los ovarios con ovocitos en las etapas de desarrollo sin yema o con yema temprana también contuvieron atresia α de ovocitos con yema, y/o atresia β . También incluidos en esta clase fueron los ovarios con ovocitos con yema avanzada, más del 50% de los cuales fueron atréticos (con atresia mayor). La clase inmadura consiste de hembras cuyos ovarios contuvieron ovocitos sin yema o con yema temprana, pero ningún indicio de atresia.

Fecundidad por camada

La fecundidad por camada de una hembra fue considerada como el número de ovocitos en etapa de núcleo migratorio en el ovario (Hunter *et al.*, 1985; Schaefer, 1998). Para cada hembra, se contó el número de ovocitos en etapa de núcleo migratorio en dos submuestras de 0,05 a 0,07 g cada uno, medido al 0,1 mg más cercano.

Cada una de las dos submuestras produjo una estimación de la fecundidad por camada de cada hembra, calculada a partir del producto del número de ovocitos de núcleo migratorio por unidad de peso de la submuestra y el peso total de los ovarios. El promedio de estas dos estimaciones fue la estimación de la fecundidad por camada de cada pez. El peso de cada pez fue estimado con una relación peso-talla para el patudo del OPO (Schaefer y Fuller, datos inéditos) para calcular la fecundidad relativa (ovocitos por gramo de peso del cuerpo).

RESULTADOS

Proporciones de sexos

La proporción de sexos general de las muestras de los 120 lances cerqueros fue significativamente diferente ($\chi^2_{.05, 1} = 24.8$) de la proporción esperada de 1:1; 1.085 (55,7%) de los peces fueron machos y 864 (44,3%) hembras. Pruebas de ji cuadrado de machos y hembras agrupados en clases de talla de 5 cm para los datos agrupados (Tabla 2) señalaron un número de machos significativamente mayor en 4 de 15 clases de talla.

Talla de madurez

La función de Richards (1959), con $Y_\infty = 1$, fue ajustada al conjunto de datos de proporción madura no transformado de patudos hembra en cada intervalo de 5 cm, usando un procedimiento de regresión no lineal:

$$Y_x = [1 - (1 - m)e^{-K(x - x_*)}]^{1/(1-m)}$$

donde Y_x = proporción madura en talla x , $m = 3.370570$, $K = 0.167734$, y $x_* = 138.201000$. La relación entre talla y la proporción estimada de peces hembra maduros es bien descrita por la curva de Richards (Figura 6). La talla mínima de madurez sexual observada fue 102 cm. Inicialmente, hay un aumento gradual en la proporción madura hasta justo antes de la talla predicha de 50% de madurez de 135 cm (intervalo de confianza (IC) de 95%: 0.43 a 0.57), en cual punto la proporción madura aumenta rápidamente en relación con la talla. A partir de ese punto, se observa una disminución en la tasa de maduración, con el 90% de las hembras predichas maduras en 151 cm.

Aspectos espaciotemporales del desove

Se usaron los datos de 198 hembras maduras y 102 hembras activas en la descripción de la distribución del desove. En la Figura 7 se presenta la distribución del desove entre febrero de 2000 y marzo de 2003. Se observó desove entre aproximadamente 15°N y 15°S y entre aproximadamente 105°O y 175°O. Estos datos, aunque esporádicos, indican que el desove estuvo ampliamente distribuido, y ocurrió durante la mayoría de los meses del año.

En la Figura 8 se señalan las TSM en los puntos de muestreo de patudos hembra y donde ocurrió desove. Las hembras clasificadas de en desove en estos análisis hubieran desovado en pocas horas, ya que sus ovarios contenían ovocitos de núcleo migratorio o hidratados, o habían desovado en las 24 horas previas, tal como indicaba la presencia de los folículos postovulatorios. El desove ocurrió entre los 24°C y 30°C. El porcentaje de hembras clasificadas de en desove fue mayor con TSM de más de 28°C. Se obtuvo un número considerable de hembras maduras en TSM de entre 24°C y 27°C, pero hubo muy poca actividad reproductora en ese rango de temperaturas (Figura 8).

