# **ANNUAL REPORT**

of the

**Inter-American Tropical Tuna Commission** 

1989

# **INFORME ANUAL**

de la

Comisión Interamericana del Atún Tropical

La Jolla, California 1991

# CONTENTS-INDICE

# ENGLISH VERSION – VERSION EN INGLES

Page
INTRODUCTION
COMMISSION MEETING
ADMINISTRATION 9 Budget 9 Financial statement 9
INTER-AGENCY COOPERATION 9
VISITING SCIENTISTS AND STUDENTS
FIELD STATIONS
PUBLICATIONS AND REPORTS
THE FISHERY
REGULATION OF THE FISHERY
RESEARCH
STATUS OF THE TUNA STOCKS IN 1989       48         AND OUTLOOK FOR 1990       48         Yellowfin       48         Skipjack       62         Northern bluefin       66         Bigeye       69         Black skipjack       72
FIGURES AND TABLES-FIGURAS Y TABLAS

# VERSION EN ESPAÑOL-SPANISH VERSION

Página
INTRODUCCION
REUNION DE LA COMISION
ADMINISTRACION 191 Presupuesto 191 Informe financiero 191
COLABORACION ENTRE ENTIDADES AFINES 191
CIENTIFICOS Y ESTUDIANTES EN VISITA 192
OFICINAS REGIONALES
PUBLICACIONES E INFORMES
LA PESQUERIA
REGLAMENTACION DE LA PESQUERIA
LA INVESTIGACION197Biología de los túnidos197Investigaciones atún-delfín225
CONDICION DE LOS STOCKS DE ATUNES EN 1989 Y PERSPECTIVAS PARA 1990 . 233 Aleta amarilla . 233 Barrilete . 248 Aleta azul del norte . 252 Patudo . 256 Barrilete negro . 259
APPENDIX 1-ANEXO 1
STAFF-PERSONAL
FINANCIAL STATEMENT—DECLARACION FINANCIERA 265
APPENDIX 3—ANEXO 3 PUBLICATIONS—PUBLICACIONES

# COMMISSIONERS OF THE INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION AND THEIR PERIODS OF SERVICE FROM ITS INCEPTION IN 1950 UNTIL DECEMBER 31, 1989

# LOS COMISIONADOS DE LA COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL Y SUS PERIODOS DE SERVICIO DESDE LA INICIACION EN 1950 HASTA EL 31 DE DICIEMBRE DE 1989

COSTA RICA	MEXICO
Virgílio Aguiluz	Rodolfo Ramirez G
José L. Cardona-Cooper	Mauro Cárdenas F
Victor Nigro	Hector Chapa Saldaña
Fernando Flores B	Maria Emilia Téllez B
Milton H. López G	Juan Luis Cifuentes L
Eduardo Beeche T	Alejandro Cervantes D
Francisco Teran Valls	Amin Zarur M
Manuel Freer	Arturo Díaz R
Gabriela Myers	Joaquin Mercado F
Rodolfo Sáenz O	Pedro Mercado S
Manuel Freer Jimenez	Fernando Castro y Castro
Carlos P. Vargas	
	CANADA
UNITED STATES OF AMERICA	Emerson Gennis
Lee F. Payne	Alfred W. H. Needler
Milton C. James	E. Blyth Young
Gordon W. Sloan	Leo E. Labrosse
John L. Kask	Robert L. Payne
John L. Farley1953-1956	G. Ernest Waring
Armie J. Suomela	S. Noel Tibbo
Robert L. Jones	James S. Beckett
Eugene D. Bennett	Michael Hunter
J. Laurence McHugh	
John G. Driscoll, Jr	JAPAN
William H. Holmstrom	Tomonari Matsushita
Donald P. Loker	Shoichi Masuda
William M. Terry	Fumihiko Suzuki
*	
Steven E. Schanes	Serya Nishida
Robert C. Macdonald	Kunio Yonezawa
Wilvan G. Van Campen	Harunori Kaya
Jack Gorby1975-	Michio Mizoguchi
Glen H. Copeland	Michihiko Junihiro
Wymberley Coerr	Tatsuo Saito
Henry R. Beasley	Toshio Isogai
Mary L. Walker	Susumu Akiyama
	Ryuichi Tanabe
PANAMA	Satoshi Moriya
Miguel A. Corro	Yamato Ueda1985-
Domingo A. Diaz	Takehisa Nogami
Walter Myers, Jr	Kazuo Shima
Juan L. de Obarrio	Shigenobu Kato
Richard Eisenmann	Kouji Imamura1989-
Gabriel Galindo	
Harmodio Arias. Jr	FRANCE
Roberto Novey	Serge Garache1973-
Carlos A. López Guevara	Robert Letaconnoux
Dora de Lanzner	Rene Thibaudau
Camilo Quintero	Maurice Fourneyron
Arquimedes Franqueza	Dominique Piney
Federico Humbert, Jr	-1y
Carolina T. de Mouritzen	NICARAGUA
Jaime Valdez	Gilberto Bergman Padilla
Carlos Areliano L	Antonio Flores Arana
Luis E. Rodriguez	Jose B. Godoy
Armando Martínez	Octavio Gutierrez D
Carlos Icaza	Jamil Urroz E
Dalva H. Arosemena M	Abelino Aróstegui Valladares
Jorge Lymbercpulos	Sergio Martínez Casco
voigo Dynastopatos	bergio martinez Gasto
ECUADOR	
César Raza	Deceased in service April 10, 1961
Enrique Ponce y Cabro	Murió en servicio activo el 10 de abril de 1961
Pedro José Arteta	<sup>2</sup> Deceased in service April 26, 1965
Eduardo Burneo	Murió en servicio activo el 26 de abril de 1965
Héctor A. Chiriboga	Deceased in service December 18, 1968
Francisco Baquerizo	Murió en servicio activo el 18 de diciembre de 1968
Vicente Tamarız A	Deceased in service May 5, 1973
Wilson Vela H	Murió en servicio activo el 5 de mayo de 1973
Luis Pareja P.	Deceased in service October 16, 1975 Murió en servicio activo el 16 de octubre de 1975

# ANNUAL REPORT OF THE INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION, 1989

#### INTRODUCTION

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, and France and Nicaragua in 1973. Ecuador withdrew from the Commission in 1968, Mexico in 1978, Costa Rica in 1979, and Canada in 1984. Costa Rica re-adhered to the convention in 1989.

The principal duties of the Commission under the convention are (1) to study the biology of the tunas and related species of the eastern Pacific Ocean with a view to determining 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.

In 1976 the Commission's duties were broadened to include problems arising from the tunadolphin relationship in the eastern Pacific Ocean. As its objectives it was agreed that, "the Commission should strive [1] to maintain a high level of tuna production and also [2] to maintain porpoise stocks at or above levels that assure their survival in perpetuity, [3] with every reasonable effort being made to avoid needless or careless killing of porpoise." The specific areas of involvement were to be (1) monitoring population sizes and mortality incidental to fishing through the collection of data aboard tuna purse seiners, (2) aerial surveys and dolphin tagging, (3) analyses of indices of abundance of dolphins and computer simulation studies, and (4) gear and behavioral research and education.

To carry out these missions, the Commission is required to conduct a wide variety of investigations at sea, in ports where tunas are landed, and in the laboratory. The research is carried out by a permanent, internationally-recruited research and support staff selected and employed by the Director (Appendix 1), who is directly responsible to the Commission.

The scientific program is now in its 39th year. The results of its research are published by the Commission in its Bulletin series in English and Spanish, its two official languages. Reviews of each year's operations and activities are reported upon in its Annual Report, also in the two languages. Other studies are published in the Commission's Special Report series and in books, outside scientific journals, and trade journals.

#### COMMISSION MEETING

The Commission held its 46th meeting in Paris, France, on May 10–12, 1989. Mr. Dominique Piney of France served as Chairman. Representatives of all five member governments attended the meeting, as did observers from Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Mexico, Peru, the Seychelles, Spain, Taiwan, the Union of Soviet Socialist Republics, Vanuatu, Venezuela, the European Economic Community, the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the Organization of Economic Cooperation and Development, and Greenpeace.

The following agenda was adopted:

- 1. Opening of meeting
- 2. Adoption of agenda
- 3. Review of current tuna research
- 4. The 1988 fishing year
- 5. Status of tuna stocks
- 6. Review of tuna-dolphin program
- 7. Recommendations for 1989
- 8. Recommended research program and budget for 1990-1991
- An update of activities concerning arrangements for tuna management in the eastern Pacific
- 10. Place and date of next meeting
- 11. Election of officers
- 12. Other business
- 13. Adjournment

The following actions were taken by the Commission:

(1) The Commission staff recommended a yellowfin catch quota of 220,000 short tons for the 1989 fishing year, with the option to increase this limit by two increments of 30,000 tons each to allow for the possibility that the staff has underestimated the stock abundance. The rationale for this recommendation is given in Background Paper 2 prepared for the meeting, which is available from the Commission on request. The Commission adopted the following resolution regarding a yellowfin conservation program for 1989:

The Inter-American Tropical Tuna Commission, having the responsibility for management of tunas and tuna-like fishes of the eastern Pacific Ocean, and having maintained since 1950 a continuing scientific program directed towards the study of such resources,

*Notes* that the yellowfin tuna resource of the eastern Pacific supports one of the most important surface fisheries for tunas in the world, and

*Recognizes*, based on past experience in the fishery, that potential production from the resource can be reduced by excessive fishing effort;

Recalls that from 1966 through 1979 the implementation of a successful conservation program maintained the yellowfin stocks at high levels of abundance, and

Notes that from 1980 through 1986, and in 1988, although no conservation program was implemented, conservation measures were nevertheless recommended by the scientific staff to the Commissioners, and in turn such measures were recommended by the Commissioners to their respective governments, and

Observes that, at current levels of abundance and at current fleet capacity, the stocks of yellowfin can be over-exploited, and

Concludes that a limitation on the catch of yellowfin tuna should be implemented during the 1989 fishing year.

The Inter-American Tropical Tuna Commission therefore recommends to the High Contracting Parties that when a yellowfin conservation program is adopted for 1989, an annual quota of 220,000 short tons should be established on the total catch of yellowfin tuna for the 1989 calendar year from the CYRA as defined in the resolution adopted by the Commission on May 17, 1962, and

Further recommends that the Director should be authorized to increase this limit by no more than two successive increments of 30,000 short tons each if he concludes from examination of available data that such increases will offer no substantial danger to the stock, and

*Finally recommends* that all member states and other interested states work diligently to achieve the implementation of such a yellowfin conservation program for 1989.

- (2) The Commission agreed to a proposed budget of \$3,706,020 for the 1990–1991 fiscal year.
- (3) The Commission agreed to hold its next regular meeting in Washington, USA, on dates to be decided later.
- (4) The Commission elected a Commissioner from the United States and Lic. Dalva H. Arosemena M. of Panama as Chairman and Secretary, respectively, of the Commission for 1990. The U.S. Commissioner to serve as Chairman would be decided later.

# ADMINISTRATION

#### BUDGET

At its 44th meeting, held in Panama, Republic of Panama, on May 5–7, 1987, the Commission unanimously approved the budget for the 1988–1989 fiscal year, submitted by the Director, in the amount of \$3,525,454. However the final amount received from the member nations during the 1988–1989 fiscal year was \$2,846,010, a shortfall of \$679,444 relative to the amount which was recommended and approved. As a consequence, some planned research had to be limited.

#### FINANCIAL STATEMENT

The Commission's financial accounts for fiscal year 1988–1989 were audited by Peat, Marwick, Mitchell and Co. Summary tables of its report are shown in Appendix 2 of this report.

# INTER-AGENCY COOPERATION

During 1989 the scientific staff continued to maintain close contact with university, governmental, and private research organizations and institutions on the local, national, and international level. This contact enabled the staff to keep abreast of the rapid advances and developments taking place in fisheries research and oceanography throughout the world. Some aspects of these relationships are described below.

The Commission's headquarters are located on the campus of Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, California, one of the major world centers for the study of marine science and the headquarters for state and federal agencies involved in fisheries, oceanography, and ancillary sciences. This situation provides the staff an excellent opportunity to maintain frequent contact with scientists of these organizations.

The cordial and productive relationships which this Commission has enjoyed with the Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, the International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), the Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA), the South Pacific Commission (SPC), and other international bodies have continued for many years. In 1989, for example, two staff members attended a preliminary meeting of the Expert Consultation on Interactions of Pacific Ocean Tuna Fisheries, sponsored by FAO, at Noumea, New Caledonia. One of them is serving as

Chairman of the working groups on eastern Pacific yellowfin and eastern Pacific skipjack, and the other is serving as Chairman of the working group on northern bluefin.

Also during 1989 the Commission maintained close working relationships with fishery agencies of its member countries, as well as similar institutions in many non-member countries in various parts of the world. Since 1977 the IATTC staff has been training scientific technicians for placement aboard tuna vessels to collect data on abundance, mortality, and other aspects of the biology of dolphins. Government organizations, educational institutions, and industry representatives from the various countries involved have cooperated fully in the training and placement of these technicians. Over the years scientists and students from many countries have spent several weeks or months at the Commission's headquarters in La Jolla, learning new research methods and conducting research utilizing IATTC data files. The visitors whose stays amounted to 2 weeks or more are listed in the section entitled. VISITING SCIENTISTS AND STUDENTS. Also, IATTC scientists have often rendered assistance with research on fisheries for tunas or other species to scientists of other countries while on duty travel to those countries, and occasionally have travelled to other countries for the specific purpose of assisting with their research programs. In 1989, for example, an IATTC employee gave a series of lectures at the École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, in Rennes, France, and another IATTC employee assisted with the planning of a course on modelling of natural resources which was given at the Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada, in Ensenada, Mexico, and taught part of the course. The course was open to students from any Latin American country.

The establishment by the Commission of a research facility in Panama, described in the section entitled **FIELD STATIONS**, is giving the staff the opportunity to work more closely with Panamanian fisheries personnel. The presence of Commission scientists at this laboratory has made it possible to provide assistance to local scientists in the implementation of research projects on species other than tunas, *e.g.* snappers. Considerable progress has been made in the snapper program; this subject is discussed in the section entitled **Snapper resource studies**.

#### VISITING SCIENTISTS AND STUDENTS

Mr. Yoshio Ishizuka, an employee of the Far Seas Fisheries Research Laboratory (now the National Research Institute of Far Seas Fisheries), Shimizu, Japan, spent the period of September 2, 1988–January 20, 1989, working with IATTC staff members in La Jolla on bluefin tuna.

Lic. Mauricio Lima and Lic. Enrique Paez, biologists with the Industria Lobera y Pesquera del Estado of Uruguay, spent the period of August 1–18, 1989, in La Jolla consulting with IATTC staff members about methods for analysis of population trends of fur seals.

Dr. Bruce S. Miller and Mr. John Stadler, a professor and a graduate student from the University of Washington, spent some time at the Achotines Laboratory during March–June 1989, devoting their efforts mainly to identifying the fishes of the area, determining their habitat associations, and estimating their relative abundances.

# FIELD STATIONS

The Commission maintains field offices in Manta, Ecuador; Ensenada, Baja California, Mexico; Panama, Republic of Panama; Coishco, Peru; Terminal Island, California, and Mayaguez, Puerto Rico, U.S.A.; and Cumaná, Venezuela. The scientists and technicians stationed at these offices collect landings statistics, abstract the logbooks of tuna vessels to get catch and effort data, measure fish and collect other biological data, and assist with the training and placement of scientific technicians aboard vessels participating in the Commission's tuna-dolphin program. This work is

carried out not only in the above-named ports, but also in other ports in Colombia, Costa Rica, Ecuador, Mexico, Panama, Peru, Puerto Rico, and Venezuela, which are visited periodically by these employees. Not all of these tasks are performed by Commission employees in all the above-named countries, however; for example, in 1989 they participated in the tuna-dolphin work only in Ecuador, Mexico, Panama, and Venezuela.

In addition, the Commission maintains a laboratory at Achotines Bay, just west of Punta Mala on the Azuero Peninsula of Panama. The Achotines Laboratory is used principally for studies of the early life history of tunas. Such studies are of great importance, as acquisition of knowledge of the life history of tunas prior to recruitment into the fishery would eliminate much of the uncertainty which currently exists in the staff's assessments of the condition of the various stocks of tunas. The Commission plans to enlarge the laboratory facilities so that there will be adequate space for investigators from other agencies, such as Panama's Dirección General de Recursos Marinos, the University of Panama, etc.

#### PUBLICATIONS AND REPORTS

The prompt and complete publication of research results is one of the most important elements of the Commission's program of scientific investigations. By this means the member governments, the scientific community, and the public at large are currently informed of the research findings of the IATTC staff. The publication of basic data, methods of analysis, and conclusions afford the opportunity for critical review by other scientists, ensuring the soundness of the conclusions reached by the IATTC staff, as well as enlisting the interest of other scientists in the Commission's research. By the end of 1989 the IATTC staff had published 128 Bulletins, 38 Annual Reports, 6 Special Reports, 5 books, and 348 chapters and articles in books and outside journals. The contributions by staff members published during 1989 are listed in Appendix 3 of this report.

#### THE FISHERY

#### STATISTICS OF CATCHES AND LANDINGS

The IATTC staff is concerned principally with the eastern Pacific Ocean (EPO), defined as the area between the mainland of North, Central, and South America and 150°W.

Statistical data from the Commission's field stations are continuously being collected and processed. As a result, estimates of fisheries statistics with varying degrees of accuracy and precision are available. Because it may require a year or more to obtain some final information, and because the staff has been updating the data for earlier years, the annual statistics reported here are the most current, and supersede earlier reported statistics. The weights are reported in short tons.

Annual catch estimates for the various species of tunas and other fishes landed by vessels of the eastern Pacific tuna fleet (see next section) are shown in Table 1. This table includes only the catches by surface gear, except that Japanese longline catches of yellowfin, *Thunnus albacares*, in the Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA, Figure 1) are included. The catch data for yellowfin in the CYRA and skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and bluefin, *Thunnus thynnus*, in the EPO are essentially complete except for insignificant catches of all three species made by the sport and artisanal fisheries, and insignificant catches of skipjack and bluefin by the longline fishery. The western Pacific and Atlantic Ocean catch data in Table 1 are not total catch estimates for those waters because data for vessels which had not fished in the EPO during the year in question are not included. Also, substantial amounts of yellowfin taken by longlines in the EPO outside the CYRA and large amounts of bigeye, *Thunnus obesus*, taken by longlines in the EPO are not included in Table 1; those catches are included in Tables 30 and 35, however.

There were no restrictions on fishing for tunas in the EPO during the 1979–1988 period, so the statistics for 1989 are compared to those of 1979–1988. During this period there was a major El Niño that began in late 1982 and persisted until late 1983. The catch rates in the EPO were low during the El Niño, which caused a shift of fishing effort from the eastern to the western Pacific, and fishing effort remained relatively low during 1984–1986.

The average yellowfin catch in the CYRA during the 1979–1988 period was 189.7 thousand tons (range: 91.4 to 296.0). The preliminary estimate of the 1989 yellowfin catch in the CYRA is 267.6 thousand tons. During the 1979–1988 period the yellowfin catch from the area between the CYRA boundary and 150°W has averaged 24.4 thousand tons (range: 13.5 to 44.3). The preliminary estimate of the yellowfin catch from this area for 1989 is 50.3 thousand tons. The greatest catch from this area was 50.8 thousand tons in 1976. The estimated 1989 yellowfin catch from the EPO, 317.9 thousand tons, is the second greatest on record, exceeded only by the 1988 catch of 318.9 thousand tons.