Fecundidad por camada

Los ovocitos de núcleo migratorio en el tejido de los ovarios fueron identificados inicialmente durante las evaluaciones histológicas de las muestras de microscopio. Fueron fácilmente distinguibles de otros ovocitos enteros en las preparaciones de las muestras de tejido de ovario por su mayor tamaño ($\geq 0,75$ mm) y por su aspecto.

Unos 50 a 100 ovocitos de núcleo migratorio fueron contados en las siete muestras de tejido de ovario aptas para la estimación de la fecundidad por camada. En la Tabla 3 se presentan

las estimaciones de fecundidad por camada y relativa para cada una de las hembras, junto con su talla y peso predicho. Las estimaciones de fecundidad relativa oscilaron entre 13,8 y 43,0 ovocitos por gramo de peso del cuerpo (promedio = 23,7; IC de 95%: 14,1 a 33,3).

Periodicidad del desove

Se puede estimar la hora del día cuando desova el patudo a partir de la hora en que ocurren los distintos estados reproductores. Se obtienen las horas de ocurrencia de los registros de las horas de terminar el lance y de fijar el tejido del ovario. Las muestras capturadas con red de cerco no proveyeron ningún dato de peces capturados entre aproximadamente las 1600 h y 0500 h, ya que las faenas de pesca, particularmente en los plantados, ocurrieron principalmente en las horas antes del amanecer. Las muestras capturadas con palangre, empero, incluyeron registros de peces capturados entre aproximadamente los 1600 h y 0400 h, porque las faenas de pesca palangrera ocurren principalmente de noche. Se observó la ocurrencia de ovocitos en etapa de núcleo migratorio entre las 1234 h y 0646 h, con una hora media de 1724 h. Se observó la ocurrencia de ovarios en etapa hidratada, la etapa final de la ovogénesis antes de la ovulación, entre las 1210 h y 0352 h, con una hora media de las 1914 h. Hubo 14 hembras con folículos postovulatorios nuevos (hora 0), capturadas entre las 1837 h y 0352 h, con una hora media de 2044 h. Parece que el desove del patudo ocurre casi totalmente de noche, entre aproximadamente las 1900 h y 0400 h.

Frecuencia de desove

La fracción de hembras maduras ($n = 198$) con folículos postovulatorios fue 0,39, equivalente a un intervalo medio de desove de 2,6 días. Si se consideran solamente las hembras clasificadas de reproductivamente activas ($n = 102$), la fracción en desove por día 0,78, equivalente a un intervalo medio de desove de 1,3 días.

La talla mínima observada en la cual se observaron folículos postovulatorios fue 103 cm.

DISCUSIÓN

Proporciones de sexos

La proporción general de sexos fue significativamente diferente del 1:1 esperado, ya que el 55,7% de los patudos capturados con red de cerco fueron machos. El análisis de proporciones de sexos por intervalo de talla indicó una preponderancia de machos en 4 de 15 clases (Tabla 2). Las proporciones generales de sexos reportadas para la mayoría de las otras especies de atunes no son significativamente diferentes de la proporción esperada de 1:1 (Schaefer, 2001). No obstante, estudios previos del atún patudo (Kikawa, 1966; Kume y Joseph, 1966; Kume, 1969a; Kume, 1969b; Nikaido, *et al.*, 1991; Pallares *et al.*, 1998; Sun *et al.*, 1999; Matsumoto y Miyabe, 2002), y algunos otros atunes, reportaron también una preponderancia de machos en las proporciones generales de sexos y en los intervalos de talla mayores.

Aunque distinguir ovarios y testículos, a partir de un examen general, es problemático en los individuos de talla menor con gónadas no desarrolladas, las diferencias observadas en el presente estudio probablemente no resultan de identificaciones erróneas, ya que los observadores que realizaron el muestreo están bien capacitados y tienen experiencia. No obstante, no fue posible verificar los datos de proporción de sexos en el laboratorio, ya que se guardaron únicamente los ovarios.

Es posible que ocurra cierta segregación por sexo de los cardúmenes de atún patudo y/o una mayor proporción de machos en los cardúmenes con hembras reproductivamente activas presentes.

Es posible que haya también ciertas diferencias sexuales en el comportamiento, incluyendo la distribución vertical, en las agregaciones de patudo asociadas con objetos flotantes, causando una vulnerabilidad diferencial a la captura por buques cerqueros. Existe evidentemente la necesidad de obtener más datos y de investigaciones de varios aspectos de las proporciones diferenciales de sexos en el atún patudo.

Talla de madurez

La talla a la cual varias proporciones de una población de atún patudo alcanzan la madurez es un parámetro importante del ciclo vital que no ha sido adecuadamente evaluado en los estudios previos de la madurez sexual. Esos estudios han reportado típicamente la talla aparente de primera madurez, dato engañoso con respecto al potencial reproductor de una población e inadecuado para inclusión en las evaluaciones de las poblaciones (Schaefer, 2001). El presente estudio ha derivado una relación funcional entre la proporción madura estimada y la talla de patudos hembra. Mientras que la talla mínima observada de madurez sexual del patudo hembra en el presente estudio fue 102 cm, la talla predicha de 50% de madurez es 135 cm.

Los índices de gónadas o el diámetro de los ovocitos son insuficientes para separar los ovarios en desarrollo de los ovarios posdesove; solamente los exámenes histológicos del tejido del ovario y criterios precisos producen una clasificación exacta de la madurez sexual del atún patudo hembra. Además, la preparación histológica extiende el período durante el cual un pez posdesovador puede ser clasificado mediante la identificación de atresia de etapa α y β en los ovocitos con yema (Schaefer, 2001).

Independientemente de la metodología utilizada, la mayoría de los estudios previos reportaron la talla mínima de madurez sexual del patudo hembra alrededor de los 100 cm, similar a lo que descubrió el presente estudio. Kikawa (1953, 1962) reportó que muy pocos patudos hembra muestreados en el Océano Pacífico eran maduros a menos de 100 cm, a partir de evaluaciones de índices de gónadas. Yuen (1955) reportó una talla mínima de madurez similar, basada en índices de gónadas, para patudos hembra muestreados del Pacífico ecuatorial central y occidental. Kume y Joseph (1966) también reportaron, a partir de índices de gónadas, que la talla mínima de madurez de patudos hembra muestreados del OPO era aproximadamente 100 cm y que el patudo hembra más pequeño observado en condición de desove inminente medía 115 cm. McPherson (1992) reportó que la talla mínima de primera madurez en el Mar de Coral, basada en comparaciones de clasificaciones macroscópicas e histológicas, era 100 y 125 cm en las áreas pescadas con línea de mano y palangre, respectivamente. Se reportó que la talla mínima de madurez basada en evaluaciones histológicas de tejido de ovarios de patudos hembra muestreados en el Océano Pacífico occidental era 100 cm (Sun *et al.*, 1999).

En contraste con otros estudios previos de la madurez del patudo, la hembra madura más pequeña reportada del Mar de Coral noroeste en un estudio relativamente reciente fue 80 cm, y se estimó la talla de 50% de madurez en 102,4 cm en las hembras (Farley *et al.*, 2003). La clasificación de maduro o inmaduro se basó, sin embargo, en el aspecto macroscópico de los ovarios, lo cual potencialmente resultó en una subestimación de la talla de 50% de madurez. Cabe notar que las características del ciclo vital del patudo, incluyendo la talla de madurez, podrían mostrar cierta variación geográfica a través del Pacífico, considerando el nivel limitado de mezcla observado en estudios de marcado hasta la fecha (Hampton y Williams, 2005; Schaefer y Fuller, 2005).