The average annual distribution of logged catches of yellowfin by purse seiners in the EPO during the 1979–1988 period is shown in Figure 2, and a preliminary estimate for 1989 is shown in Figure 3. As fishing conditions change throughout the year, the areas of greatest catches vary. The catch of yellowfin during the first quarter of 1989 was generally restricted to regions inside the CYRA, primarily in nearshore areas. During the second quarter the nearshore catches continued, with areas of high catch observed near the coast between about 10°N and 23°N. The catches during the second quarter increased in offshore areas between about 6°N and 12°N from 120°W to 140°W. The catches during the third quarter were fairly uniformly distributed between about 6°N and 15°N from 84°W to 130°W, with some areas of high catches near the coast. Greater catches also developed off the coast of South America in the area between about 4°S and 1°N as far west as 90°W. During the fourth quarter the catches were greatest between about 5°N and 12°N from 80°W to 110°W.

During the 1979–1988 period the skipjack catch in the EPO averaged 94.8 thousand tons (range: 54.5 to 145.5). The preliminary estimate of the skipjack catch in the EPO in 1989 is 100.4 thousand tons. This is the greatest catch since 1982, but it is less than the catches for 1979–1982.

The average annual distribution of logged catches of skipjack by purse seiners in the EPO during the 1979–1988 period is shown in Figure 4, and a preliminary estimate for 1989 is shown in Figure 5. The skipjack catches in 1989 were concentrated in two areas, between about 2°N and 10°N from the coast to 100°W and near the coast of Mexico between about 20°N and 28°N.

While yellowfin and skipjack comprise the most significant portion of the catch made in the EPO, bluefin, bigeye, albacore (*Thunnus alalunga*), black skipjack (*Euthynnus lineatus*), striped bonito (*Sarda orientalis*), and other species contribute to the overall harvest in this area. The total catch of these other species in the EPO was about 20.0 thousand tons in 1989, as compared to the 1979–1988 average of 17.4 thousand tons (range: 9.2 to 32.7). The estimated catch of all species in the EPO in 1989 was about 438.3 thousand tons; this exceeds the previous record of 434.6 thousand tons taken in 1976.

Tuna vessels fishing in the EPO occasionally fish in other areas in the same year. In 1989 various vessels which were part of the eastern Pacific fleet also fished in the western Pacific and/or in the Atlantic and Caribbean. The 1979–1988 median catch by these vessels in the western Pacific was about 8.0 thousand tons (range: 3.3 to 83.6), and in the Atlantic and Caribbean about 9.6 thousand tons (range: 0.5 to 17.3). The maximum catches made in other areas by vessels of the eastern Pacific fleet were made in 1983, the year of the lowest total catch in the EPO (180.4 thousand tons) since 1960 (173.6 thousand tons). Preliminary estimates indicate that the 1989 total catches in these areas by vessels of the eastern Pacific fleet were about 0.3 thousand tons in the western Pacific and 4.9 thousand tons in the Atlantic and Caribbean.

The 1988 and preliminary 1989 catches in the EPO by flag, and landings of fish caught in the EPO by country, are given in Tables 2 and 3. The landings are fish unloaded during a calendar year,

regardless of the year of catch. The country of landing is that in which the fish were unloaded from the fishing vessel or, in the case of transshipments, the country which received the transshipped fish.

Of the total 1988 EPO yellowfin catch of 318.9 thousand tons, 93 percent was harvested in the CYRA, with Mexican-, U.S.-, Venezuelan-, and Ecuadorian-flag vessels taking 37, 31, 14, and 9 percent, respectively, of the EPO catch. In 1989 84 percent of the EPO yellowfin catch of 317.9 thousand tons was made in the CYRA. Mexican-, U.S.-, Venezuelan-, and Ecuadorian-flag vessels harvested 41, 27, 16, and 6 percent of the EPO catch, respectively.

The United States is the recipient of the greatest amount of tunas harvested in the EPO. Of the 429.4 thousand tons landed in 1989 (Table 3), 170.0 thousand tons (40 percent) was landed in the United States. The landings in Mexico (92.0 thousand tons; 21 percent) and Ecuador (53.6 thousand tons; 13 percent) were next in terms of magnitude. Other countries with significant landings of tunas caught in the EPO included Italy, Japan, and Venezuela. When final information is available, the landings currently assigned to various countries may change due to exports from storage facilities to processors in other nations.

Under the terms of the convention which established the Inter-American Tropical Tuna Commission, monitoring of the condition of the stocks of tunas and other species taken in the EPO by tuna fisheries is the primary objective of the Commission's research. Taking into consideration the migrations of the tunas, the mobility of the vessels of the tuna fleets of various nations, and the international nature of the tuna trade, statistics on the catch and effort from the eastern Pacific must be viewed in the light of global statistics. The IATTC staff routinely estimates the global catches of the tunas and related species. The methodology of obtaining the estimates is described in IATTC Internal Report 11. The estimated global catches of tunas and related species for 1988, the most recent year for which data are available, are presented in Figures 6 and 7. An overview of the catches of the principal market species of tunas during 1975–1988 by oceans appears in Figure 8.

# THE EASTERN PACIFIC TUNA FLEET

The IATTC staff maintains records of gear, flag, and fish-carrying capacity for most of the vessels which fish for yellowfin, skipjack, or bluefin tuna in the EPO. Records are not maintained for Far East-flag longline vessels, nor for sport-fishing vessels and small craft such as canoes or launches. The eastern Pacific surface fleet described here includes vessels which have fished all or part of the year in the EPO for yellowfin, skipjack, or bluefin.

The owner's or builder's estimates of the vessel carrying capacities are used until landing records indicate that revision of these is appropriate. The vessels are grouped, by carrying capacity, into the following size classes for reporting purposes: class 1, less than 51 tons; class 2, 51–100 tons; class 3, 101–200 tons; class 4, 201–300 tons; class 5, 301–400 tons; and class 6, more than 400 tons. (These are not to be confused with the eight size groups used for calculation of the catch per ton of carrying capacity in the section entitled *Catch per ton of carrying capacity*.) Except for longliners and miscellaneous small vessels mentioned in the previous paragraph, all vessels which fished in the EPO during the year are included in the annual estimates of the size of the surface fleet.

Until 1960 fishing for tunas in the EPO was dominated by baitboats operating in the more coastal regions and in the vicinity of offshore islands. During the late 1950s and early 1960s most of the larger baitboats were converted to purse seiners, and by 1961 the eastern Pacific surface fleet was dominated by these vessels. During the 1961–1989 period the number of baitboats decreased from about 100 to 30, and the capacity decreased from about 10 thousand to 3 thousand tons. During the same period the number of purse seiners increased from about 125 to 180, and the capacity increased from about 30 thousand to 140 thousand tons. The peak in numbers and capacity of purse seiners occurred during the 1978–1981 period, when the number of these vessels ranged from 247 to 268 and the capacity from 181 to 185 thousand tons (Table 4).

The construction of new and larger purse seiners, which began during the mid-1960s. resulted in an increase in the fleet capacity from 46.3 thousand tons in 1966 to 184.6 thousand tons in 1976. During the 1977–1981 period the fleet capacity remained fairly stable, increasing by only about 1.6 thousand tons. During this period the construction of new vessels continued, but the new capacity was offset by losses due to sinkings and vessels leaving the fishery. In 1982 the fleet capacity declined by 16.2 thousand tons as vessels were deactivated or left the EPO to fish in other areas, primarily the western Pacific. This trend continued through 1983 as the catch rates in the EPO declined, due primarily to anomalous ocean conditions in 1982–1983. During 1983 the fleet capacity declined by 28.8 thousand tons, and in 1984 it declined an additional 25.4 thousand tons. The fleet capacity in 1984, about 116.5 thousand tons, was the lowest it had been since 1971. In 1985, however, due primarily to the return of vessels from the western Pacific, the capacity increased to about 129.7 thousand tons. In 1986 the fleet capacity decreased to about 124.5 thousand tons. During 1987 several vessels were activated, and others returned to the eastern Pacific fishery from the western Pacific, causing the fleet capacity to increase to 146.0 thousand tons. This trend continued in 1988, resulting in an estimated fleet capacity of 151.4 thousand tons. This was the greatest fleet capacity observed since 1982. The 1989 fleet capacity was about 136.5 thousand tons.

The 1988 and preliminary 1989 data for numbers and carrying capacities of surface-gear vessels in the eastern Pacific fleet are shown in Table 5. The eastern Pacific fleet was dominated by vessels operating under the Mexican, U.S., and Venezuelan flags during both 1988 and 1989, with about 85 percent of the total capacity of the fleet flying the flags of these nations. The Mexican-flag fleet was the largest in both 1988 and 1989, with 36 and 39 percent of the annual total capacity, respectively, and was followed by those of the United States, with 30 and 25 percent, respectively, and Venezuela, with about 20 percent in each year. The majority of the total capacity of the eastern Pacific fleet consists of purse seiners with capacities of over 400 tons. This group of vessels comprised about 92 percent of the total fishing capacity operating in the EPO in both 1988 and 1989.

The average, minimum, and maximum tons of fleet capacity at sea (CAS) by month for the EPO during 1979–1988, and the 1989 values, are shown in Figure 9. These monthly values are the averages of the CAS estimates given in weekly reports. The values for the 1979–1988 period were chosen for comparison with those of 1989 because the earlier years, when regulations were in effect, had somewhat different temporal distributions of effort due to restriction of yellowfin fishing in the CYRA. The 1989 CAS values were not significantly different from the 1979–1988 values. The 1989 CAS was greatest in November, at 97.2 thousand tons, and least in September, at 74.0 thousand tons.

# REGULATION OF THE FISHERY

During past years catch quotas for yellowfin tuna for the CYRA have been recommended by the IATTC staff and variously adopted in Commission resolutions and implemented by the countries participating in the fishery. Quotas for 1966 through 1979 were adopted and implemented. Agreement on a quota for 1979 was reached so late that it was ineffective, however. At its 37th meeting, held in October 1979, the Commission was unable to arrive at an agreement concerning a yellowfin conservation program for 1980; it subsequently agreed to a quota of 165,000 short tons, with provisions to increase it at the discretion of the Director, but the quota was not implemented. At the 38th through 43rd meetings the IATTC staff recommended quotas of 160,000 tons for 1981 and 1982, 170,000 tons for 1983, 162,000 tons for 1984, 174,000 tons for 1985, and 175 thousand tons for 1986, with provisions for increases by the Director based on findings of the staff regarding the status of the stock. These quotas were adopted, but not implemented. At the 44th meeting the IATTC staff did not recommend a quota for 1987, due to special circumstances which resulted in unusually great abundance of yellowfin in the eastern Pacific, but emphasized that catch quotas would almost certainly be necessary in the future. At its 45th meeting the staff recommended a quota of 190,000

tons, with the option to increase this limit by two increments of 30,000 tons each. This quota was adopted, but not implemented. At its 46th meeting, held in May 1989, the staff recommended a quota of 220,000 tons, with the option to increase the limit by two increments of 30,000 tons each. The quota was again adopted (see resolution on pages 8–9), but not implemented.

It has not been demonstrated to date that there is a need for conservation measures for the other species of tunas harvested in the EPO.

# RESEARCH

# **TUNA BIOLOGY**

# Annual trends in catch per unit of effort (CPUE)

Catch per days fishing (CPDF) and catch per standard days fishing (CPSDF) are used by the IATTC staff as indices of apparent abundance and as general measures of fishing success. The data are obtained from logbook records supplied by most of the vessels which fish for tunas in the eastern Pacific Ocean (EPO). The data which do not meet certain criteria for species composition and accuracy are eliminated from consideration before proceeding with the calculations. During the 1950s, when most of the catch was taken by baitboats, catch and CPDF data for baitboats of different size classes were standardized to calculate the CPSDF for Class-4 baitboats (vessels with capacities of 201-300 short tons of frozen tuna). Later, when most of the baitboats were converted to purse seiners, the catch and CPDF data for purse seiners were standardized to calculate the CPSDF for Class-3 purse seiners (vessels with capacities of 101 to 200 short tons). The next steps, as smaller vessels were replaced by larger ones, were calculation of the CPSDF for Class-6 purse seiners (vessels with capacities of more than 400 short tons) and finally calculation of the CPDF for Class-6 purse seiners, ignoring the data for the smaller vessels. The CPDF and CPSDF may be influenced by such factors as spatial and temporal changes in fishing strategy, distribution of effort, and vulnerability of the fish to capture. Some of these changes have been estimated and adjusted for, and others, such as those due to environmental conditions, are assumed to average out over the long term.

CPUE data for 1959–1989 for yellowfin and skipjack combined are shown in the top panel of Figure 10. The data for 1968–1989 are CPDF data for Class-6 purse seiners. Those for 1959–1967 are CPSDF data for Class-4 baitboats, multiplied by 2.82 to adjust for the fact that Class-6 purse seiners are about 2.82 times as efficient as Class-4 baitboats. The adjustment factor of 2.82 was calculated from CPDF data for yellowfin and skipjack combined for Class-6 purse seiners and Class-4 baitboats fishing in the same area-time strata during the 1965–1974 period, when there were sufficient numbers of both types of vessels in the fishery. Because the 1968–1989 data are CPDF data for Class-6 vessels and those for 1959–1967 are adjusted to the equivalent of CPDF for Class-6 vessels, they will henceforth be referred to as CPDF data.

The total catches of yellowfin and skipjack east of 150°W combined for each year were divided by the CPDF for both species for unregulated trips to estimate the total effort in Class-6 purse-seine days. These estimates of total effort were divided into the total catches of yellowfin and of skipjack to obtain the CPDFs for each species separately. These are shown in the middle and bottom panels of Figure 10.

#### Yellowfin

The preliminary CPDF value of 13.8 tons per day for 1989 is the fourth greatest on record, exceeded only by those for 1960, 1968, and 1986 (14.2, 14.6, and 16.3 tons per day, respectively). During the 1959–1972 period the CPDF ranged from about 9 to 14 tons per day, with lows in 1959,

1962, and 1971 and highs in 1960, 1968, and 1969. Beginning in 1973, the CPDF began to decline, reaching a low of 4.9 tons in 1982. Since then there has been a remarkable recovery. The fishery has changed considerably since the 1960s, however, so caution should be used in comparing the data for the earlier years with those for the more recent ones. The principal problem is caused by the fact that the baitboat fishery operates relatively near shore and almost entirely north of 15°N, whereas the purse-seine fishery operates also far offshore and as far south as about 20°S. The values in Figure 10 differ somewhat from those in Table 30 because the values in the figure were obtained from data on the total catches of yellowfin and skipjack, whereas those in the table were obtained from data for yellowfin catches only.

# Skipjack

During the 1959–1968 period the CPDF for skipjack averaged about 10 tons per day, with a high of 16.0 tons in 1967 and a low of 5.5 tons in 1960 (Figure 10). During the late 1960s many small purse seiners were replaced by larger ones which found it more profitable to fish in areas where yellowfin were more abundant and skipjack less so, which resulted in lower CPDF values for skipjack. During the 1969–1989 period the average CPDF was about 4 tons per day, with a high of 7.6 tons in 1971 and lows of 2.4 tons in 1972 and 1973. As is the case for yellowfin, caution should be used in comparing the data for earlier and later years. In addition to the probable bias caused by the fact that the effort was directed more toward yellowfin and less toward skipjack during the more recent years, there is the problem caused by the restricted range of the baitboat fishery mentioned in the yellowfin section above.

# Catch per ton of carrying capacity

The eastern Pacific fleet's total catch per ton of carrying capacity (CPTCC) provides an index of trends in annual relative gross income for vessel size groups. To provide more detail in this index than would be available if the Commission's historical six classes of vessel capacity classification were used, the following size groups have been identified: 1, <301 tons; 2, 301–400 tons; 3, 401–600 tons; 4, 601–800 tons; 5, 801–1000 tons; 6, 1001–1200 tons; 7, 1201–1400 tons; and 8, >1400 tons.

CPTCC estimates for 1979–1989 period are presented in Table 6 for the EPO and for all ocean fishing areas from which eastern Pacific fleet vessels harvested fish, by size group, area, and species. For the larger vessels yellowfin and skipjack contribute the most to the CPTCC, while other species, which include other tunas as well as miscellaneous fishes, make up an important part of the CPTCC of the smaller vessels in many years. In earlier years, and in years when the majority of the EPO fleet exerts most of its fishing effort in the EPO, the CPTCCs for the EPO and all ocean fishing areas are nearly the same. During the 1979–1988 period the pooled CPTCC in the EPO for all vessels and all species averaged 2.1 tons of fish per ton of carrying capacity, with a range of 1.2 to 3.0; for yellowfin it averaged 1.4 tons, with a range of 0.7 to 2.4; and for skipjack it averaged 0.6 tons, with a range of 0.4 to 0.7. The preliminary estimates for 1989 are 3.2, 2.3, and 0.7 tons for all species, yellowfin, and skipjack, respectively.

# Standardization of yellowfin catch rates

An alternative to catch per day's fishing (CPDF) as an index of relative annual yellowfin abundance is described in IATTC Bulletin, Vol. 19, No. 3. With the alternative index, each observation of catch rate is defined as the tons of yellowfin caught in a set divided by the hours of searching since the last set. In order to estimate the average abundance over each entire year and the entire eastern Pacific Ocean (EPO) the data are weighted such that each 5-degree quadrangle-month receives a weight proportional to the surface area of ocean in it and each hour of searching receives approximately equal weight within a 5-degree quadrangle-month. Then a generalized linear model

is used to estimate the annual variation in the catch rates independent of trends in vessel efficiency, environmental conditions, and modes of fishing.

Data exist for many factors which could conceivably influence the yellowfin catch rates. The following factors were investigated, using data from 1970–1985: vessel speed and capacity, whether the vessel had a helicopter, whether it had sonar, net length and depth, skipper, sea-surface temperature, wind speed and direction, location and time of fishing, set type (school, dolphin, or floating object), and whether skipjack were also caught. After the factors which did not have important effects were eliminated the model included the effects of year, vessel speed, search classification, season-area, and the interaction between search classification and season-area. Search classification (Table 7) is a combination of set type and skipjack effects. Season-area is described in Figure 11. The year effects are the annual differences in catch rates not attributable to the other variables in the model. They serve as indices of abundance standardized by the other variables.

As shown in Figure 12, the trend of the indices has both differences from and similarities to CPDF. The indices from the linear model do not have the large fluctuations during 1970–1974 that CPDF has; however, they both show a sharp decline in 1975 and a sharp recovery in 1976. Both the decline in 1976–1982 and the increase during 1983–1986 are more gradual for the indices from the linear model. It appears that when the fishery switches from dolphin-set fishing to floating object-set fishing, as it did during 1974–1982, CPDF underestimates yellowfin abundance, and that when the fishery switches back to dolphin-set fishing, as it did during 1984–1989, CPDF overestimates the abundance.

Starting around the beginning of 1988, many seiners began to add "bird radar" (S-band). This is believed to improve greatly the ability of the vessel crews to detect birds, and hence the fish beneath the birds. This could bias the estimates of yellowfin abundance upward in 1988 and 1989. Accordingly, the IATTC staff is currently collecting data on bird radar which can be used to evaluate its effects on the catch rates and adjust for them in the future.

One of the greatest limitations to using estimates of total abundance as indices of the condition of the population is that, even if they are correct, they give no information about the age structure. Since the condition of the population depends on the age structure, it is useful to analyze the catch rates by age or size groups.