Aspectos espaciotemporales del desove

Aunque la cobertura de muestreo de las gónadas de atún patudo en el presente estudio fue insuficiente para una descripción completa de la dinámica espaciotemporal en las distribuciones

del desove en el Océano Pacífico oriental y central, hay ciertos patrones y relaciones significantes derivados de estos datos. A partir de la identificación histológica de hembras reproductivamente activas, se observó que el desove ocurre en una zona amplia y durante la mayoría de los meses del año. El desove ocurrió en zonas donde las TSM variaron de 24°C a 30°C.

Parece que el desove de la mayoría de las especies de atunes ocurre durante todo el año en las regiones tropicales y en temporadas en las regiones subtropicales. Un factor común entre esas especies es que el desove tiene lugar en TSM de más de unos 24°C, y es probablemente continuo para los individuos enérgicamente capaces de desovar (Schaefer, 2001). Se reporta que el desove de patudo ocurre en todas las regiones ecuatoriales del Océano Pacífico durante la mayoría de los meses del año (Yuen, 1955; Kikawa, 1962, 1966; Kume y Joseph, 1966; Nishikawa *et al.*, 1985). Kume (1967) reportó una correlación entre la ocurrencia de patudos sexualmente inactivos y TSM de menos de 23°C a 24°C. Hisada (1979), en un informe de los resultados de un estudio realizado en el Océano Pacífico, descubrió que la actividad reproductora ocurre donde la profundidad de la capa superior de mezcla es al menos 50 m y la TSM es al menos 24°C.

Fecundidad por camada

Aunque hubo solamente siete muestras de ovario aptas para la estimación de la fecundidad por camada en el presente estudio, los resultados indican que la fecundidad relativa del atún patudo (24 ovocitos por gramo de peso del cuerpo) es mucho más baja que aquella del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (67 ovocitos por gramo de peso del cuerpo) (Schaefer, 1998) o el atún aleta azul del sur *Thunnus maccoyii* (57 ovocitos por gramo del peso del cuerpo) (Farley y Davis, 1998), pero similar a aquél derivado para el patudo del Océano Pacífico occidental (31 ovocitos por gramo de peso del cuerpo) (Nikaido *et al.*, 1991). La fecundidad por camada estimada para el patudo en el presente estudio y aquella de Nikaido *et al.* (1991) son mucho más bajas que las estimaciones de Yuen (1955) o Sun *et al.* (1999), que aparentemente no se basaron en conteos de ovocitos de núcleo migratorio o hidratados, y por lo tanto podrían estar sesgados hacia arriba (Schaefer, 2001).

Solamente en las etapas finales de la maduración de los ovocitos, comenzando con la fase de núcleo migratorio y seguido por la hidratación, ocurre una interrupción notoria en la distribución de los ovocitos en los ovarios de los atunes de los cuales se pueden derivar estimaciones de fecundidad por camada (Hunter *et al.*, 1985; Schaefer, 1998). Ya que el desove de los atunes ocurre principalmente de noche (Schaefer, 2001), y la fase de núcleo migratorio que precede la hidratación no ocurre típicamente hasta fines de la tarde, esto deja un período muy corto para obtener muestras adecuadas para la estimación de la fecundidad por camada, particularmente de las capturas de buques cerqueros, que realizan sus lances principalmente de día. Existe la necesidad de investigar más a fondo la fecundidad por camada del atún patudo por todo el rango de tallas de peces maduros mediante el muestreo de centenares de muestras de ovarios adecuadas de buques palangreros, que faenan de noche.