Monthly estimates of the apparent abundances of yellowfin by age groups and regions within the EPO during 1970-1988 were made from data for catch rates of purse seiners and length frequencies of fish caught by those vessels. The numbers of individuals of each age group caught in each logged purse-seine set were estimated from the tonnage in that set and the length-frequency distribution of fish of the "nearest" length-frequency sample(s). Nearest refers to the lengthfrequency sample(s) closest to the set in question in time, distance, set type, and whether skipjack were also caught, selected by the technique described in the IATTC Annual Report for 1988, pages 17-18. The catch rates were initially defined as the estimated numbers of individuals of the age group caught per hour of searching. Then, to remove the effects of set type and vessel speed, they were standardized, using separate weighted generalized linear models for each age group. The standardized catch rates at the center of each 2.5-degree quadrangle-month were estimated, using locally-weighted least-squares regressions on latitude, longitude, and time, and then combined into the larger regions shown in Figure 11. The catch rates within these regions were converted to numbers of fish, using the mean age composition from cohort analyses (Figure 13). The variances of the abundance estimates within regions are large for 0-, 1-, and 5-year-olds, but small for 1.5 to 4-year-olds, except during periods of low fishing activity. The mean annual catch rate estimates for the entire EPO, for age groups ranging from 1.5 to 4 years old, are significantly positively correlated with the mean abundance estimates from the cohort analyses. The indices of abundance based on catch rates by age are expected to be useful, in conjunction with data on reproductive biology, to

estimate total egg production within regions. The estimates may also be useful in obtaining greater understanding of geographic and temporal variations in age-specific availability to purse seiners, as well as age-specific movements.

The results of the analysis of catch rates by age and regions are so voluminous that it would not be practical to display them in their entirety. For this purpose a six-dimensional representation of catch rate for all cohorts by latitude, longitude, and month, with confidence intervals, would be necessary. Therefore, only examples of the results are shown. The examples chosen represent relative apparent abundance of four cohorts during their time in the fishery in the six regions shown in Figure 11. (The 1980X cohort first entered the fishery in small numbers toward the end of 1980 and contributed to it significantly during 1981. The 1980Y cohort first entered the fishery in small numbers during the middle of 1980 and contributed to it significantly toward the end of 1980.) No examples are shown for the 1970s because of the difficulties in estimation and presentation of the data for the seasons during which the fishery for yellowfin was regulated. Since the variation in the estimated number of yellowfin from cohort i in region r in month m,  $\hat{N}_{irm}$ , can be large, it is helpful to display the results in units of  $\ln(\hat{N}_{irm})$ . In Figure 13 are shown the apparent abundances of cohorts relative to the month of first recruitment, i.e.  $\hat{R}_{irm} = \ln(\hat{N}_{irm}) - (\hat{N}_{iF0})$ , where  $\hat{R}_{irm}$  is the logarithm of the relative apparent abundance, and  $N_{iF0}$  is the apparent abundance of the ith cohort, in region F, at the age corresponding to a length of 30 cm (approximately 6 months). It should be noted that if the cohort was not yetrecruited into region F at 30 cm, then  $\ln(\hat{N}_{iF0})$  receives a minimum detectable value of -1. The values are truncated at -6 and +6 because the confidence intervals can be extremely large during periods of sparse data. For example, during the first and fifth years of a cohort's existence the observations are sparse and the variances are large. Also, in regions A and E there are few observations during their respective winters due to bad weather, and thus the variances are large.

As expected, the apparent abundance of each cohort declines throughout its lifetime. The declines, however, are not always continuous. The occasional increases in apparent abundance may be due to temporal changes in vulnerability to capture or migrations from one region to another. Sometimes it is possible to speculate on the causes of the discontinuities in the declines in apparent abundance. For example, the 1980X and 1980Y cohorts increased in apparent abundance at the end of the 1982–1983 El Niño. This is probably the result of decreased vulnerability during the El Niño (see IATTC Annual Report for 1983: 69–70). Also, the fish usually become progressively more vulnerable to capture during their first year in the fishery, which results in increasing apparent abundance during that period.

Future plans for improving the age-specific abundance estimates by regions include first interpolating missing values for environmental data such as sea-surface temperature, depth of the thermocline, and wind data, and then examining the relationships between these factors and the catch rates. The catch rates can be standardized for the environmental factors for which the relationships are significant, and a better understanding of age-specific vulnerability can be gained. Second, time lags in the environmental variables will be explored, which may provide even more understanding of age-specific vulnerability and/or movements. Finally, when the abundance estimates cannot be further improved, the environmental data will be used in conjunction with estimates of egg production and recruitment to measure the effects of the environment on survival from eggs to recruits.

# Size composition of the catch

Length-frequency samples are the basic source of data used in estimating the size and age compositions of the various species of fish in the landings. This information is necessary to obtain age-structured estimates of the populations for various purposes, including age-structured popula-

tion modelling. The results of age-structured population modelling can be used to estimate recruitment, which can be compared to spawning biomass and oceanographic conditions. Also, the estimates of mortality obtained from age-structured population modelling can be used, in conjunction with growth estimates, for yield-per-recruit modelling. The results of such studies have been reported on in several IATTC Bulletins and in all of its Annual Reports since 1954.

#### Routine data collection

Yellowfin, skipjack, bluefin, bigeye, and black skipjack from purse-seine and baitboat catches made in the eastern Pacific Ocean (EPO) are collected by IATTC personnel at ports of landing in Ecuador, Mexico, Panama, Peru, the United States (California and Puerto Rico), and Venezuela. The catches of yellowfin and skipjack were first sampled by the IATTC staff in 1954, and sampling has continued to the present.

The staff collected and processed 631 yellowfin, 305 skipjack, 21 bluefin, 15 bigeye, and 15 black skipjack samples from the 1989 catch. Most of these were 50-fish samples. For both yellowfin and skipjack, the length-frequency samples are stratified by market measurement areas (Figure 14), month, and gear. Sampling within each stratum is done in two stages, with a boat "unit" (usually a well or pair of wells) as the first stage and individual fish as the second stage. The units within strata are sampled randomly, and fish selected randomly from each sampled unit are individually measured. The total number of fish in each length group in a sampled unit is estimated by dividing the total catch, in weight, in the unit by the average weight of the sampled fish in the unit and then multiplying this quotient by the fraction of the sampled fish in that length group. The stratum totals, in numbers of fish, for each length group are obtained by summing the totals for each sampling unit and multiplying this total by the ratio of the weight of the logged catch of the stratum to the sum of the weights of the sampled units. The quarterly and annual totals are obtained by summing the data for all the sampled strata for the quarter or year in question. The quarterly and annual average weights are obtained by summing over all the length groups in the quarterly or annual estimates and dividing this sum into the sum of the weights of the catches for all the sampled strata.

Histograms showing the estimated tons of yellowfin caught, based on logged catches, for the market measurement areas of the CYRA (Figure 1) in 1989 are shown in Figure 15. The areas are arranged approximately from north (top) to south (bottom) in the figure. In Areas 1, 8, 4, and 6 the major modes occur below 110 cm, and in Areas 7 and 13 the opposite is the case. In Area 5 there are major modes both above and below 110 cm. Nearly all of the fish caught were between 40 and 160 cm in all areas, and in Areas 1 and 8 few fish larger than 120 cm were caught.

Histograms showing the estimated tons of yellowfin caught, based on logged catches, in the entire CYRA for each year of the 1984–1989 period are shown in Figure 16.

Histograms showing the estimated tons of yellowfin caught, based on logged catches, in the EPO between the CYRA boundary and 150°W for each year of the 1984–1989 period are shown in Figure 17. In 1989, as in previous years, the average weight of yellowfin was greater outside the CYRA than inside. The average weight inside the CYRA for 1989 was 25.2 pounds (11.4 kg), as compared to 60.3 pounds (27.4 kg) outside. Within the CYRA approximately 50 percent of the catch, by weight, was less than 100 cm in length while, in contrast, approximately 13 percent of the catch was less than 100 cm in the EPO outside the CYRA.

Histograms showing the estimated tons of skipjack caught, based on logged catches, for the market measurement areas of the EPO in 1989 are shown in Figure 18. Approximately 87 percent of the catch, by weight, was taken in Areas 1, 5, 6, and 7. For all areas most of the fish caught were between 40 and 70 cm. In Area 1 there is a prominent mode centered at 52 cm. In Area 5 there is a major mode at 61–64 cm. In Area 6 the major mode is centered at 55 cm, and there are indications of smaller modes at 45–50 cm and 65–70 cm. In Area 7 the most prominent mode is centered at 64–67 cm.

Histograms showing the estimated tons of skipjack caught, based on logged catches, in the EPO for each year of the 1984–1989 period are shown in Figure 19. The estimate for the average weight for 1989, 8.1 pounds (3.7 kg) is 1.7 pounds (0.8 kg) greater than the comparable value for 1988, but less than the value for 1985, 9.2 pounds (4.2 kg).

Northern bluefin are caught off California and Baja California from about 23°N to 35°N. Most of the catch is usually taken during May through October. In 1989 all of the catch came from north of 30°N, and approximately 70 percent of it was made in August. Histograms showing the estimated tons of bluefin caught, based on logbook records, for each year of the 1984–1989 period are shown in Figure 20. The 1989 distribution has modes at 72 cm and 90 cm, and it resembles the 1988 distribution except that the catch of bluefin longer than 120 cm was less than in 1988.

The surface catch of bigeye is incidental to that of yellowfin and skipjack (Table 1), and consequently the number of length-frequency samples was much less than those for yellowfin and skipjack. Accurate estimates of the weight of bigeye in the sampling units is often lacking, so the individual samples have not been weighted by the estimated numbers of fish in the units sampled. Histograms showing the estimated tons of surface-caught bigeye in the EPO for each year of the 1984–1989 period are shown in Figure 21.

The annual percentage length-frequency distributions of black skipjack caught in the EPO are shown in Figure 22. The catch of black skipjack is incidental to those of yellowfin and skipjack, and much of it is discarded or not sold through the usual processors, so no attempt has been made to estimate the weight of the catch by size intervals.

# Evaluation of length-frequency sampling methods

Because it is important that the estimates of age composition be as accurate and precise as possible, a study has been undertaken to elucidate how certain variables in the sampling scheme affect the reliability of the estimates and to determine what changes, if any, are needed to improve the sampling design.

The IATTC staff's length-frequency sampling program was initiated in 1954 and, at the same time, an analysis was conducted to determine the most efficient methods for sampling the fish and estimating the abundances of the various age groups or cohorts in the catch (IATTC Bulletin, Vol. 2, No. 5). The sampling methods have remained essentially the same since then, but the methods of making the estimates have been improved. The present system of making these estimates is described in IATTC Bulletin, Vol. 16, No. 2.

The design now used by the IATTC staff is a two-stage model in which the primary unit is that portion of a vessel's catch associated with a particular species, month, and area, and the secondary unit is the length of a fish which has been measured. Therefore two of the variables that can affect the reliability of, say, an estimate of the relative abundance of the fish of a particular cohort are the number of vessels sampled (n) and the sample size (m). Since the model includes the assumption that the fish are collected at random, sampling methods introduce a third variable if they deviate from this assumption. In practice, the measurements are usually collected over a relatively short period of time and from a sequence of fish that may be loosely related to the order in which they are removed from a well. This procedure is the result of the practical allocation of a sampler's time, the necessity of not hindering the unloading procedure, and the physical difficulties that would severely limit the possibility of collecting a random sample.

To study the interaction between n, m, and various sampling methods, the yellowfin in six wells of purse seiners were measured sequentially during the unloading process. By applying various techniques, these data were used to generate the contents of 25 wells corresponding to three of the most frequently occurring situations—fish from school sets, fish from dolphin sets with uniand bimodal size distributions, and mixtures of fish from school and dolphin sets. Twenty-four of the 25 wells had statistically different distributions. Together with different values of n and m, three

different sampling methods were applied to the wells during a simulated unloading process to determine the precision with which the number of fish in nine cohorts were estimated and whether these estimates were biased. The three methods were: random sampling (I); protracted sampling (II), in which every kth fish was collected systematically from the unloading sequence, and sampling was distributed over 7 to 24 percent of the fish in the well; and grab sampling (III) in which fish were removed consecutively (without interruption) from the unloading sequence. Each combination of n, m, and sampling method was simulated 1000 times to obtain a distribution of independent estimates. These distributions were skewed to varying degrees for each cohort, and therefore in the discussion that follows comparisons of the coefficients of variation (CVs) and biases are valid within cohorts, but are not very meaningful among cohorts.

The CVs of the abundance estimates of the individual cohorts are shown in Table 8. The magnitude of the CV is predetermined by, and inversely correlated with, the percentage of wells that the cohort appears in  $(p_c)$ . In addition to n, m, and sampling method,  $p_c$  appears to be a new variable that has a strong effect on the precision of an estimate. For a given cohort, however, regardless of the sampling method, increasing the number of vessels sampled is substantially more effective for reducing the CVs than increasing the sample size. Therefore, for cohorts that appear rarely in the catch, or those with low  $p_c$  values, increasing n is probably the most effective way to reduce the variance of an estimate. The choice of sampling method is less influential in this respect. For each row of cohorts associated with a combination of m and n in Table 8, it can be shown that the proportionalities of the coefficients for the three methods are about the same, even though the general size of the cohort CVs may be quite different. As n increases, however, the performance of Method II, protracted sampling, remains in close proximity to that of random sampling while Method III, consecutive fish grab sampling, becomes increasingly inefficient. In contrast to these observations, the biases of the mean values of the estimates are influenced by the sampling method and  $p_c$ , and appear to be independent of n and m (Table 9). In general, for all methods and for  $p_c \ge 80$ percent, the absolute magnitudes of the biases are quite small (0-6 percent) despite the fact that individually the biases for Methods II and III are two and four times as great as those for Method I. As  $p_c$  decreases, this relative order is maintained, but the magnitudes of the biases become substantially larger, i.e. 9 to 21 percent. Consequently, while Method III produces the most biased results overall, the performance of Method II is reasonably close to that of random sampling unless the cohort appears infrequently in the catch.

To gain some idea of the magnitude of CVs associated with real, rather than simulated, data, the CVs were calculated from the quarterly variance and cohort-size estimates prepared by the IATTC staff. Cohort analysis was also applied to these data to estimate the recruitment of some completely-fished cohorts and their CVs (Table 10). Considering that the manner in which most of the samples were collected in the field were similar to Methods II and III, the CVs for the recruits are quite small (3–8 percent). The bulk of the coefficients for the quarterly cohort estimates, however, are in the 15- to 21-percent range. Based on similar values in Table 8, two factors can be identified that may help to maintain the CVs in this range: (1) a large fraction of the potentially available vessels are being sampled, or less likely, (2) each cohort appears frequently in most of the samples, *i.e.* high  $p_c$  values. To help resolve this issue, the cohort variances were estimated for the samples collected in 1988.

The two-stage model used to estimate a cohort's variance is summarized by the equation:

$$V\left(\hat{Y}_{c}\right) = \left(\frac{\hat{N}^{2}}{n-1}\right) \left(1-f_{1}\right) \left[\frac{\hat{\Sigma}}{n} \frac{\hat{M}_{i}^{2} \left(\hat{y}_{i} - \hat{\bar{Y}}_{c}\right)^{2}}{n}\right]_{a} + \left(\frac{\hat{N}}{m-1}\right) \left[\frac{\hat{\Sigma}}{n} \hat{M}_{i}^{2} \left(1-f_{2}\right) \bar{y}_{i} \left(1-\bar{y}_{i}\right)}{n}\right]_{w}$$

where  $\mathrm{v}(\hat{Y}_c)$  is the variance of the cohort size estimate  $\hat{Y}_c, \hat{N}$  is a ratio estimate of the total number of vessels containing fish from cohort c in a particular month-area stratum,  $f_1$  is the sample fraction  $n/\hat{N}, \hat{M}_i$  is a ratio estimate of the total number of fish from which the sample m was drawn,  $\bar{y}_i$  is the mean proportion of the cohort in the sample and in  $\hat{M}_i, \hat{\bar{Y}}_c$  is the overall proportion of the cohort in all sampled vessels, and  $f_2$  is the sample fraction  $m/\hat{M}i$ .

The quantities in brackets, subscripted by a and w, represent a type of average sum of squares for a cohort among and within vessels, respectively. To develop meaningful averages based on at least 25 to 40 samples, samples collected throughout the year were included in the calculations by compensating over time for growth of the fish. The averages for each of the 13 market measurement areas (Figure 14) were then combined by weighting to produce overall averages. By substituting these quantities into the brackets, a two-way table can be constructed to demonstrate the interaction between n and m. Preliminary calculations, however, showed that a change in sample size from 25 to 100 fish lowered the CV of a cohort size estimate by only about 1 percent. Consequently, the coefficients in Table 11 are based on 50 fish, the sample size currently used by the IATTC staff. To demonstrate the effect of n on the CV, a starting value of n = 125 was used. This is less than 171, the average quarterly value of n for 1988.

To some degree the use of average quarterly coefficients in Table 11 masks the greater variability that would exist if the quarterly values were calculated individually, as in Table 10. Nevertheless, one conclusion that can be drawn is that an increase in n would have its greatest impact on the smallest and largest fish. This observation is in general agreement with the results of the simulation study. However, when n is 175, near the average quarterly sampling rate for 1988, it is questionable whether an increase in n would be the most cost-effective way to reduce the coefficients of the scarce cohorts. It might be more beneficial to reduce the sample size somewhat, and adopt variations of Method II as a consistent sampling technique. Future work will be directed toward this approach, in addition to seeking answers to other unresolved questions. For example, one of the most important problems is to estimate the magnitude and sign of the biases of the cohort sizes and to determine how they are influenced by  $p_c$ . It is also apparent that the cohort CVs in Table 11 are less than expected, based on their respective p<sub>c</sub> values and the results of the simulation. One reason may be that the number of samples collected in 1988 was a large percentage (17 percent) of the estimated total, N. On the other hand, there is reason to believe that the fraction of samples having similar distributions may be greater than in the simulation, i.e. more than 2/25, a situation that would reduce the average variances independently of  $p_c$ . The relationship between  $p_c$  and the frequency of similar distributions should be studiedmore closely to determine their effect on the coefficients.

# Modelling

In the IATTC Annual Report for 1988 a hypothesis regarding systematic variation of the dispersion of tunas was described. Briefly, the suggestion was that tunas may increase their chances of being in a provident region by changing direction more frequently in waters that appear to them benign, and swimming a straighter course when they feel physiological stress or discomfort. This hypothesis suggests a mechanism whereby the distribution of a population of tunas might approximate the distribution of the resources upon which it depends.

Preliminary analysis suggests that the same mechanism might provide for the maintenance of a population within its environmentally-determined bounds, and for it to track the seasonal shifts of those boundaries. A spatial model of the population dynamics of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean is being developed which uses the catch and effort statistics compiled by the IATTC staff. Production modelling is being carried out for many individual areas, but interchange of fish between areas is permitted to take place. This model will be used to test further the hypothesis of

variable diffusion. It will also be used to investigate the effects of spatial heterogeneity on fisheries models.

# Sex ratios of yellowfin

Data on the sex ratios of yellowfin in the eastern Pacific Ocean were collected for the surface fishery in 1953–1962 and 1970–1973 and for the longline fishery in 1958–1962. Chi-square tests have traditionally been used to test whether the sex ratios deviate from 1:1 for a given length interval. For a chi-square test to be valid, however, the samples must come from a homogeneous population. It is necessary, therefore, to determine whether gears (surface and longline), areas, years, and seasons are homogeneous with respect to the sex ratios in order to know which categories should be pooled and which should be kept separate before chi-square testing is performed.

This is a multivariate problem in which many of the factors are confounded. For example, there is a greater percentage of males in the longline fishery than in the surface fishery. Is this only because longlines catch larger yellowfin, which are predominantly males, or is there a gear effect in addition to the size effect? Similarly, years, areas, gears, and size are all confounded. Therefore, a stepwise procedure was used to build a generalized linear model (GLM) which tests the significance of each factor on sex ratio above and beyond the other factors.

A GLM usually uses an F statistic to test for significance of factors. An F test requires that the dependent variable be normally distributed; therefore, the  $\arcsin(\text{square root}(\text{females/total}))$  was used as the dependent variable. Since preliminary tests on a few subsets of the data showed that individual samples were not homogeneous with respect to sex ratio, the samples were weighted equally, rather than by the sample size. A 10-cm interval within a sample was used as a unit observation. Preliminary results indicate that years and areas should not be pooled and that quarters of the year should be pooled; it is not yet clear whether gears should be pooled.

# Reproductive biology of yellowfin

Knowledge of the reproductive biology of yellowfin tuna is important for understanding of the population dynamics of this species. Various aspects of the reproductive biology of yellowfin, including locations and times of spawning, size and age at maturity, and spawning frequency, are still not well understood. There is also a need to determine whether there is diversity with respect to reproductive characteristics of fish in different parts of the eastern Pacific. Research on yellowfin reproductive biology should contribute to an understanding of the link between spawning and recruitment, and make it possible to evaluate the effect of fishing on the reproductive potential of the population.

A program was begun in September 1987 to obtain information on size-specific reproductive characteristics of yellowfin throughout the eastern Pacific. More specifically, the objectives are to: (1) classify by reproductive status the yellowfin of both sexes and all sizes, at all times of year, to define with precision the locations, durations, and peak intensities of spawning; (2) determine the lengths and ages of yellowfin at sexual maturity, and establish predictive regression equations for the proportions mature within areas; (3) determine the fecundities of yellowfin at various lengths within areas; (4) determine the spawning frequencies of yellowfin of both sexes, and estimate the annual fecundities within areas; (5) establish the relationships between timing of yellowfin spawning and climatic and oceanic phenomena, by area. These are being accomplished by obtaining samples of yellowfin tuna gonads (ovaries and testes), by length class-month-area strata, at sea and at canneries. The length-class intervals range from 50 to 150 cm in 10-cm intervals, and the area strata are north of 20°N, 10°N–20°N, 0°–10°N, and south of 0°. During the fourth quarter of 1989 the at-sea phase of the sampling program was completed. In total, samples from 15,336 fish were collected by scientific technicians on 150 trips.

Because it was expected that only small numbers of samples from fish caught in the northern area would be obtained from the at-sea sampling, gonad sampling from fish captured north of 17°N was conducted by IATTC personnel in Ensenada, Baja California, and Terminal Island, California. The sampling at the canneries was not quite completed at the end of 1989, as fish caught during the study period were still being held in freezers at the canneries. Samples from 5,335 fish had been collected by the end of the year.

The gonad samples collected at sea are fixed in 10-percent neutral buffered formalin and processed for histological slides. By the end of the year, 10,232 slides had been prepared. These slides are being examined microscopically to identify the stages of oogenesis in females or spermatogenesis in males. This provides an accurate assessment of the reproductive status of each fish. In addition, 4,307 of the gonad samples collected at the canneries in Ensenada and Terminal Island had been processed by the end of the year. The reproductive status of these fish will be assessed by using gonosomatic indices (ratios of gonad weight to estimated fish weight) for the males and females and oocyte diameter measurements for the females. Histological criteria will be used to verify the gonosomatic indices.

Also, as part of the investigation of the reproductive biology of yellowfin, otoliths from yellowfin captured in two area-time strata are being collected at canneries. The two strata are the area between  $20^{\circ}$ N and  $30^{\circ}$ N and  $110^{\circ}$ W and  $120^{\circ}$ W during August to October, and the area between  $0^{\circ}$  and  $10^{\circ}$ N and  $80^{\circ}$ W and  $90^{\circ}$ W during January to March. The intention is to collect otoliths from 15 females in each 10-cm length interval from 50 to 150 cm from each of the strata. These otoliths will be used to estimate the ages corresponding to the sizes at which 50 percent of the fish are mature for each of these strata. The majority of the otoliths for the fish captured in both strata were collected during 1989.

# Bioenergetics of yellowfin

Progress was made during the fourth quarter of 1989 on constructing a bioenergetics-based population model for yellowfin. The purpose of the study is to examine intra- and inter-annual predator-prey dynamics involving the yellowfin population in the eastern Pacific Ocean (EPO). Understanding the effects of predators on prey populations can yield important insights into the way ecosystems function and the degree to which the predators are limited by prey abundance and/or availability. Predation by piscivorous fishes has been shown to be a dominant force in structuring entire ecosystems via successive effects on planktivore, herbivore, and phytoplankton populations. By considering species assemblages at the community level, it becomes possible to evaluate the impact of predatory fishes and man's exploitation of them on ecosystem production dynamics. As a first step in the EPO, measurements of predator-prey interactions are needed to understand the trophic dynamics underlying tuna production.

Studying these processes requires estimates of predation rates for the predator populations. Direct methods entailing measuring the amount of food in the stomachs of wild-caught fish and adjusting for gastric evacuation rates determined by laboratory experimentation are labor-intensive and provide only infrequent point estimates of predation. In many cases, reliable consumption estimates can be obtained with less effort using bioenergetics models. The model utilized by the Commission staff is based on the premise that growth is an integrator of food consumption over time. Growth can occur only when energy consumption exceeds the sum of maintenance costs and waste losses. Thus growth represents surplus energy, and is the most sensitive variable in the energy budget to changes in abiotic conditions and food availability. The weight or energy balance,

$$C = R + SDA - F + U + \Delta B,$$

assumes that energy intake via the animal's food (C, consumption) must be used (R, metabolism; SDA, specific dynamic action), lost <math>(F, egestion; U, excretion), or accumulated  $(\Delta B, growth)$ . The

model uses observed growth rates over any time frame of interest to reconstruct consumption. Gonadal growth is included in  $\Delta B$ . Gametes lost are considered weight gained previously through additional consumption. The model is responsive to a number of variables, including body size, activity, seasonal and ontogenetic differences in caloric density of the predator and the prey, differential digestability of the prey, and changes in the composition of the predator's diet.

The parameters of the yellowfin bioenergetics model were adapted from previous studies. Estimates of yellowfin metabolism were based on measurements by C. H. Boggs (1984, Tuna bioenergetics and hydrodynamics, Ph.D. dissertation, University of Wisconsin, Madison) of total body energy losses in free-swimming, captive yellowfin from weight losses and changes in energy density during starvation. Metabolic energy costs (R, watts/g) were separated into additive terms of standard metabolism and locomotion:

$$R = 0.000445M^{0} + 0.000159V^{1.64}L^{-1.28}$$

where M is wet weight (g), V is swimming speed (cm/s), and L is length (tip of snout to fork of tail in cm). R was multiplied by 14.4 to convert to g/g/d, assuming a caloric density of 1440 calories/g for wild yellowfin. A model describing the size dependence of swimming speed was developed using composite diel activity patterns measured during ultrasonic telemetry experiments on free-ranging yellowfin. Data on four yellowfin tracked by a Woods Hole Oceanographic Institution scientist and Commission scientists and five yellowfin tracked by scientists from the U.S. National Marine Fisheries Service, Honolulu, and the Hawaii Institute of Marine Biology provided information to calculate mean swimming speeds weighted by the duration of each speed observation. V (cm/s) for yellowfin of various sizes was estimated by a power function fitted to the tracking data:

$$V = 3.22L^{0.77}$$
.

A power function is consistent with hydrodynamic theory and previous workers' representations of the size dependence of sustained and optimum speeds.

The maximum weight-specific consumption rate  $(C_{max})$  places an upper limit on the growth potential of a fish.  $C_{max}$  (g/g/d) is represented by a negative power function of body weight:

$$C_{max} = 1.07M - 0.18.$$

This relationship was derived by fitting a logarithmic transformation of laboratory-measured  $C_{max}$  data for skipjack tuna, using a weight-dependence coefficient for other large piscivores. The intercept of the  $C_{max}$  equation indicates that the maximum consumption rate of a 1-g yellowfin approximates 107 percent of the body weight per day. This value seems high, but is actually lower than maximum feeding rates of comparable-sized juvenile black skipjack tuna ( $Euthynnus\ lineatus$ ) in captivity. Fifty-mm (ca. 1-g) black skipjack eat about 150 percent of the body weight when fed to satiation 3 to 4 times per day in the Commission's Achotines Laboratory at water temperatures of about 27°C.

Specific dynamic action (SDA) generally includes the mechanical and biochemical energy requirements of absorption, digestion, transportation, and deposition of food. SDA (g/g/d) is modelled as a constant proportion of the assimilated food (C-F),

$$SDA = 0.207(C - F).$$

SDA has not been measured for tunas, but a value of 0.207 is consistent with an estimate of the biochemical component of SDA in yellowfin used by another worker, based on experimental data for other fishes. A portion of the food consumed is lost as waste products. Egestion (F, g/g/d) includes the energy lost via the feces, primarily as undigested food. Nitrogenous excretion (U, g/g/d) is primarily ammonia and urea loss via the gills. Egestion was modelled as a constant proportion of the weight-specific consumption rate (C).

$$F = 0.15C$$
.

Excretion, like SDA, was modelled as a constant proporiton of assimilated food,

$$U = 0.059(C - F).$$

Lacking definitive information on F and U in tunas, the values of 15.0 and 5.9 percent were adopted as first approximations for yellowfin, based on studies of other fishes.

The allometric effect of the weight-specific components of the energy budget at maximum ration is displayed in Figure 23. Except for metabolism, the rates decline rapidly for fish up to about 20 kg, and more slowly for larger fish. The metabolic rates at mean swimming speeds are almost independent of body weight. The scope for growth (Figure 23, shaded), the difference between the portion of  $C_{max}$  available for growth and the cost of maintenance metabolism, is greater for small fish than for large fish because the  $C_{max}$  and R functions converge with increasing size.

The bioenergetics model has been implemented for a cohort of 1 million yellowfin beginning at 30 cm in length, the size at entry to the EPO surface fishery, and ending after seven years of growth. Population numbers at the beginning of each quarter were calculated using an instantaneous annual natural mortality rate of 0.8, and assigned to sexes based on the sex ratios of purse seine-caught fish measured by Commission scientists. Fishing mortality was disregarded for these early model runs to facilitate evaluating the model's behavior and implications of sexually-dimorphic growth. The lengths and weights of males and females at the beginning of each quarter were calculated by equations in IATTC Bulletin, Vol. 18, No. 6. The growth of an average individual male and an average individual female in the EPO was simulated by iteratively adjusting C to a proportion of  $C_{max}$  until the final weight for a particular quarter (weight at beginning of following quarter) was attained within  $\pm 0.05$  percent. The total daily consumption calculated by the model for the population by sex is presented in Figure 24. Parameters for estimating energy expenditures for spawning are being added to the model. Future runs will incorporate size-specific diet data (stomach contents adjusted for differential rates of gastric evacuation) for 1970, 1971, and 1972 to produce population-wide estimates of predation rates for the major prey categories based on the actual population numbers for those years provided by the Commission staff's age-structured biomass analyses.

# Association of tunas with logs

A research program initiated in 1987 to study the association of tunas with floating objects was continued in 1989. Detailed information on the characteristics of floating objects with and without tunas associated with them (nature, shape, size, epibiota, *etc.*) is being collected to obtain a better understanding of the association of tunas with floating objects, and through that to explore the possibility of deploying man-made fish-aggregating devices (FADs).

Preliminary results show that logs—mostly trees and parts of trees—account for approximately two thirds of the total recorded floating objects. There are reports of palm, banana, bamboo, and mangrove trees, but most of the logs are probably tropical hardwoods, which are difficult to identify visually. The remaining one third of the floating objects consists of approximately equal proportions of wooden objects, such as pallets, crates, and boards, and other debris, such as tires, life savers, rope, fishing gear, and drums. There is also a small proportion of other types of floating objects, such as dead marine animals, kelp paddies, and research buoys.

Approximately half of the trees sighted still had small branches and/or roots attached, although few logs were sighted with bark and/or leaves, which may indicate at least a moderate amount of time at sea. The majority of the logs had probably reached the ocean without man's intervention, but a large proportion (more than 40 percent) of the trees showed marks from machetes or axes or had obviously been through sawmills. This indicates that the probability of logs reaching the ocean has increased in recent decades due to activities such as logging and agriculture. When the number of these cut trees is combined with the numbers of man-made floating objects, the proportion

of flotsam that is found in the eastern Pacific Ocean (EPO) as a result of man's activities represents slightly more that half of the total.

As can be expected from the large number of trees and parts of trees reported, over 80 percent of the objects are wooden, either natural logs or assorted debris such as crates and boards. Due to waterlogging, the mean life of most small wooden objects at the surface waters is probably short; most of the trees sighted were so waterlogged that at most of the tree was below the surface of the water. However, more than 15 percent of the flotsam is made out of plastic and/or metal—materials that presumably have a longer mean life at the surface of the water.

The typical size of flotsam is between 1 to 4 m, but logs larger than 9 m occur frequently, and trees as large as 18 m have been reported. The most common shape—two thirds of the total—is approximately cylindrical (trees, drums), but polygonal or box-like forms (plywood, crates), irregular (kelp paddies, rope), rounded (buoys, spools), and aggregated (several objects tied together) objects are also found frequently. Most of the cylindrical objects are floating horizontally or at small angles with respect to the waterline, but a few were sighted floating vertically, or nearly so.

Although half the logs appear to have been at sea only moderate amounts of time, more than one third of all the floating objects sighted had been at sea enough time to allow the growth of epibiota. Most common are sessile ("acorn") barnacles and green algae, but there are also reports of stalked ("goose") barnacles, crabs, limpets, and other types of seaweeds. In some cases heavy use by birds is indicated by guano deposits.

The faunal aggregations under floating objects seem to constitute a highly-dynamic species complex, involving several trophic levels and high rates of species renewal. In addition to yellowfin and skipjack, the most frequently-reported species are sharks (at more than 65 percent of all flotsam sightings), including whitetip (Carcharhinus longimanus), blacktip (C. limbatus), hammerhead (Sphyrna spp.), and other groups of oceanic sharks, probably Carcharhinus spp. Dolphin fish (Coryphaena spp.) is also an important component of the aggregated fauna, with reports at almost 60 percent of the sightings reviewed. These are sometimes reported in very large concentrations. Several species of triggerfish (Family Balistidae) and forage fish (often anchovy- or sardine-like species) were reported aggregating near more than a third of the floating objects. Other important groups in these mixed faunal aggregations include yellowtail (Seriola spp.) and rainbow runners (Elagatis bipinulatus), with reports in more than 25 percent of the records. Of less importance are frigate tuna (Auxis spp.), black skipjack (Euthynnus lineatus), wahoo (Acanthocybium solandri), marlin (Makaira spp.) and other billfishes, and sea turtles, which occurred near approximately 20 percent of the floating objects. Many other species, including cabrilla (Family Serranidae), flying fish (Family Excocoetidae), several species of dolphins, and invertebrates such as squid, were seen occasionally.

These preliminary findings indicate that floating objects may play an important ecological role in the epipelagic zone of the EPO. Flotsam appears to serve as a focal point for the concentration of many species. These flotsam-based aggregations of birds, epibiota, and fish constitute complex groupings where recruitment and renewal rates may be quite high. (For an example involving yellowfin and other tunas, see the IATTC Annual Report for 1987, page 36.) Tunas, which frequently contribute the greatest biomass, are probably one of the key components of this species complex.

Previous studies of the length-frequency distributions of the tunas (yellowfin, skipjack, and bigeye) associated with floating objects had shown that small tunas (<80 cm) are the predominant catch, whereas fishing for dolphin-associated fish produces larger yellowfin (usually >90 cm). A fishery directed toward small fish results in overfishing from the yield-per-recruit standpoint, and consequent reduced catches, as explained in the section of this report entitled **STATUS OF THE TUNA STOCKS IN 1989 AND OUTLOOK FOR 1990.** More recent studies, based exclusively on yellowfin tuna, have shown some promise for catching larger fish associated with floating objects in two well-defined areas of the EPO (Figure 25: arrows). Catches of large yellowfin in association with

logs are taken from the inshore area from November to January and in the offshore area in June and July. In both cases the sample sizes are insufficient to make a firm statement, but further exploration, and perhaps some field studies, are warranted. If it is possible to define areas and periods when large yellowfin can be attracted to floating objects, then FADs might be developed that would eliminate the two problems mentioned above and create an alternative to fishing for dolphin-associated fish.

A drift model of the EPO, which makes it possible to predict, given a source in time and space, the trajectory of a drifting object, has recently been completed. A two-stage modeling approach was used. First, the circulation vectors and the depth of the mixed layer were estimated, using an adaptation of an equatorial Pacific model prepared by scientists at the Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami. The output of this wind-driven model was monthly circulation vectors from 1962 to 1987, by 1-degree area, year, and month. These vectors and objectively-analyzed wind data were used as input for the second stage of the model. Floating objects were tracked in a Lagrangean manner from the main source areas off South and Central America until they disappeared from the system as a result of waterlogging or beaching, using prescribed space-time functions. The results show that the logs may drift on gyres in the Panama Bight for considerable periods, eventually ending up in productive areas along the coast of Central America and in the fishing area along 10°N latitude. The simulation approach may be useful for the study of ecological problems related to the transport and dispersal of other organisms, such as sea turtles, dolphinfish, and other log-associated fauna that return to coastal waters to reproduce. These data will be needed to select where the FADs would be deployed if and when the experiments are performed. The information in the IATTC data base on the characteristics of floating objects will be used in designing the devices.

# Analysis of the microconstituents of otoliths

During the late 1970s and early 1980s the IATTC staff conducted research on the chemical composition of hard parts of tunas, using proton-induced x-ray emission spectroscopy (PIXE), to estimate the amount of mixing among fish of different areas. The rationale behind this technique is that different ocean areas have different chemical, physical, and biological properties which influence the chemical makeup of the hard parts of the fish. The results of this work have been published in IATTC Annual Reports and in the Collective Volume of Scientific Papers, International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Vol. 24. Unfortunately, stock structure analysis using this technique is expensive and technically difficult. Also, interpretation of the results is difficult because the processes governing the elemental composition of the hard parts are not well understood.

The IATTC, in cooperation with scientists at the University of Washington, is currently supporting a study of an alternative method of detecting natural markers on the otoliths of tunas. The method currently being tested, which employs an energy-dispersive x-ray detector (EDS) attached to a scanning electron microscope, is non-destructive and hence suited for examination of elemental patterns at different periods of a fish's growth. The technique is inexpensive, and has been applied to species other than tunas with some success. As a preliminary study, 47 otoliths of yellowfin, 22 from fish caught near Ecuador and 25 from fish caught north of Papua New Guinea, were processed and examined for relative frequencies of 8 elements. A discriminant function analysis of the relative element concentrations indicated that 86 and 76 percent, respectively, of the two samples could be correctly classified as to their origin. Experience from this study has shown that surface preparation is critical. The variability in relative element concentrations was least between otoliths of the same fish, greater among fish of the same area, and greatest between fish of different areas, so separation of fish of different areas appears possible.