Periodicidad y frecuencia del desove

Tal como se observó en el presente estudio, el atún patudo, al igual que otros atunes investigados, muestra un desove nocturno (Schaefer, 2001). A partir de la clasificación histológica de los ovarios usados en el presente estudio y el horario aparente de la ovogénesis, se concluyó que el desove del patudo ocurrió casi exclusivamente de noche, entre aproximadamente las 1900 h y 0400 h. Los resultados del presente estudio son similares a aquéllos reportados para el desove del atún patudo entre las 1900 h y 2400 h en el Océano Pacífico central y occidental (Nikaido *et al.*, 1991) y entre las 1900 h y 0400 h en el Océano Atlántico central (Matsumoto y Miyabe, 2002).

La estimación de la frecuencia de desove, como intervalo medio de desove entre eventos secuenciales de desove, es esencial para la comprensión de la dinámica reproductora del atún patudo. Conocimientos del aspecto y la longevidad de los folículos postovulatorios en los ovarios del atún patudo después del desove son necesarios para la estimación de la frecuencia del desove (Hunter y Macewicz, 1985; Schaefer, 2001). La edad y la longevidad de los folículos postovulatorios han sido determinadas solamente para el atún barrilete, *Katsuwonus pelamis* (Hunter *et al.*, 1986) y el atún aleta amarilla, *Thunnus albacares* (Schaefer, 1996). Las tasas de degeneración y resorción de los folículos postovulatorios, junto con el desarrollo de los ovocitos, están aparentemente correlacionados con la temperatura (Fitzhugh y Hettler, 1995), y la frecuencia de los ovarios que contienen folículos postovulatorios puede ser usada para estimar la frecuencia del desove en otras especies de atunes (Schaefer, 2001).

En el presente estudio, la fracción estimada de atunes patudo hembra maduros en la población que desova por día fue 0,39, equivalente a una frecuencia de desove de 2,6 días. Este es el intervalo medio de desove de la hembra madura media en la población durante el período del presente estudio, y no implica que los peces individuales desoven a ese ritmo durante todo el año. Si se consideran solamente las hembras clasificadas de reproductivamente activas, la fracción que desova por día es 0,78, equivalente a un intervalo medio de desove de 1,3 días, lo cual implica que las hembras reproductivamente activas desovan casi a diario. Han sido reportadas frecuencias de desove similares para patudos hembra maduros y reproductivamente activos en el Océano Pacífico central y occidental (Nikaido *et al.*, 1991; Sun *et al.*, 1999) y el Océano Atlántico central y oriental (Batalyants, 1992; Matsumoto y Miyabe, 2002).

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Robin Allen, Director de la CIAT, Rick Deriso, Científico Jefe del Programa Atún-Picudo de la CIAT, y Ziro Suzuki, Jefe de la División de Recursos Pelágicos del NRIFSF, su apoyo de esta investigación. Estamos muy agradecidos a los armadores y capitanes de los buques cerqueros que permitieron el muestreo de gónadas a bordo de sus buques y a los observadores que realizaron el muestreo. Estamos asimismo agradecidos a los científicos y tripulantes a bordo del buque de investigación *Kaihatsu-Maru* (Japan Marine Fisheries Resources Research Center) por realizar el muestreo de gónadas en el mar. Quisiéramos también agradecer a Bill Bayliff, Rick Deriso, Jeanne Wexler, y dos árbitros anónimos por sus comentarios constructivos sobre los borradores del manuscrito.

LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Anonymous. 2004. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 2002: 149 pp.
- Batalyants, K.Ya. 1992. On the study of spawning frequency for bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), based on the Atlantic longline fishery data. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap., 39 (1): 31-38.
- Collette, B.B. and C.E. Nauen. 1983. FAO species catalogue. Vol. 2. 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.
- Collette, B.B., C. Reeb, and B.A. Block. 2001. Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). In Block, B.A. and E.D. Stevens (eds.), Tuna: Physiology, Ecology and Evolution, Fish Physiology, Vol. 19, Academic Press. San Diego: 1-33.
- Farley, J.H. and T.L.O. Davis. 1998. Reproductive dynamics of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 96 (2): 223-236.
- Farley, J., N. Clear, B. Leroy, T. Davis, and G. McPherson. 2003. Age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) from the eastern and western AFZ. CSIRO Marine Research, Fisheries Research and Development Corporation, and Queensland Government, Department of Primary Industry, Report No. 2000/100: iv, 93 pp.
- Fitzhugh, G.R. and W.F. Hettler. 1995. Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 93 (4): 568-572.
- Gabe, M. 1976. Histological Techniques. Springer-Verlag, N.Y.: 1106 pp.
- Hampton, J., K. Bigelow, and M. Labelle. 1998. A summary of current information on the biology, fisheries and stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Pacific Ocean, with recommendations for data requirements and future research. Secretariat of the Pacific Community, Ocean Fish. Prog., Tech. Rept. 36: 46 pp.
- Hampton, J. and P. Williams. 2005. A description of tag-recapture data for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the western and central Pacific Ocean. Int. Comm. Cons. Atl. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap. 57 (2): 85-93.
- Hisada, K. 1979. Relationship between water temperature and maturity status of bigeye tuna caught by longline in the central and eastern Pacific Ocean. Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 17: 159-175.
- Humason, G.L. 1979. Animal Tissue Techniques. W.H. Freeman and Co., San Francisco: 661 pp.
- Hunter, J.R., N.C.H. Lo, and R.J.H. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In Lasker, R. (editor). An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Tech. Rep., 36: 67-78.
- Hunter, J.R. and B.J. Macewicz. 1985. Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. In Lasker, R. (editor). An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Tech. Rep., 36: 79-94.

- Hunter, J.R., B.J. Macewicz, and J.R. Sibert. 1986. The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the South Pacific. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 84 (4): 895-903.
- Kikawa, S. 1953. Observations on the spawning of the big-eyed tuna (*Parathunnus mebachi* Kishinouye) near the Southern Marshall Islands. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Contr., 1 (42): 10 pp.
- Kikawa, S. 1962. Studies on the spawning activity of Pacific tunas, *Parathunnus mebachi* and *Neothunnus macropterus*, by the gonad index examination. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Occas. Rep., 1: 43-56.
- Kikawa, S. 1966. The distribution of maturing bigeye and yellowfin and an evaluation of their spawning potential in different areas in the tuna longline grounds in the Pacific. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 23: 131-208.
- Kume, S. 1967. Distribution and migration of bigeye tuna in the Pacific Ocean. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 25: 75-80.
- Kume, S. 1969a. Ecological studies on bigeye tuna - V. A critical review on distribution, size composition and stock structure of bigeye tuna in the north Pacific Ocean (north of 16° N). Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 1: 57-75.
- Kume, S. 1969b. Ecological studies on bigeye tuna - VI. A review on distribution and size composition of bigeye tuna in the equatorial and south Pacific Ocean. Far Seas Fish. Res. Lab., Bull., 1: 77-98.
- Kume, S. and J. Joseph. 1966. Size composition, growth and sexual maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus* (Lowe), from the Japanese long-line fishery in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 11 (2): 45-99.
- Matsumoto, T. and N. Miyabe. 2002. Preliminary report on the maturity and spawning of bigeye tuna *Thunnus obesus* in the central Atlantic Ocean. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap., 54 (1): 246-260.
- McPherson, G.R. 1992. Assessing macroscopic and histological staging of yellowfin and big eye ovaries in the north-western Coral Sea. Inf. Ser. Dep. Primary Ind. (Queensl.) Brisbane. 26 pp.
- Miyabe, N. 1994. A review of the biology and fisheries for bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Pacific Ocean. FAO Fish. Tech. Pap., 336 (2): 207-243.
- Miyabe, N. and W.H. Bayliff. 1998. A review of information on the biology, fisheries, and stock assessment of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Spec. Rept., 9: 129-170.
- Nikaido, H., N. Miyabe, and S. Ueyanagi. 1991. Spawning time and frequency of bigeye tuna, *Thunnus obesus*. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish., Bull., 28: 47-73.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi, and S. Kikawa. 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. Far Seas Fish. Res. Lab., S Ser., 12: 99 pp.
- Pallares, P., J. Pereira, and N. Miyabe. 1998. Atlantic bigeye tuna: overview of present knowledge (November 1996). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Spec. Rept., 9: 20-80.

- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.*, 10 (29): 290-300.
- Schaefer, K.M. 1996. Spawning time, frequency, and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, near Clipperton Island Atoll in the eastern Pacific Ocean. *U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull.*, 94 (1): 98-112.
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 21 (5): 201-272.
- Schaefer, K.M. 2001. Reproductive biology of tunas. In Block, B.A. and E.D. Stevens (eds.). *Tuna: Physiology, Ecology and Evolution. Fish Physiology, Vol. 19*, Academic Press. San Diego: 225-270.
- Schaefer, K.M. and D.W. Fuller. 2005. Conventional and archival tagging of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. Comm. Cons. Atl. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap.*, 57 (2): 67-84.
- Sun, C.L., S.L. Chu, and S.Z. Yeh. 1999. Note on the reproduction of bigeye tuna in the western Pacific. *Secretariat of the Pacific Community, Ocean. Fish. Prog., Standing Committee on Tuna and Billfish. SCTB-12. BET-4.*
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am. Zool.*, 21 (2): 325-343.
- Yuen, H.S.H. 1955. Maturity and fecundity of bigeye tuna in the Pacific. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rept., Fish.*, 150: 31 pp.

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, (2) to recommend appropriate conservation measures so that the stocks of fish can be maintained at levels which will afford maximum sustainable catches, and (3) to collect information on compliance with Commission resolutions. The principal responsibilities of the Tuna-Dolphin Program are (1) to monitor the abundance of dolphins and their mortality incidental to purse-seine fishing in the eastern Pacific Ocean, (2) to study the causes of mortality of dolphins during fishing operations and promote the use of fishing techniques and equipment that minimize these mortalities, (3) to study the effects of different modes of fishing on the various fish and other animals of the pelagic ecosystem, and (4) to provide a secretariat for the International Dolphin Conservation Program.

An important part of the work of the IATTC is the prompt publication and wide distribution of its research results. The Commission publishes its results in its Bulletin, Special Report, and Data Report series, all of which are issued on an irregular basis, and its Stock Assessment Reports, which are published annually.

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.

Additional information on the IATTC's publications can be found in its web site.

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 a fin de determinar los efectos de la pesca y los factores naturales sobre su abundancia, (2) recomendar medidas apropiadas de conservación para permitir mantener los stocks de peces a niveles que brinden las capturas máximas sostenibles, (3) reunir información sobre el cumplimiento de las resoluciones de la Comisión. Las responsabilidades principales del segundo son (1) dar seguimiento a la abundancia de los delfines y la mortalidad de los mismos incidental a la pesca con red de cerco en el Océano Pacífico oriental, (2) estudiar las causas de la mortalidad de delfines durante las operaciones de pesca y fomentar el uso de técnicas y aparejo de pesca que reduzcan dicha mortalidad al mínimo, (3) estudiar los efectos de distintas mortalidades de pesca sobre los varios peces y otros animales del ecosistema pelágico, (4) proporcionar la Secretaría para el Programa Internacional para la Conservación de los Delfines.

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, Informes Especiales, e Informes de Datos, los cuales son emitidas en forma irregular, y sus Informes de Evaluación de Stocks, que son publicados anualmente.

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.

Información adicional de las publicaciones de la CIAT puede ser encontrado en su sitio de internet.

Editor—Redactor
William H. Bayliff

Inter-American Tropical Tuna Commission
Comisión Interamericana del Atún Tropical
8604 La Jolla Shores Drive
La Jolla, California 92037-1508, U.S.A.
www.iattc.org