This preliminary study has indicated that the technique holds potential for a more detailed application. Consequently a study of skipjack microconstituents was carried out, using fish of various sizes collected from off Baja California and Hawaii. Three element readings were recorded from each transverse section of otolith, representing areas of early, mid-life, and recent growth. Each of these subgroups was compared among and within the two areas. As of December 1989, 197 x-ray scans had been processed. Preliminary analyses of these data indicate significant differences between fish of the two areas. It is possible, however, that the differences could be due to differences in the methods of storing (dry or in alcohol) the otoliths. Consequently, otoliths from 30 additional skipjack were sampled from fish caught off Baja California and stored by different methods. This experiment should make it possible to determine how stable the element concentrations are when different storage methods are used.

#### Bluefin studies

# Growth from hard part data

A re-examination of the estimates of growth of northern bluefin presented in the IATTC Annual Report for 1985 was carried out during 1989. A computer program for fitting the von Bertalanffy, Gompertz, and several forms of the Richards function was run on the data, with the four-parameter Richards function displaying the least sum of squares. However, using four parameters when three are unstable is not advisable. Therefore the Gompertz model, which showed a significantly better fit than the von Bertalanffy model, was selected. Sensitivity analyses were carried out in which K was fixed and the sums of squares of the deviations from the expected values for different values of  $L_{\infty}$  were calculated, and  $L_{\infty}$  fixed and the sums of squares of the deviations from the expected values calculated for different values of K. The sums of squares were then divided by the minimum sums of squares to produce quotients for the various combinations of K and  $L_{\infty}$ . Wide ranges of pairs of  $L_{\infty}$  and K produce sums of squares which are nearly equal (Figure 26), indicating that estimates of these parameters are inadequately determined by this method. This is probably caused by a shortage of data from larger fish, although large variation in growth rates of individual fish or inadequacy of the Gompertz model to characterize the growth of the fish are other possibilities.

The data used in the above analysis were obtained from bluefin 1–6 years old and 59–167 cm in length. In November and December 1988, and again in December 1989, very large bluefin were caught near the Channel Islands off Southern California, and 50 vertebrae from fish up to 271 cm in length were obtained. The addition of this information to the data base could clarify the relationship between K and  $L_{\infty}$ .

Mr. Yoshio Ishizuka of the Far Seas Fisheries Research Laboratory (now the National Research Institute of Far Seas Fisheries), Shimizu, Japan, spent several months in La Jolla during 1988 and 1989, working on bluefin data. He worked on tagging data with an IATTC staff member and alone on catch and size- and age-composition data for the western Pacific. Some of the results of the analyses of the tagging data are described in the IATTC Annual Report for 1988, pages 26–27. Some additional results of the analyses of those data, and some studies made with age-composition data for the western and eastern Pacific combined are summarized below.

# Growth from tagging data

The parameters of the von Bertalanffy growth equation for bluefin in the Pacific Ocean have been estimated by various workers from analyses of hard part, length-frequency, and tagging data. The estimates from tagging data, described in the IATTC Annual Report for 1984, were made with data for tagged fish released in the eastern and western Pacific Ocean by the IATTC staff during

1979–1981. Data for tagged bluefin released by the Far Seas Fisheries Research Laboratory were subsequently combined with those of the IATTC. Analysis of the combined data reveals that the growth is best described by a two-stage model, the growth of the fish less than or equal to 564 mm following the Gompertz model and that of the fish equal to or greater than 564 mm being linear. The relationship between length in millimeters and time in days is expressed by the following equations:

fish less than or equal to 564 mm

$$L_{t2}^{\lambda} = L_{\infty}^{\lambda} + (L_{t1}^{\lambda} - L_{\infty}^{\lambda}) e^{-K(t_2 - t_1)}$$

where

 $L_t = \text{length at time } t (t_1 \text{ is some time before } t_2),$ 

 $\lambda = 0.001$ .

 $L_{\infty} = 581$  mm, and

K = coefficient of growth = 0.01184 per day.

fish equal or greater than 564 mm

$$L_t = 564 + 0.709 \Delta t$$

where

 $\Delta t = \text{time}$ , in days, elapsed since  $L_t = 564 \text{ mm}$ .

# Age composition of the catch

Mr. Ishizuka used catch and length-frequency data for the western Pacific to estimate the catches of each year class in each year of the 1966–1986 period in that area. Preliminary estimates of the catches of each year class in the eastern Pacific in each year of the 1959–1988 period were made by an lATTC staff member, using catch data and the following length-frequency data:

Years	Format	Collected by
1952–1965	individual samples	California Department of Fish and Game
1966-1969	yearly summaries only	California Department of Fish and Game
1970-1971	individual samples	California Department of Fish and Game
1972	not available	
1973 - 1989	individual samples	Inter-American Tropical Tuna Commission

The data for both the western and eastern Pacific are summarized in Table 12. Correlation coefficients were calculated for 10 pairs of data (Table 13, upper panel), using the data in Table 12. Three of these were significant at the 5-percent level. The numbers of age-2 fish in the eastern and western Pacific are negatively correlated (Test 6), indicating that poor catches in the eastern Pacific could be due at least partly to greater-than-normal proportions of the total population failing to migrate from the western to the eastern Pacific Ocean. The catches of age-1 and -2 fish in the eastern Pacific are positively correlated (Test 7), indicating that the catch of age-2 fish in the eastern Pacific can be predicted, albeit poorly, from the catch of age-1 fish in the eastern Pacific one year previously. The catches of age-0 and -1 fish in the western Pacific are highly correlated (Test 8), indicating that the catch of age-1 fish in the western Pacific can be predicted from the catch of age-0 fish in the western Pacific one year previously.

The coefficient of correlation for the catches of age-0 fish in the western Pacific and the catches of age-2 fish in the eastern Pacific two years later is 0.386 (Table 13, Test 2). Although this relationship is not significant at the 5-percent level, it may indicate that the catch of age-2 fish in the eastern Pacific is related to recruitment two years previously, assuming that the catch of age-0 fish in

the western Pacific is a valid index of recruitment. Since the catch of age-2 fish in the eastern Pacific appears to be related to the recruitment two years previously (Test 2) and the catch of age-2 fish in the western Pacific in the same year (Test 6), a multiple correlation coefficient was calculated (Test 11). The resulting coefficient of multiple determination was highly significant, indicating that 55.6 percent (0.746² x 100) of the variation of the catches of age-2 fish in the eastern Pacific is explained by (1) a positive relationship to recruitment in the western Pacific and (2) a negative relationship to the catch of age-2 fish in the western Pacific. Since the catches of age-2 fish make up the majority of the catch by weight in the eastern Pacific in most years, recruitment and emigration from the western Pacific appear to have major influences on the total catches in the eastern Pacific.

In general, the results of the analysis of the catch-at-age data tend to support the tentative conclusion from the studies of the tagging data (IATTC Annual Report for 1988, pages 26–27) that variations in the proportions of western Pacific fish which migrate to the eastern Pacific are at least partly responsible for variations in catches in the eastern Pacific.

# Early life history studies

For many years fisheries scientists have believed that year-class strength is determined principally during the early life history (egg, larval, and/or early-juvenile) stages. Little is known about the biology of tunas during the larval and early-juvenile stages because they are relatively inaccessible to scientists. In the eastern Pacific Ocean fishermen seldom catch juveniles of less than about 30 cm in length, and schools of early-juvenile tunas are virtually never seen at the ocean surface. These considerations motivated the IATTC to establish a research center at Achotines Bay in the Republic of Panama dedicated to the study of the early life histories of tunas.

The IATTC staffs early life history research program involves laboratory and field studies aimed at gaining insight into the recruitment process and the factors that affect it. Previous research on recruitment of fishes suggests that both abiotic factors such as temperature, salinity, and local circulation, and biological factors such as feeding and predation can affect recruitment. As prerecruit survival is probably controlled by a combination of these factors, a recruitment research program must address the interaction of the biological system with the ocean and atmospheric environment. This section describes the Achotines Laboratory and studies conducted there and at the La Jolla laboratory to elucidate information on mortality, growth, and the influence of the physical environment on the biology of larval and early-juvenile tunas.

The Achotines Laboratory is located at Achotines Bay on the southern tip of the Azuero Peninsula in the Los Santos province of Panama (Figure 27). Achotines Bay is less than 5 nm (10 km) from year-round tuna spawning grounds, and provides access to clean ocean water suitable for holding live tunas in the laboratory. The annual sea-surface temperature range is approximately 22° to 28°C (72° to 82°F). The proximity of the research station to the study area provides a low-cost alternative to a large research vessel, and improves sampling flexibility and spontaneity.

Ten hectares (24.7 acres) of land were purchased in 1983, and the research, housing, and support facilities were gradually developed over the subsequent years. In 1989 improvements were made to the electrical generation and distribution systems and to the laboratory seawater system. An autoclave and ultraviolet water sterilization and air filtration equipment were installed in the laboratory to facilitate the culturing of algal and zooplankton food organisms.

Much of the early work at the Achotines Laboratory was concentrated on developing methods of capturing, transferring, and maintaining live scombrids in captivity. Early juvenile scombrids are attracted to a bright underwater light at night (nightlighting) and collected by dipnet for live transfer to the laboratory. Late-larval or early-juvenile scombrids have been captured in all months of the year, but not in all months of all years, since the inception of routine sampling in 1984. The following species have been held in the laboratory with varying degrees of success: yellowfin and/or bigeye

tuna, black skipjack tuna (*Euthynnus lineatus*), frigate and/or bullet tuna (*Auxis thazard* and/or *A. rochei*), sierra (*Scomberomorus sierra*), chub mackerel (*Scomber japonicus*), and striped bonito (*Sarda orientalis*). (Early juvenile yellowfin and bigeye cannot be distinguished on the basis on morphological, meristic, osteological, or pigmentation characters; a recent paper (U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 86 (4): 835–838) describes identification by electrophoretic means. Larval and early-juvenile *Auxis thazard* and *A. rochei* have been distinguished by minor differences in pigmentation, body depth, and gill raker counts, but the identifications are ambiguous.)

Progress continues to be made on developing techniques for handling and maintaining live tunas in the laboratory. Since 1986, four early-juvenile black skipjack have survived in captivity in excess of 130 days. The longest-lived specimen survived for 231 days, and attained a total length of 341 mm and a weight of 659 g. It died due to trauma suffered during transfer from one tank to another. The growth and survival of the juveniles appear to be improved by the addition of vitamin C, krill pellets, and beef liver to the diet. Feeding trials have also been conducted with brine shrimp (Artemia salina) enriched with fish oil and yeast. The nutritional content of the enriched brine shrimp will be analyzed soon to determine its value as an alternative food source for late-larval scombrids.

Efforts continued during 1989 to maintain algae and rotifers in large batch cultures at the Achotines Laboratory, and to develop cultures of locally-occurring copepod species to serve as food for captive scombrids. Recent efforts have centered on improving culture methods and expanding the algae and zooplankton cultures. Subcultures of the following algae were routinely maintained during 1989: Tetraselmis chuii, Isochrysis sp. (Tahitian strain), and Gymnodinium splendens. Rotifers (Brachionus sp.) also were maintained in subculture. Efforts were begun in 1989 to establish a stock of adult mullet (Mugil sp.) in one of the seawater ponds to produce larval fish to feed to the captive scombrids. Preliminary trials to induce spawning through hormone injections were unsuccessful.

The ability to collect larval and early-juvenile scombrids at sea was enhanced during 1989 by the acquisition of a new research vessel, the *Achotines III*. The 25-foot (7.6-m) Boston Whaler is powered by twin 155-horsepower outboard engines, and has a fuel capacity of 173 gallons (655 L) providing a range of approximately 160 nm (300 km). The vessel cruises at 20 knots, and is capable of a top speed of about 40 knots. It is equipped with a radar, satellite navigation system, depth sounder, and radio direction finder, which aid in locating sampling stations at sea. A custom-made mast, boom, and hydraulic winch were installed for deploying and retrieving plankton nets and ocean-ographic gear. After several months of outfitting and sea trials in San Diego, the boat was shipped to Panama. Because of difficulties associated with the Achotines Laboratory's remote location, inaccessible beaches, rocky coastline, and high surf, the initial months following the boat's arrival were spent devising procedures for launching, mooring, refueling, and maintaining it. Since early August the boat has been engaged in quantitative nearshore ichthyoplankton and oceanographic sampling off the southern end of the Azuero Peninsula (see the section entitled *Field studies* below).

Dr. Bruce S. Miller and Mr. John Stadler, a professor and a graduate student from the University of Washington School of Fisheries, visited the Achotines Laboratory to initiate a survey of the ichthyofauna in its vicinity. Mr. Stadler worked almost 3 months sampling and identifying the fishes, determining their habitat associations, and making some subjective estimates of their relative abundances (rare, uncommon, common, abundant). He compiled a list of almost 160 species, about 115 of which were present in Achotines Bay.

# Histological analysis of nutritional state and development

During 1989, considerable progress was made on a study designed to examine the development and nutritional condition of scombrid larvae and juveniles collected in coastal waters near Achotines Bay. The larvae of scombrids that spawn in tropical waters develop at high temperatures

and exhibit rapid growth, which presumably results in high food requirements. However, there is a great potential for food limitation in oceanic areas. The main objective of the study is to gain some insight into the potential for mortality due to starvation in tropical scombrid larvae and juveniles.

Samples of first-feeding scombrid larvae were collected, using plankton nets towed 5 to 18 km off the Azuero Peninsula. All the collections were made between early May and mid-August 1988, which coincides with the season of high rainfall and reduced upwelling in the region. The larvae were sectioned histologically and the tissues examined with light microscopy.

A total of 130 larvae of three taxa, black skipjack tuna, frigate and/or bullet tuna, and sierra, were examined. None of these was in the yolk-sac stage. All larvae had pigmented eyes and appeared to be in, at least, early feeding stages. Several tissues, including the brain, retina, liver, midgut epithelium, pancreas, and trunk musculature, were examined. The midgut epithelium, liver, and muscle tissue together appeared to provide the best index of nutritional condition. The nervous tissue of the brain and retina seemed to be the least responsive tissues, showing little variability in cellular condition. For each fish, the cellular condition of the midgut epithelium, liver, and muscle tissue was graded with a score of 1 to 3 (1 = degraded, 2 = intermediate, 3 = healthy or recovering). Approximately 30 to 40 percent of the fish of each taxon were judged to be degraded or malnourished. The relative proportion of malnourished larvae decreased with size. When considering only the smallest feeding stages (preflexion larvae < 4.5 mm standard length (SL)), the relative percentage of malnourished larvae for each taxon ranged from 17 to 47 percent, while the percentage judged to be either malnourished or in intermediate condition ranged from 67 to 83 percent. Since the duration of the malnourished or intermediate conditions must be very short at these high temperatures (1-2 days maximum), it is likely that a large percentage of the larvae graded in intermediate condition would quickly deteriorate and most of the malnourished individuals would starve. Although the data are preliminary, they suggest that the incidence of starvation in first-feeding larvae (at least during the early rainy season) may be very high.

Future analyses of first-feeding larvae will include seasonal and spatial (e.g. inshore-offshore) comparisons of nutritional condition. In addition, the histological sections already completed will be used for further studies of the development of the visual system of the larvae. Examinations are currently being made of the retinal development and visual acuity of the larvae, which will yield information pertaining to feeding and other behavioral capabilities of larval scombrids.

In addition to analyses of first-feeding larvae, studies of the nutritional condition and development of late-larval and juvenile scombrids collected by nightlighting also continued during 1989. Histological sections and slide preparations were completed on samples of black skipjack to examine nutritional responses to feeding delays and low food conditions in the laboratory. These samples are being used to develop grading criteria of nutritional condition in the field. To date, over 130 specimens have been analyzed histologically to characterize their nutritional condition. These larger fish have been added to the developmental series used to describe the ontogeny of the visual system in young scombrids. Developmental series of three taxa have been compiled: black skipjack (2.7–19.0 mm SL), frigate and/or bullet tunas (2.6–14.5 mm SL), and sierra (2.5–37.0 mm SL).

# Studies of growth from otoliths

The age and growth of 103 late-larval and early-juvenile black skipjack were analyzed, using growth increments in their sagittae (the largest of the three pairs of otoliths). The fish were collected in waters near the Achotines Laboratory by nightlighting during December 1986 through August 1988. The samples were preserved in 95-percent ethyl alcohol, and their standard lengths were measured and adjusted for shrinkage due to preservation. At the La Jolla laboratory both sagittae were removed from each specimen, cleaned, mounted distal-side-up on glass slides, and polished at the surface. The sagittae were immersed in oil, and the increments counted using a light microscope

at a magnification of 720–1080x. The maximum diameter of the sagitta was measured along the rostrum-postrostrum axis.

Preliminary studies to develop criteria necessary for counting increments and to validate increment periodicity are described in the IATTC Annual Report for 1988. Although the validation results are preliminary, they indicate that increments are deposited at a rate of one per day. Increment counts may produce underestimates of the age from hatching by one or two days, due to delay in formation of the first increment. However, it was provisionally assumed that the age of each fish was estimated adequately by the number of increments counted on the sagittae. (Experiments to validate this assumption by exposure of the fish to fluorochromes are described in the last paragraph of this section.)

Daily increment counts in the otoliths of young black skipjack were used to (1) estimate their age at the size at capture, (2) estimate their growth rate using age- and size-at-capture information, (3) compare the growth rates of fish caught during two distinct seasons, and (4) examine the potential for using sagitta diameter and fish length to estimate age.

Black skipjack in the range of 7.1 to 21.7 mm SL were estimated to be 8.0 to 22.7 days old (averages of several readings). The mean age of the 99 fish which provided reliable data was 13.3 days. A log-log model provided the best fit to the data over this short portion of the early life history. An arithmetic plot of the data is shown in Figure 28. The logarithmic transformation corrected a significant heterogeneity of variance which existed in the untransformed data. An average growth rate of 0.67 mm/d was calculated at three places  $(8, 13, and 18 \, days)$  along the curve. Future analysis will include more samples below and above the size range of this growth curve.

Estimates of the average growth rates also were calculated for subsamples of specimens collected during the two distinct seasons which occur in the Panama Bight. Fish collected between December 1987 and January 1988, the beginning of the upwelling season, and July and August 1988, the middle of the rainy season, had average growth rates of  $0.70~\mathrm{mm/d}$  and  $0.43~\mathrm{mm/d}$ , respectively. The coefficients of the log-log equations describing the two subsets were not significantly different at the 5-percent level (ANCOVA, 0.05 < P < 0.10). Based on these data, it is hypothesized that larval black skipjack grow more rapidly during the upwelling season and that the more rapid growth occurs because they are better nourished due to increased production associated with upwelling. Further sampling efforts will be designed to examine these hypotheses.

The estimated age was examined in relation to sagitta diameter. A log-log model gave the best fit. An arithmetic plot of the data is shown in Figure 29. The sagitta diameter appears to be a better predictor of age  $(r^2 = 0.74)$  than the standard length  $(r^2 = 0.62)$ .

In addition, the relationship of sagitta diameter to standard length was determined (Figure 30). A linear model gave a good approximation of otolith growth for fish in the size range of 7.1 to 21.7 mm SL.

Preliminary information on the periodicity of otolith increment formation in young black skipjack was obtained from fish held in captivity at the Achotines Laboratory during 1988 (see the IATTC Annual Report for 1988). This is important for evaluating the age and growth of young tunas in nature. To investigate further the increment formation rates and the factors that affect them, a series of validation and growth experiments was initiated, but not completed, during 1989. The work will be continued during 1990. Two fluorochromes, tetracycline hydrochloride and calcein, are added at various concentrations for specified numbers of hours to the water in the laboratory tanks in which late-larval black skipjack are held. Several days after exposure to these fluorochromes, the fish are killed, the otoliths removed, and the sagittae viewed under a microscope with ultraviolet light. The increment formed on the day the fish were exposed appears as a fluorescent mark, and the number of increments formed outside that mark can be compared with the number of days the fish were held after exposure to evaluate the temporal rate of increment formation. This research is designed to determine: (1) the minimum concentrations and exposure times of tetracycline and calcein which

produce detectable marks; (2) the survival rates of fish exposed to tetracycline and calcein; (3) the rates of increment formation at high and low food concentrations; and (4) fish and sagitta growth at high and low food levels.

#### Anesthetic trials

The accuracy of growth studies of captive fish depends on obtaining reliable measurements of size while the fish are alive. Tunas are delicate, however, and even brief handling of unanesthetized fish is likely to affect them adversely. Therefore, anesthetics are being tested on late-larval and early-juvenile scombrids at the Achotines Laboratory to determine if their use reduces handling stress and facilitates the taking of routine measurements.

Preliminary trials, using the anesthetic MS 222 (tricaine methanesulfonate) in concentrations of 50–80 mg/L and 150 mg/L, were conducted on two striped bonito, one frigate or bullet tuna, two black skipjack, and one sierra. The fish measured between about 51 and 126 mm SL. They were exposed to the anesthetic either by the addition of MS 222 to the holding tank or by transferring the fish into plastic bags containing the desired concentrations. Some of the fish died, and the others took a long time to recover from the treatment.

During subsequent trials the fish were transferred by dipnet into a bucket containing seawater and 100 mg/L of MS 222 (Table 14). They were kept there until their mouths were agape and active swimming had ceased. The fish were then removed from the bucket, placed on a glass plate covered with Fritz-guard (an agent to protect from abrasion) and seawater, measured with calipers, and transferred on the glass plate to another tank for recovery. With the exception of one sierra which recovered before it was measured and one black skipjack in poor condition before immersion, all the anesthetized fish recovered shortly after they were measured (Table 14) and few mortalities occurred following recovery. Three of the black skipjack used in one of the trials were successfully anesthetized and measured a second time after 8 days in captivity.

#### At·sea studies

The IATTC's early life history research program was amplified considerably during 1989 with the initiation of studies of the habitat of larval and juvenile scombrids near the Achotines Laboratory, in parallel with sampling of scombrid larvae with plankton nets.

# Oceanographic surveys

Understanding the ocean environment is a necessary element of experimental and observational programs which seek an understanding of the dynamics of fish populations. As larvae, scombrids are sensitive to ocean conditions which affect their physiological state, food supply, and maintenance in beneficial locations. Their survival to recruitment size and to reproductive age depends on interactions with ocean processes which are not well understood. Dr. Robert Owen, an oceanographer working under contract with the IATTC, designed a program to survey the local environment inhabited by larval and juvenile scombrids on the continental shelf, slope, and basin off the Azuero Peninsula (Figure 27). Monitoring surveys will supply data on the spatial and temporal distribution and abundance of scombrid larvae in relation to physical and biological processes.

In October, after a review of preliminary work at sea, an oceanography monitoring program was initiated. Station observation procedures were established and/or modified, and the methodology and sequencing of measurement techniques and reporting formats were reviewed and modified. Bathymetric transects were run across the Azuero shelf and slope to the fathometer limit of 600 m to determine the extent of the continental shelf, define the shelf break and slope gradient, and examine the roughness of each. Pinnacles on the continental slope, reported on navigation charts, were sought but not found. Fourteen station sites for repeated oceanographic observations were chosen along lines extending seaward from Punta Mala, Achotines Bay, and Morro Puercos to determine

long-term variations of characteristics on the continental shelf (<100 m), the shelf break (180–200 m), the continental slope (550–600 m), and the abyss (≥2000 m) (Figure 27). Sampling at the stations on each line requires much of a day, and the three lines are usually completed in 3 days to yield a quasi-synoptic view of the environment off the Azuero Peninsula for the current month. One such survey will be conducted during each month of the year. Weather and ocean environment parameters are measured at these stations using meteorological instruments, water sampling bottles, and a CTDO, an instrument which measures the conductivity, temperature, depth, and oxygen of the water simultaneously. The data are stored in the instrument's internal memory at rates of up to 24 observations per second, and after each cast are downloaded to a personal computer to be viewed, processed, and stored.

Various types of plankton nets and mesh sizes are being employed for sampling scombrid larvae and associated plankton. The bongo net, which consists of paired nets of 70-cm mouth diameter, is towed obliquely from about 50 m to the surface. In a standardized oblique tow, the cable is deployed at a rate of 50 m per minute and retrieved at 20 m per minute. The manta net is a single net which is towed horizontally at the surface. Both the manta and bongo nets use a 333- $\mu$ m mesh size. The parovet or mini-bongo net is similar to the bongo net, but it is smaller (40-cm mouth diameter), uses 35 and 150  $\mu$ m mesh sizes, and is hauled vertically.

To determine the short-term variability of observations and processes, surface drifter deployment and tracking procedures were established. The ability to determine the sampling vessel's precise position at sea is limited by the current navigation instruments, thus restricting drifter deployment to within visual and radar range of the coast and islands. An initial series of station observations at a surface drifter was completed. CTDO casts were made at intervals of 10 to 30 minutes at a surface drifter launched at the shelf break. The results will be used to determine the optimum sampling frequencies to employ during future drifter series, and to describe the short-period variation of the physical habitat.

Layered motion, with shear between layers, may be characteristic of the upper waters off the Azuero Peninsula and may affect larval fish transport and nutrient transfer which contributes to food production in the absence of upwelling. Paired deep and shallow drifter deployment and subsequent tracking of each is a procedure for determining flow velocities and the degree of shear between layers in the upper 50 m of the water column. A paired drifter series was run for several hours off Achotines Bay in October. The movement of a drifter rigged to respond to currents at 50 m relative to a surface drifter demonstrated shearing flow, probably concentrated somewhere in the thermocline.

The food stocks available to larval fishes are of obvious importance. Mini-bongo net sampling procedures were established for estimating the abundance of larval forage. Vertical hauls from 50 m depth to the surface were made. Clogging of the 35mm net was apparent, but not severe under the fairly rich conditions which prevailed. If clogging becomes a severe problem, a shoaler tow or a larger mesh size (75mm) can be used.

Sampling larval fishes for nutritional state requires minimum handling and rapid preservation. A sampling procedure to minimize towing time and allow fast recovery of the bongo net was developed. Both nets are choked to prevent sampling until they reach the desired depth. With the vessel stopped, the bongo net is allowed to sink rapidly to a depth of 70 m. The vessel begins to haul at normal towing speed and then, as the wire angle approaches 45°, a messenger weight releases the choke lanyards to begin the tow, and recovery by the vessel's winch commences. This procedure requires only 3.5 min, which minimizes tissue degeneration.

The data obtained from the oceanographic surveys are being entered in a data management system created for that purpose. This permits access to any desired set of oceanographic cast and station data, facilitating the preparation of maps, contour diagrams, and statistical reports.

## Exploratory sampling for larvae

Exploratory surveys to determine the distribution and abundance of scombrid larvae were planned and initiated during the fourth quarter of 1989. The survey program is designed to provide information necessary to increase the amount of larvae captured by operating chiefly in areas and/or in conditions where larvae and early juveniles are most abundant. Plankton samples are being taken near frontal zones (e.g. river, current, and upwelling fronts), eddies (e.g. around islands), and other physical features to indicate where the greatest concentrations of larvae are likely to be found, so as to maximize the sample sizes for future studies and learn more about the interactions of the fish with their environment.

Other sampling methods will also be investigated. Vertically-stratified oblique tows will be used to obtain information on the depth distribution of the larvae. Since an analysis of flow meter readings indicated no evidence of net clogging during the recent bongo net tows, the amount of water filtered during the exploratory surveys will be increased if necessary. Sampling at the surface after dark, a method used successfully in previous studies, will be intensified, using a manta neuston sampler (designed to sample the upper 15 cm of the water column) and a 1-m ring net. Sampling in the vicinity of successful nightlighting activity, when dense patches of late-larval and/or early-juvenile scombrids are present, will also be attempted.

Biological samples and physical data are processed quickly, so that the sampling procedures can be tailored to meet research needs. Soon after arriving at the laboratory, the fish larvae are sorted from the plankton samples. The CTDO data are entered into the data management system and graphical profiles of depth *versus* temperature, salinity, and oxygen concentration are generated. It is hoped that it will be possible in 1990 to graph the CTDO profiles aboard the sampling vessel to allow the scientists at sea to emphasize sampling near interesting physical features.

# Preliminary results of at-sea studies

Most of the stations along the "A," "M," and "P" transects (Figure 27) were sampled once during November and once during December. Only the A transect was sampled during August, September, and October. Oblique bongo net tows, 6 min in duration, were made to a maximum depth of approximately 50 m. The average numbers of scombrid larvae and early juveniles combined per 1000 m³ of sea water strained were estimated for stations along the shelf, shelf break, slope, and abyss for each transect. Several genera were represented. Not all the samples collected have been sorted at this time, but the data available to date indicate a greater abundance in December relative to the other months. Scombrids appeared to be more prevalent in the shelf and shelf break stations during December than during the other months. December typically marks the onset of the dry season, when the intertropical convergence zone is displaced to the south and the Caribbean trade winds produce upwelling along the Pacific coast of Panama. Peak spawning activity of tunas is thought to occur simultaneously with increased primary and secondary production during the upwelling season.

Preliminary CTDO vertical profiles to 100 m taken during the third quarter of 1989 showed that the top of the thermocline was shallower and better defined than originally thought. The depth of the mixed layer from the surface to the top of the thermocline was usually 30–40 m, and the bottom of the thermocline was around 40–50 m for stations over water between 200 and 2000 m in depth. The sea-surface and mixed layer temperatures for the stations sampled in late July through early August averaged 28.1 °C (83°F). The salinities measured at all stations were 30.0–32.1 o/oo at the surface and 31.5–33.0 o/oo at the top of the thermocline. The oxygen concentrations were homogeneous at around 4 mL/L throughout the mixed layer.

## Snapper resource studies

The IATTC staff is conducting a cooperative project with scientists from Panama's Dirección General de Recursos Marinos (DGRM) to study some commercially-important coastal fishes in the Los Santos province of Panama. The purpose of the project is to provide some fundamental information on the biology and potential catches of these species. Recent industrialization, principally through improved arrangements for processing and export of the catches, and the possible entry of larger vessels into the fishery make acquisition of estimates of the potential yields desirable. A sampling program was implemented in April 1986 to survey and assess the resources of snappers, family Lutjanidae, and other coastal fishes. Catch, effort, length, and weight data are being collected daily by DGRM biologists. These basic data will provide information on species composition, size compositions, condition factors, catches per unit of effort (CPUEs) using alternative gear configurations, and seasonal variability of the above. The fishery lands primarily Lutjanus peru, previously misidentifed as L. jordani. Other species caught in smaller quantities include L. guttatus, L. argentiventris, L. novemfasciatus, L. aratus, L. viridis, L. inermis, and Hoplopagrus güntheri.

The first three species comprise over 90 percent of the catch in the Los Santos province. Catch data for only those species are included in the following analysis. The CPUEs, in pounds per fishing trip, were calculated for each of the three species for 1986 through 1989 (Figure 31). A fishing trip is defined as of a period not exceeding 8 hours between the time a boat leaves the beach to go fishing and returns to land its catch. Boats sometimes make more than one trip per day, depending on fishing and weather conditions. Each boat usually has a crew of three fishermen, each with one line rigged with three hooks. The total catch and total number of fishing trips were greater in 1989 (594,533 pounds (269,675 kg), 6,986 trips) than in 1986 (313,135 pounds (142,036 kg), 2,936 trips), 1987 (287,655 pounds (130,478 kg), 3,928 trips), or 1988 (311,669 pounds (141,371 kg), 4,343 trips). The monthly average CPUEs were not greater, however, in 1989 than in the previous three years, but were more uniform from month to month (Figure 31). The monthly average CPUEs for *L. peru* for 1986 through 1989 were generally greater from June through September than during the rest of the year. This is probably due to reduced fishing time and efficiency from December through March, when strong winds are prevalent. A more in-depth analysis of the data is being prepared for a DGRM report.

## Oceanography and tuna ecology

# A strong anti-El Niño weakens in the eastern tropical Pacific

During the 1980s the atmosphere and ocean of the eastern tropical Pacific (ETP) experienced some of the greatest fluctuations of the last three decades. The most extensive and intense El Niño of this century, which developed during 1982 and continued during most of 1983, apparently disrupted tuna fishing greatly, as the catches in the eastern Pacific Ocean east of  $150^{\circ}$ W (EPO) during 1983 were the lowest since the 1960s (Table 1). This was followed by a mild anti-El Niño and excellent fishing conditions in 1984 and 1985, and then a mild El Niño occurred in 1987. This El Niño was confined to the equatorial region south of  $5^{\circ}$ N, however, so it had no significant effect on tuna catches north of that latitude. In 1987, in fact, the yellowfin tuna catches in the EPO were the third greatest on record (Table 1). In 1988 the strongest anti-El Niño of the 1980s developed. This remained moderately strong during the first half of 1989, and then it weakened. Thus anti-El Niño conditions were more prevalent during the last half of the 1980s than at any time since the 1960s. During this period the catches of tuna were high.

Anti-El Niño episodes in the ETP are characterized by: (1) colder-than-normal sea-surface temperatures (SSTs) along the equator and the west coast of South America; (2) stronger-than-normal southeast trade winds in the Southern Hemisphere; (3) sharper ocean-surface frontal

boundaries near the equator; (4) a shallower-than-normal upper mixed layer; (5) below-normal sea levels. All of these features are indicative of increased upwelling and biological enrichment.

The first quarter of 1989 was marked by a continued decrease in the SSTs, which had begun in 1988 over a large part of the CYRA. Along the equator from 105°W to 175°W the SSTs were as much as 3°C below normal in February. In addition, the coastal regions from Baja California to southern Peru experienced lower-than-normal SSTs. At Manta, Ecuador, located near 1°S, the SSTs at the pier had been below normal since March 1988 (Figure 32). At Chimbote, Peru, located on the coast at 8°S, the SSTs were about 1°C below normal. In contrast, Paita, Peru, located at 5°S, had SSTs nearly 3°C above normal during February and March. Paita was the only station to record above-normal SSTs during the austral summer. The temporary increase in the SSTs, which could be due to some local effect around the pier at Paita, was considered at that time by some local fishermen to be the beginning of another El Niño.

During the second quarter SSTs about 1°C below normal were recorded at most of the coastal stations from Manta to Chimbote, including Paita (Figure 32). The equatorial ocean front, which occurs between the warm waters north of the equator and the colder water on the equator, appeared to have strengthened east of 120°W. The ocean frontal boundary indicated intense upwelling of subsurface waters along the equator and in the coastal waters of Ecuador and northern Peru. Overall, the first half of 1989 in the ETP was a period of moderate anti-El Niño activity, as compared to the strong anti-El Niño of 1988.

During the third quarter of 1989 the SSTs were returning to normal over a large part of the ETP. Figure 33, which depicts the SST anomaly pattern for July, is representative of the third quarter. However, upwelling and strong wind mixing off the southwest coast of Baja California and two equatorial areas caused the SSTs to be more than 2°C below normal in 1989. Comparison of Figure 36 in the IATTC Annual Report for 1988 and Figure 33 in this report show that the SST pattern during the third quarter of 1989 was closer to the normal range of SSTs than it was during the third quarter of 1988, when anti-El Niño conditions were much stronger. Coastal stations from Manta to Chimbote were also recording SSTs which were returning to normal during the third quarter (Figure 32).

During the fourth quarter the SSTs were as near normal as is ever the case in any quarter in the ETP. The equatorial areas with SSTs more than 1°C below normal were diminished significantly relative to those for the third quarter, shown in Figure 33. Overall, during the fourth quarter, the trend in the SST anomalies and, atmospheric and oceanic indices indicates a continuation of near-normal environmental conditions in the EPO during 1990.

Several oceanographic and meteorological parameters are monitored by the IATTC staff as part of its continuing assessment of the effects of the ocean environment on the tuna fishery in the EPO. In addition to providing data useful for monitoring the SSTs, changes in the mixed layer depth (MLD) or depth to the top of the thermocline, rises or falls in sea level relative to the average sea levels at three stations from Colombia to northern Peru, and changes in the strength of the surface atmospheric circulation provide useful indicators of incipient warming or cooling events in the surface layer. The annual variations in the MLD, sea-level anomalies, and the Southern Oscillation Index (SOI) for 1987, 1988, and 1989 are shown in Figure 34. The SOI is calculated as the difference between the standardized sea-level pressure (SLP) anomalies at Darwin, Australia, and Tahiti. This index is a measure of the strength of the SLP system and the east-west wind circulation, principally over the South Pacific. The data for Figure 34 were obtained from the "Climate Diagnostics Bulletin," compiled and published monthly by the U.S. National Weather Service. During the mild El Niño of 1987 the MLD was considerably greater than the long-term mean (LTM) depth during most of that year in the equatorial region east of 100°W. After the first quarter of 1988 the MLD became markedly shallower than the LTM depth as the anti-El Niño became well established. The MLD was shallow during the first three months of 1989, and then it moved down to near the LTM, where it remained as the anti-El Niño weakened. The above-noted changes in the MLD were confirmed also from data recorded during dolphin survey cruisesin the EPO during 1988 and 1989 and analyzed by D.W. Behringer, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, Miami, Florida. During these cruises the MLD in the CYRA was observed to deepen to its normal depth in 1989, after being very shallow, at about 15 m on an average, in 1988. The sea level began to fall early in 1988 from a level much above the LTM in 1987 (Figure 34). After falling to 10 cm below the LTM in May, it returned to near the LTM in July, and then it gradually fell again during the last half of 1988. During 1989 it rose again, and was near the LTM after April, Variations in the MLD and sea level are directly linked with changes in the atmospheric and oceanic circulations which are reflected in the SOI. During 1987 the SOI was negative and, as a result, the tropical easterly winds were weak. During the first half of 1988 the SOI was near zero, which indicated that the surface high-pressure system in the South Pacific had returned to its normal strength. From the last half of 1988 through the first half of 1989 the wind-driven ocean currents became stronger, the mixed layer became shallower, and the sea level fell. In addition, upwelling was apparently strong along the equator and off the coasts of Ecuador and Peru, as suggested by the negative SST anomalies in these areas during this period.

# Tuna fishing success near the Costa Rica Dome

The possible influence of the ocean environment on tuna fishing during the 1970s and the 1980s can be seen in the fluctuations in fishing success around the Costa Rica Dome (CRD), located near 9°N-90°W. The CRD, one of the major upwelling regions in the EPO, exists because of the ocean currents in that area, which are known to be affected by El Niño and anti-El Niño episodes. The effects of some of these episodes on catch and effort in the CRD are described in the IATTC Annual Reports for 1985-1988. A measure of the success in fishing for yellowfin around the CRD can be obtained by estimating the availability and vulnerability to capture of yellowfin tuna by purse seiners. The mean annual values of catch per unit of effort (CPUEs) (catch per day's fishing) and successful set ratio (SSR) (ratio of the number of successful sets to the total number of sets) were compiled for the region within a 300-nautical mile radius of the CRD for the 1975 to 1989 period. An index of the availability and/or vulnerability of yellowfin to the purse-seine fleet was calculated as CPUE/(1 - SSR). From this expression the greater CPUEs and/or SSRs would yield greater availability-vulnerability indices (AVIs) and lower CPUEs and/or SSRs would produce the reverse. The annual average CPUEs, SSRs, and AVIs for the 1975–1989 period are shown in Figure 35. During the last half of the 1970s, and throughout the 1982-1983 El Niño, the CPUEs and SSRs were much below the 15-year means, which resulted in low AVIs. During this period the upper mixed layer in the CYRA was warmer and deeper than normal and the SOI and wind circulation were significantly below normal as a result of two El Niñoepisodes (1976, and 1982–1983). The last time there were such long warm-water periods was during the 1920s and 1930s. In contrast, anti-El Niño conditions dominated the ETP from 1984 to 1989, which resulted in a cooler and shallower MLD around the CRD and a much greater SOI and stronger easterly winds in the ETP than during the 1970s. During this period the CPUEs and SSRs were markedly above the 15-year means, and this resulted in AVIs almost 10 times those of the period before 1983. This great contrast in fishing success around the CRD is believed to have been due, in large part, to an excellent ocean environment and good food supply during the last half of the 1980s.

The 1980s, perhaps more than the 1960s and 1970s, have revealed how the tuna fishery in the EPO was affected periodically by atmospheric and oceanographic changes. Studies by the IATTC staff have shown that the availability and vulnerability of tunas to the purse-seine fleet have varied in some parts of the EPO as the ocean environment underwent abnormal changes. The El Niño of 1982–1983 caused prolonged abnormal ocean conditions, which resulted in very poor fishing success in the EPO. During this period a large portion of the tuna fleet moved to the western Pacific, where

fishing success was greater. At that time there was concern by the fishing industry that the tuna fishery in the EPO might not recover for many years. However, from 1984 to mid–1989 (except for 1987) a cold-water period or anti-El Niño occurred, and the tuna fishery returned rapidly to normal, and record catches of yellowfin were made during the last half of the 1980s. For the past 10 years the IATTC staff has had access to an increased amount of environmental data with which to monitor conditions in the ETP. These data, especially the temperatures of the upper mixed layer, will continue to be used to attempt to obtain a better understanding of the fluctuations in abundance, availability, and vulnerability of tunas in the EPO.

#### TUNA-DOLPHIN INVESTIGATIONS

The Commission's responsibilities include investigation of the problems arising from the tuna-dolphin relationship in the eastern Pacific Ocean (EPO), as described on page 7.

#### Data collection

The IATTC staff places scientific technicians aboard Class-6 purse seiners (>400 short tons fish-carrying capacity) of nations which fish for tunas associated with dolphins in the EPO. The technicians collect data on incidental dolphin mortality, marine mammal abundance, and fishing effort. The staff attempts to obtain a representative sample of all fishing trips so as to produce minimum variances of the estimates of dolphin mortality with the fiscal resources available. Purse seiners flying the flags of Ecuador, Mexico, Panama, Spain, the United States, Vanuatu, and Venezuela carried IATTC technicians in 1989. U.S. vessels also carried observers from the U.S. dolphin program conducted by the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS).

The sampling coverage in 1989, by the two programs, is summarized in Table 15. Sampling was conducted aboard a total of 287 trips during the year, 212 by the IATTC and 75 by the NMFS. This resulted in a sampling coverage of about 48 percent of all international fleet trips in 1989, including those which began in 1988 and continued into 1989 and those which began in 1989 and continued into 1990. The sampling coverage of international fleet trips with sets on fish associated with dolphins was over 51 percent, and the coverage of yellowfin tuna caught in association with dolphins was over 55 percent.

During 1989, the IATTC staff attempted to maintain a sampling coverage of 33 percent for all non-U.S. vessels. At this level of sampling, the mortalities of dolphins can be estimated with acceptable levels of error. The actual sampling level for the year was about 35 percent for non-U.S. vessels. The NMFS mandated a 100-percent sampling coverage for U.S. vessels with permits to fish for tunas associated with dolphins in 1989. The actual coverage for U.S. Class-6 purse seiners was 93 percent because two such vessels were exempted from the program for all or part of the year because they did not have such permits. The IATTC and NMFS programs normally share the U.S. sample equally. In mid–1989, however, the NMFS decided that it required access to field data collected by IATTC technicians on U.S. vessels for enforcement of its national regulations. NMFS observers accompanied all U.S. trips for several months during the middle of the year until a mechanism for the transfer of the data to the NMFS via the vessel managing offices was developed. As a result, the majority of the sampling of U.S. trips in 1989 was conducted by NMFS observers.

All but three of the national fleets which fished in the EPO in 1989 participated at least at, or near, the 33-percent level. Each of three fleets, Costa Rica, El Salvador, and Korea, consisted of only one vessel, and each of these vessels made only one trip in the EPO during the calendar year. In addition, sampling was not conducted aboard one vessel which did not have any registry for one trip in the EPO.

# Technician training

Five courses to train scientific technicians in the collection of data aboard purse seiners were held during 1989. One course was held in Panama, Republic of Panama, in January, for 4 Panamanian trainees, one course was held in Cumaná, Venezuela, in June, for 12 Venezuelan trainees, and one course was held in Ensenada, Mexico, in November, for 15 Mexican trainees. All attendees received instruction in marine mammal and tuna identification, data collection requirements and procedures, marine mammal herd size estimation, tuna fishing gear and operations, and shipboard protocol and safety. Two courses were also held in La Jolla, California, one in March and one in July, for a total of 23 U.S. trainees. The U.S. technicians received instruction on IATTC data collection procedures and marine mammal herd size estimation, supplementing the training they had received from the NMFS.

## Tuna-dolphin workshop

The Commission, jointly supported by the NMFS, held a Tuna-Dolphin workshop on March 14–16, 1989, in San José, Costa Rica, which was attended by government and industry representatives from nations with fleets which fish for tunas in the EPO and by other interested parties. (The background documents and a report on the workshop are available from the IATTC.) The purpose of the meeting was to discuss the tuna-dolphin controversy and national regulations which affect the fishery for tunas associated with dolphins and the markets for tuna. One result of that meeting has been a series of dolphin mortality reduction workshops conducted by IATTC staff members for fishermen and industry personnel of the EPO tuna purse-seine fleet. The workshops held in 1989 are listed in Table 16, and the topics discussed during each workshop are listed in Table 17. Fishermen attending the workshops are issued a certificate of participation by the Commission. Of the 127 fishermen who have attended the workshops, over half were active fishing captains.

#### Gear program

In 1989, the gear staff assisted 37 vessels of the international fleet with dolphin safety panel (DSP) alignments and dolphin safety gear inspections. Vessels registered in Mexico, Panama, Vanuatu, and Venezuela participated in this program. After each DSP alignment and inspection, the staff provides the vessel owner or manager with a written summary of the results of the inspection and recommendations, if any, for improving the vessel's dolphin safety gear and the gear's performance. The IATTC staff's DSP alignment and gear inspection service is summarized in Table 18.

In addition to the DSP inspection and alignment service, other services are available from the IATTC staff to assist the managers of individual vessels and fleets in reducing dolphin mortality. Literature and videotapes on dolphin mortality reduction are available at all offices. Analyses of trip data are available, with proper data release authorization, to allow the managers to monitor the performances of the vessel and its captain. In addition, a number of devices which may help to reduce the mortality of dolphins in the nets have been tested or are being considered.

#### Dolphin rescue boat

The "Jet Mate," a recreational watercraft manufactured by the Kawasaki Motors Corporation which appeared on the consumer market in early 1989, may have applications as a platform for dolphin rescue during purse-seining operations. This craft was introduced to the fleet by Mr. Robert Salomons of the Porpoise Rescue Foundation. The Jet Mate has a fiberglass hull, and is propelled by a jet pump attached to a 52-horsepower engine; thus there is no propeller. It is 9 feet (2.7 m) long and 5 feet (1.5 m) wide, making it large enough for three occupants, and it is stable because its hull sits low in the water. It is steered with a "joy stick," and has a turning radius of only about 8 feet (2.4 m).

Since April of 1989 several vessels of the international fleet have tried the Jet Mate as a dolphin rescue platform. Early trips revealed mechanical and structural problems, due mainly to the fact that the fiberglass hull of the Jet Mate is not strong enough for the rigorous conditions encountered during purse-seining operations. Two units being tested by the U.S. fleet have undergone some structural and mechanical modifications by both a Kawasaki dealer and the vessels using them. This has resulted in improved performance, but some problems are still being encountered. The reliability of the Jet Mates could possibly increase as crewman become more familiar with their mechanical systems and more spare parts are supplied to the vessels. An aluminum version of the craft would probably increase its durability as well.

When the Jet Mates have been operable, their performance has been encouraging. Several fishing captains who have used them believe that they are useful for herding captured dolphins toward rescue areas and for rapid hand rescue of endangered dolphins. They have been impressed by the ease with which the craft can move over the corkline into and out of the net. This maneuverability enables the Jet Mate operator also to perform other duties, such as clearing fouled lines in areas that a speedboat propeller might get tangled.

### Experimental net

Two IATTC staff members were invited by scientists at the University of California at Santa Cruz (UCSC) to participate in a study of the behavior of encircled Hawaiian spinner dolphins. The UCSC scientists had designed an experimental net with a gate which could be used for pre-backdown release of dolphins in order to reduce dolphin mortality in purse seines, and they wanted to determine the size of the gate through which the dolphins would exit voluntarily. The test, conducted off the island of Hawaii during November 1989, proved inconclusive because of difficulties in deploying the experimental net and in capturing dolphins.

## Incidental mortality of dolphins

One of the objectives of the tuna-dolphin program of the IATTC is to estimate the incidental mortality of dolphins caused by the international fleet. These estimates have been produced by the IATTC staff since 1979. Estimates for years prior to 1979 have been made by scientists from the

in association with dolphins) and (2) average mortality per set (or per ton of yellowfin). The mortalities per set or per ton of yellowfin are used as measures of performance of the fleet in reducing dolphin mortality. These measures are heavily influenced by the areas where fishing takes place and the stocks toward which the effort is directed. Proper analysis of performance data requires calculation of ratios for different areas and/or for different stocks for each year. To obtain a crude comparison of performance in different years, however, it is possible to divide (1) the total mortality estimated by the mortality-per-set ratio by the total number of sets on dolphin-associated fish and (2) the total mortality estimated by the mortality-per-ton ratio by the total number of tons of dolphin-associated yellowfin caught, to compute mortality-per-set and mortality-per-ton ratios. The former increased by 2.7 percent in 1989, while the latter decreased by 9.6 percent.

The changes in the estimates of mortality for the principal stocks show a different geographical distribution of the effort directed toward dolphin-associated fish in 1989. The mortality estimates for the northern whitebelly spinner stock trebled, while those for the eastern spinner stock were 20 percent less than in 1988, indicating a shift in effort toward the western (offshore) area. It can be seen in Figure 36 that there were fewer sets in the areas of northern and southern common dolphin stocks (mortalities reduced by 75 to 90 percent) and a concentration of effort in the area of the central common dolphin stock, roughly between 2°N and 16°N (mortality 75 percent greater than in 1988).

# Relative abundance of dolphins

The possible effects of incidental mortality on the abundances of the various species and/or stocks of dolphins in the EPO are monitored by analyzing data collected on tuna vessels. This mortality was sufficient during the 1970s to reduce the abundances of at least two species of dolphins, the spotted dolphin and the spinner dolphin.

Tuna vessel data provide a large data hase with regular coverage of substantial nontienant

### Spotted dolphins

The data in Figures 37 and 38 and Table 24 indicate that the northern offshore stock of spotted dolphins is more or less stable. Although there is some indication that the abundance increased during the 1980s, none of the 5-year trends shows a statistically significant increase, unless the aberrant 1983 estimate is retained. However, the estimates are consistent with a stock which reached its minimum abundance in the early 1980s, perhaps with some recovery following the strong El Niño of 1982–1983. The estimates of the relative abundance for the last five years have oscillated no more than 10 percent about the mean for the period.

The data in Figure 39 and Table 24 indicate that some estimates of the relative abundance are suspect for the southern offshore stock of spotted dolphins. There is evidence of a decline between 1982 and 1988, but the 1989 estimate is the greatest since 1982. The staff believes that the variability in the estimates is due at least partly to movements of a substantial proportion of the stock across the stock boundaries. For example, the 1988 estimate is particularly low, and the distribution of sightings for that year shows that many herds were detected outside the boundaries, perhaps as a result of a temporary shift in the distribution of the stock. There may also be movement across the boundary separating the southern from the northern stock in some years, since the encounter rates are sometimes high in the vicinity of this boundary. This suggests that the 1988 estimate should be considered as an outlier. The question of the sensitivity of the current procedures to variations in the range of this stock deserves further consideration, and perhaps the assumption of fixed areas must be relaxed to increase the robustness of the estimates.

## Spinner dolphins

As with the northern offshore stock of spotted dolphins, the relative abundance estimates for the eastern stock of spinner dolphins are consistent with a stock which reached its minimum abundance in the early 1980s, perhaps with some increase since then (Figure 40 and Table 24). The evidence of an increase is slightly stronger for eastern spinner dolphins, although fluctuations in the estimates of recent years are quite large.

Recent estimates for the northern whitebelly stock of spinner dolphins (Figure 41 and Table 24) suggest that its abundance has been fairly stable, following two low estimates for 1983 and 1984. This pattern is similar to those for other northern stocks of spinner and spotted dolphins.

Between 1978 and 1985, estimates of the relative abundance for the southern whitebelly stock of spinner dolphins increased fairly steadily (Figure 42 and Table 24). The sample sizes were insufficient to obtain estimates for 1986. The 1988 estimate was the lowest since 1978, whereas the 1989 estimate was close to the average of recent years, and a little above the average for 1976–1988. Despite the apparent evidence of an increase, there is no compelling evidence that the stock is either increasing or decreasing at present.

# Common dolphins

Small sample sizes for the mid–1980s make assessment of current trends in the size of the northern stock of common dolphins problematic. The data in Figure 43 and Table 24 show no evidence of a recent trend. The four relative abundance estimates since 1986 have been less than the average during 1975–1983. Data for more years are required to assess whether these estimates indicate a recent decrease. The quality and quantity of data available for this stock have improved in recent years; if this tendency continues, more reliable assessment of the stock should be possible soon.

The relative abundance estimates for the central stock of common dolphins have been low since 1980 (Figure 44). The 1988 and 1989 estimates are near the higher end of the range of recent estimates, but are lower than any of the pre–1980 estimates. The data in Figure 44 and Table 24 suggest that the stock is more or less stable, but at a reduced level relative to the 1970s. As with the

northern stock, the recent data are better than those for the early 1980s, so they are likely to provide a more reliable comparison with pre–1980 estimates.

The data for the southern stock of common dolphins are generally sparse, and the sample sizes have been too small to estimate the relative abundance in 6 of the last 12 years, making trends in abundance difficult to assess. The 1988 and 1989 estimates are close to the average since 1977, perhaps indicating that the abundance is stable, although possibly at a reduced level relative to the mid–1970s (Figure 45 and Table 24). In common with other southern stocks, the relative abundance estimates should be interpreted with considerable caution in view of the lack of data.

### Detection of dolphin herds by radar

High-resolution radar, capable of detecting birds associated with dolphin herds, has recently been introduced to the tuna fleet, and is becoming widely used. The use of "bird radar" affects the precision, and possibly the biases, of the dolphin abundance estimates. The detectability of the herds is increased by the use of radar, leading to larger sample sizes and more precise estimation of the abundances of dolphins. Since line transect methodology estimates detectability from the data, the change would not affect the biases if the assumptions of line transect sampling are satisfied. Since the assumptions are known to be violated, however, it is necessary to assess whether radar detections affect the biases in the relative abundance estimates. Potentially, radar could yield better estimates of sighting angles and distances. This, in turn, would mean that less "smearing" of the data to compensate for rounding errors is required, and the bias in the estimates might change as the quality of the data improves.

Estimates calculated after eliminating the data for radar sightings are given in Tables 25 and 26. Comparison of these tables with Tables 22 and 23 indicates that the inclusion of radar sightings does not seem to compromise comparability with previous estimates, at least for the period considered here. It will be necessary, of course, to monitor the potential changes in biases as the employment of radar increases and more information is made available about its use in detecting dolphin herds.

## Tuna-dolphin interaction

An explanation for the tuna-dolphin bond remains elusive. Questions about the advantages gained by the tunas and the dolphins are yet to be answered. The main association is between yellowfin tuna and spotted dolphins. Because these species have similar diets, it is generally thought the relationship is food-based, but it is possible that the similar diets are an opportunistic consequence of the association, rather than its cause. A mathematical model proposed by a member of the IATTC staff indicates that the relationship must be advantageous to the shorter-lived species, the fish, for the relationship to be stable. The fact that the fish stay with the dolphins even while the dolphins are being chased suggests a strong tendency for associating with dolphins.

In order to study the tuna-dolphin bond, the herd size of spotted dolphins and the catch of tunas were plotted by time of day, using data gathered by scientific technicians aboard tuna vessels during 1974–1987. The catches of tunas were stratified by species and fishing mode: (a) "dolphin" sets—sets which capture yellowfin tuna associated with dolphins (typically fish greater than 90 cm); (b) "log" sets—sets which capture yellowfin and/or skipjack tuna associated with logs or other floating objects (typically fish less than 70 cm); and (c) "school" sets—sets which capture yellowfin and/or skipjack tuna found near the surface and not associated with dolphins or logs (also small fish).

Spotted dolphin herds increased significantly in size during the morning hours and fragmented in the late afternoon (Figure 46). The average catches of yellowfin associated with dolphins and with logs also increased in the morning, but remained relatively constant throughout the afternoon (Figures 47–48). The average catches in school sets on yellowfin and log and school sets on skipjack, however, did not show this daily pattern (Figures 49–51). Both large and small yellowfin are

opportunistic foragers, and feed on basically the same prey species (IATTC Annual Report for 1984: Figure 17). This suggests that the daily increase in yellowfin schools is a result of their association with dolphins or logs, which may serve as a rallying point in an environment where prominent "landmarks" are rare. Another contributing factor would be that, as the spotted dolphin herds combine, the fish associated with the herds may be brought together as well.

The mean ratio of the catch of yellowfin to the number of spotted dolphins in the same aggregation did not change significantly throughout most of the day, but increased markedly after 1800 h (Figure 52). At this time, the dolphin herds begin to fragment (Figure 46) while the tuna schools remain intact (Figure 47), resulting in an increase in the tuna-dolphin ratio. This suggests that the tuna-dolphin bond weakens at night. If nighttime fishing on large yellowfin tuna is feasible, these results also suggest that the impact on dolphins may be reduced.

Spotted dolphins and yellowfin tuna are potential competitors. It is not known if the relationship remains stable because their food is not limiting, because they partition the resources, or because at least one of the species benefits from the presence of the other. Yellowfin are known to drive their prey to the surface of the water. Dolphins may benefit from this, because such prey would be more easily available to them. Yellowfin, on the other hand, may benefit from the disruption of tight schools of forage fish by dolphins. Detection of prey may be enhanced for both species due to the combination of different sensory modes, *e.g.* the echolocation capability of the dolphins may complement the sense of smell of the fish. Thus, one hypothesis would be that the relationship is mutualistic, with both species benefitting from foraging together.

This hypothesis creates somewhat of a paradox. If the relationship between spotted dolphins and yellowfin is primarily a diurnal one based on feeding advantages, why have food-habits studies by the NMFS and IATTC shown the stomachs of spotted dolphins to be empty in the afternoon? The IATTC staff is currently attempting to resolve the uncertainties about the feeding times of tuna and dolphins.

An alternative explanation of the association could be that tunas and dolphins, either independently or jointly, encounter large concentrations of prey species, *e.g.* fishes or squids, and that they follow these concentrations for days, or even weeks. During this period both the tunas and the dolphins would feed on the prey concentrations at whatever times of the day they preferred. Perhaps the dolphins would feed at dawn and dusk and the tunas during the day, but even when they are not feeding they would maintain contact with the prey concentration. This type of behavior would generate an "indirect association" between tunas and dolphins, that is they would both be associated with the food supply more than with each other. Even if they feed on the prey at different times and/or with different frequencies, they might still remain together for long periods of time, especially since the shallowness of the mixed layer in the eastern Pacific might be conducive to their staying together longer. In other ocean regions, with deeper thermoclines, differences in feeding behavior, for instance, might separate the tunas and dolphins, with the tunas feeding in deeper water on one type of prey and the dolphins feeding in shallower water on another.

After a period of feeding, the tunas or dolphins might fall back and follow the concentration of prey from a distance. To keep pace with the prey concentration should present no problems to the much-faster predators, but if the prey organisms are very slow physiological problems might appear, at least for the tunas. Quick, deep dives might be used to improve oxygen circulation or to regulate temperature.

When the concentration of prey has been reduced to a level where the per-capita intake of the predators is no longer adequate, the school of tunas and the herd of dolphins must search for a new concentration of prey. At this stage the tunas might benefit from the dolphins' echolocation or aerial vision, which could be used to detect bird activity, or the dolphins might benefit from the tunas' well-developed olfactory system. Alternately, the two might separate and search independently, each

eventually encountering another prey concentration to follow, and with it another school or herd of predators.

If there is any direct association between tunas and dolphins, it may be determined by factors which are significant only during the searching periods, only during the following and feeding periods, or during both periods. How much of their time tunas and dolphins spend searching for prey and how much they spend following and feeding on them cannot be determined until more information on the dispersion of the prey organisms is obtained. Experiments involving following groups of tunas and dolphins, while collecting information on prey species, would probably shed some light on this matter. In the meantime, the simplest explanation for the tuna-dolphin association is that both are opportunistic feeders which share a foraging strategy consisting of encountering a concentration of prey and then following it; as the prey tend to form large aggregations, the predators that follow them are usually encountered together. This has led to the concept of an association, when in reality it may simply be two predators following a large and moving food source.

In addition to tunas and dolphins, sharks, billfishes, birds, and other animals are likely to be part of this moving "association." The emphasis on tunas and dolphins, caused by the fact that the IATTC staffs data come from the fishery, may be hiding the fact that there are many other species that travel together with them.

#### STATUS OF THE TUNA STOCKS IN 1989 AND OUTLOOK FOR 1990

It is the responsibility of the IATTC staff to monitor the fluctuations in abundance of the tropical tunas of the eastern Pacific Ocean and to assess the effects of man's activities and natural factors on their abundance. Each year scientific information gathered by the staff is used to make recommendations for the management of these species. This is accomplished by presenting information in background documents and orally at the meetings of the Commission. To disseminate this information to the general public it is summarized in this annual report.

## YELLOWFIN

The status of yellowfin in the eastern Pacific Ocean has been assessed with age-structured models and production models, using data collected by the IATTC staff. These results will be summarized, followed by a discussion of the condition of the resource in 1989 and considerations for 1990.

In the IATTC Annual Reports of past years, the yellowfin data for the area east of 150°W have been segregated in accordance with whether the fish were caught inside or outside the Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA) (Figure 1). Most of the analyses were concerned with fish caught inside the CYRA. The IATTC staff made this decision based on investigations of the population structure of yellowfin in the Pacific Ocean (IATTC Bull., Vol. 17, No. 5) and subsequent studies which suggested that the fish further offshore were affected differently by fishing than those which were nearer to the coast. Since 1978, however, the distribution of the fishing effort and catches has become much more continuous (Figure 2), and it is now apparent that since the early 1970s the average sizes of the fish in the catches from the two areas have shown similar trends (Figure 53, upper panel) and that the catches per day's fishing (CPDFs) from these areas have been similar (Figure 53, lower panel). This section, therefore, will focus on analyses of data for yellowfin from the eastern Pacific Ocean, east of 150°W between 40°N and 40°S, treated as a single stock. Henceforth, in this section, the area east of 150°W will be referred to as the "eastern Pacific Ocean." In addition, the analyses include several additional changes. A new growth curve from IATTC Bulletin, Vol. 18, No. 6 (Figure 54), which indicates more rapid growth than thought to be the case previously, is used. The analyses include the assumption, based on current studies of the ratio of males to females in the catch, that the natural mortality rates are different for mature males and females. The size at first entry into the catch has been changed from 40 to 30 cm, which causes the month of entry to be 2 months earlier. Finally, monthly, rather than quarterly, time intervals are now used in the computations. In spite of all these changes, the new estimates of biomass and recruitment have not been drastically altered (Figures 55 and 56), and certainly the trends remain the same. The results of the most recent analyses will be described, followed by a discussion of the condition of the resource in 1989 and considerations for 1990.

### Age-structured models

Age-structured models make use of data on recruitment and on the growth and mortality of individual fish. Estimates of these parameters are obtained from analyses of length-frequency and hard part data from the fish in the catches, supplemented by tag return data and other data of various types. The IATTC staff has collected data on the size composition of the catches of yellowfin in the eastern Pacific Ocean since 1954, and in addition has had access to the corresponding data collected during 1951–1954 by the California Department of Fish and Game. The hard parts were collected during 1977–1979, and the analyses were carried out during the early 1980s. Tagging was conducted principally from 1955 to 1981, and analyses of these data are still in progress.

#### Biomass analyses

Age-structured biomass analyses performed by the IATTC staff have produced information concerning the abundance and mortality of fish of individual year classes which has been highly useful for stock assessment. As a first step, the fish in the catch must be assigned to cohorts. (A cohort consists of all the fish recruited to the fishery at the same time, such as the X73 cohort, which reached a length of 30 cm in about November of that year, first entered the fishery in small numbers during the first half of 1974, and contributed to it significantly for the first time during the second half of that year, and the Y73 cohort, which reached a length of 30 cm in about May of 1973, first entered the fishery in small numbers during the second half of that year, and contributed to it significantly for the first time during the first half of 1974. The recruitments to the X and Y cohorts have been estimated, and it appears that the Y cohort, on the average, is slightly larger than the X cohort (Table 27).) Then estimates are made of the numbers of fish of each cohort at the time of recruitment and at various intervals thereafter and of the numbers which are caught and which die during each interval. These numbers are converted to weights from data on the average weights of fish of different sizes to calculate the biomass estimates. The information needed for these calculations includes the numbers and average weights of fish of each cohort in the catch, an estimate of the natural mortality rate (or estimates of a series of rates if the natural mortality is not constant for the fish of different ages), and an estimate of the fishing mortality rate for at least one catch interval for each cohort. These are called the "initiating" rates of fishingmortality. All of these estimates are obtained from analyses of catch statistics and length-frequency, length-weight, and sex ratio data. The results of these analyses are not as accurate as desired because, although fish of different cohorts can be easily distinguished from one another when they are young, this becomes increasingly difficult as they grow older, so older fish are probably often assigned to the wrong cohorts. Thus not only are the estimates of the catches of fish of each cohort less accurate than desired, but the estimates of the mortality rates are somewhat crude. Specifically, an estimate of 0.8 for the instantaneous annual rate of natural mortality (M) is used for all ages of males. For females, M is assumed to be 0.8 for the first 30 months in the fishery and then to increase linearly to about 6.5 at 80 months. (In practice, it varies somewhat among cohorts.) Also, the catchability of the fish varies according to age, area, season, weather, and other circumstances, the growth rates vary, and the times of recruitment vary. All of these introduce "noise," and possibly bias as well, into the calculations.

Age-structured biomass analyses have been conducted for the 1964 through 1989 period. Quarterly estimates of the average numbers of fish by age group for 1967 through 1989 are given in Table 28, and estimates of the annual average biomasses of fish by age group for 1967 through 1989 are shown in Figure 57. Different initiating rates of fishing mortality were estimated for the months during which different cohorts were last exploited, depending on fluctuations in effort from season to season. In addition, for purposes of comparison, calculations were made for all cohorts with initiating rates greater and less than those considered to be the best estimates. Some tuning of these initiating rates was done to obtain a better comparison of the cohort biomass estimates (Figure 67, bottom panel) to the other estimated trends in abundance (Figure 67, top and middle panels).

The estimated average populations of fish of any cohort, in numbers of fish, can be obtained from Table 28. For the X68 cohort, for example, there was an average of 23,568,000 0-year-olds during the last quarter of 1968, and the population of that cohort during the first, second, third, and fourth quarters of 1969 averaged 19.30, 15.69, 12.48, and 9.36 million fish, respectively (1969 rows, I column). In 1970 the average populations of 2-year-olds of that cohort during the first through fourth quarters were 6.26, 3.73, 2.82, and 2.13 million fish, respectively (1970 rows, II column), and so on. The average numbers of 0-, 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds of the seven X cohorts (1968, 1967, 1966, 1965, 1964, 1963, and 1962) during the last quarter of 1968 were 23.57, 9.21, 2.26, 0.64, 0.12, 0.05, and 0.02 million, respectively (1968, last row). The table is read the same way for the Y cohorts as for the X cohorts, except that the Y cohort first appears during the second quarter of the year.

Estimates of the numbers of recruits for each cohort for 1967–1989 are listed in Table 27. The averages of the initial recruitments (Columns 2–4) are 33 million for the X cohort and 42 million for the Y cohort; the averages of the average populations during the month of recruitment (Columns 5–7) are 32 million for the X cohort and 40 million for the Y cohort. The variability among years is roughly the same for the X cohort (2.95) and the Y cohort (2.75), and that for the combined data (2.44) shows an inverse relationship (not necessarily significant) for the two cohorts. The recruitment has been variable, but the average for 1978–1989 has exceeded that for 1967–1977. There appears to have been an upward trend in recruitment over the last 20 years or so, the initial recruitment averaging about 64, 73, and 92 million fish during the 1967–1975, 1976–1982, and 1983–1989 periods, respectively (Figure 58). It could be argued, however, that this is due to chance variation, especially for the 1973–1989 period, when the initial recruitment has averaged about 80 million fish.

The average weights of the fish during each quarter, beginning with the quarter they are recruited into the fishery, are given in Table 29. These values can be multiplied by the corresponding values in Table 28 to calculate an estimated average annual biomass (total weight averaged over four quarters) for each cohort. These data (Figure 57) were calculated using monthly values. It is easy to see the relative strengths of the various cohorts from this figure. For example, the recruitment of X85 and Y85 cohorts combined was above average (Table 28) and their biomass (Figure 57, widely-spaced diagonal lines) was greatest at age 2. These cohorts were not fished heavily until 1987, when they were 2+ years old (Figure 59). The initial recruitment of the X72 and Y72 cohorts combined (Figure 57, closely-spaced diagonal lines), on the other hand, was below average (Table 28), and after the Y-cohort fish were fished heavily as age 1+ fish in 1973 (Figure 59) their biomass was relatively low (Figure 57) in the succeeding years.

In Figure 60 are shown the average annual biomass estimates for 1967 through 1989 for all fish regardless of age and for "large fish" (all X- and Y-cohort fish which had been in the fishery more than 17 months). The data for 1964–1966 are not shown because during that period the area of fishing was still expanding and the cohort biomass estimates for those years are biased downward. During 1967–1971 the total biomass averaged about 359 thousand tons. (In this section "tons" always refers to short tons.) This was comprised of a large proportion of older fish resulting from recruitment during 1965–1967 which were exploited lightly as young fish. Below-average recruitment, coupled with increasing exploitation rates during 1969–1972, resulted in a decline in the

biomass from 1969 to 1973 of both the younger and older fish. The lesser biomass of older fish persisted through 1974, whereas the abundance of smaller fish increased in 1974 as a result of an extremely large 1973 year class. That year class accounted for most of the increase in biomass of large fish in 1975 and 1976. The fifth-greatest catch of yellowfin in the history of the fishery was made during 1976. Below-average recruitment during 1975 and 1976, coupled with heavy exploitation of young fish from 1973 to 1982, resulted in the biomass of both young and old fish decreasing until 1982, when it reached the lowest level observed in the recent history. Although the 1977 and 1978 recruitments were high, the former exceeded only by that of 1973, so many of the fish were captured as 1- and 2-year-olds that they did not contribute heavily to the fishery in 1981 or 1982. The recruitment was about average in 1979 and 1980, below average in 1981, about average in 1982, and above average from 1983 through 1989. The biomass increased in 1983 (Figure 60), due primarily to lesser fishing effort, and greatly increased in 1984 and 1985, due to above-average recruitment and reduced fishing on young fish.

The annual catches of fish of the X and Y cohorts, and of both cohorts combined, during 1967–1989, are shown in Figures 59 and 61. In Figure 59 each panel contains the catches of fish of the same cohort in different years, whereas in Figure 61 each panel contains the catches of fish of different cohorts in the same year.

Comparison of Figures 57 (annual estimates of the biomass of the X and Y groups), 60 (annual estimates of the total biomass and the biomass of large fish), and 61 (catches during each year by age) reveals the changes which have taken place in the age composition of the population and the catch. During the 1970s, when the fishing effort was high, fewer and fewer individuals survived to reach the larger sizes. The fishing effort was reduced in 1982, 1983, and 1984, which permitted many fish which would have been caught while young to grow larger. The total contributions of each X and Y cohort to the fishery have been estimated for the 1967 through 1984 cohorts, and these are shown in Figure 59. They ranged from 148 thousand tons for the 1976 cohort to 374 thousand tons for that of 1973, with an average for the 18 groups of 212 thousand tons. If the Y73 cohort had not been fished so heavily in its first year the catches for that cohort would have been even greater. Division of these cohort catches (1967–1984) by the corresponding initial estimates of recruitment (Table 27) gives yield-per-recruit estimates for each cohort (Figure 62) which varied from 4.8 to 7.6 pounds (2.2 to 3.4 kg), and the initial recruitment varied from 49 million to 119 million fish, averaging 70 million fish, producing an average yield per recruit of 6.1 pounds (2.8 kg).

#### Yield-per-recruit analyses

In addition to age-structured biomass analyses, yield-per-recruit analyses have been used by the IATTC staff. When the fish of a cohort are young the total weight increases because the growth in weight of the individual fish is rapid, while the losses to the cohort due to natural mortality are moderate. Later, as the fish grow older, their growth rate becomes slower, while the natural mortality continues to be about the same. Thus the losses to the total weight due to natural mortality at that time are greater than the gains due to growth, and there is a net loss to the total weight. Eventually the cohort disappears. The ideal way to obtain the maximum yield in weight from a cohort of fish (assuming, for this discussion, that this is the object of management) would be to harvest each fish just before it died a natural death. This is not possible, of course. The next best alternative would be to harvest all the survivors at the age or size at which the loss to the total weight by natural mortality exactly balances the gain to it by growth (the "critical age" or "critical size"). This is possible for some animals, such as oysters or clams which are exposed at low tide and can be easily harvested at that time. When the manager of a bed of oysters or clams surveys it at frequent intervals and removes the individuals which have reached the critical size he is exerting an infinite amount of fishing effort on the animals which have reached that size. It is obvious that this alternative is not practical for most species of fish.

Intuitively, it seems that if the second alternative is not possible harvesting should begin on fish which have not yet reached the critical size. This is the third alternative, and the only practical one for most species of fish. It is assumed, for the moment, that the age at entry (*i.e.* the age of the smallest fish caught) can be efficiently controlled. If the fishing effort is high an age at entry only slightly below the critical age would be selected, most of the fish caught would be close to the critical age and size, and the yield would be almost as great as under the second alternative. If the fishing effort is lower an age at entry considerably below the critical age would be selected, the fish caught would exhibit a wider range of ages and sizes, and the yield would be considerably less than it would under the second alternative (but still the maximum possible without increasing the effort).

It may not be possible, however, to control efficiently the age at entry. If so, the only way to manage the fishery is to control the effort. If the age at entry is greater than the critical age unlimited effort can be permitted, but if the age at entry is less than the critical age restriction of the effort may increase the yield.

So far it has not been mentioned that at least some of the individuals of a cohort must be allowed to spawn at least once before they are harvested. If spawning occurs well before the fish reach the critical size there is probably no danger from this standpoint, but if spawning does not occur until after the fish have reached the critical size, and the fishing effort is high, there is a possibility that the number of spawners would be so reduced that the recruitment in subsequent years would be reduced. Therefore a fishing strategy designed to produce the maximum yield per recruit will not necessarily produce the maximum yield. If the fishing pattern has an impact on the future recruitment, the maximum yield will be obtained by controlling the fishing to optimize the cohort size and yield per recruit simultaneously. This will be discussed in more detail later. (It should not be assumed, however, that a modest reduction in spawners would reduce the recruitment in subsequent years, as this does not appear to be the case for most species of fish.) The yield-per-recruit model, as described here, does not take into account the possibility of changes in recruitment, but this is an integral part of production models, which will be discussed later.

Also, it has not been mentioned that the growth of the individual fish may be slower, or the natural mortality may be greater, when a population of fish is dense than when it is less dense. Accordingly, the loss due to harvesting of some fish at less than the critical size may be at least partially compensated for by faster growth and/or lesser natural mortality of the remaining fish. In addition, if the growth or natural mortality rates are affected by population density the critical age and size will vary according to population density. This is another complication not taken into account in the yield-per-recruit model as described here, but it is automatically compensated for in production models.

Proceeding now to yellowfin in the eastern Pacific Ocean, the estimates of growth and natural mortality obtained by the IATTC staff are not as reliable as desired, but the critical size is estimated to be roughly 119 cm (75 pounds or 34 kg). Most fish caught by the baitboat fishery are considerably smaller than this. As most of the tuna fleet converted from bait to purse-seine fishing in the late 1950s and early 1960s the average size of the fish in the catch increased, many of them being approximately equal to or greater than the critical size. The average annual catch of yellowfin increased considerably during the period after the conversion to purse seining, averaging about 123 thousand tons for 1961–1970, as compared to 87 thousand tons for 1951–1960. The offshore expansion of the fishery during the mid- and late 1960s was an important factor in these greater catches, but the increase in the average size of the fish caught was also partially responsible for the increased catches.

The objective of management specified by the IATTC convention is to obtain the average maximum sustainable yield (AMSY). The maximum yield per recruit is equivalent to the AMSY, provided recruitment is independent of the number of spawners, as discussed above. The estimated yields per recruit produced by different combinations of size at entry and fishing effort for two

different time periods are shown in Figure 63. (Fishing effort will be discussed in more detail in the subsection entitled **Production models**.) Various combinations of fishing effort and size at entry give various yields per recruit, which are indicated by the curved lines. The calculations are based upon the growth-in-weight data shown in Table 29, and coefficients of fishing mortality obtained from estimating the biomass as described in the previous subsection, and estimates of the coefficients of natural mortality. The estimate of the coefficient of natural mortality for males is 0.8 (about 55 percent per year if there were no fishing mortality). For females 0.8 is employed for the first 30 months, and after that values which increase linearly to 6.5 at 80 months are used. During the 1978-1982 period the fishing effort was directed more or less equally at small, medium, and large fish, whereas during the 1985-1989 period the effort was directed most at large fish and least at small ones. During 1988 the size distribution was similar to those during 1975-1977, containing a mixture of small and large fish, but in 1989 the fishery again concentrated on larger fish. The effects of this shift can be seen in the age-frequency histograms in Figure 61. The values on the horizontal scales of Figure 63 are multiples of the fishing effort during the years in question, i.e. 0.2, 1.0, and 2.0 represent values about one fifth of, equal to, and twice the average effort values for the respective time periods. With an infinite amount of effort the optimum size at entry would be 75 pounds (34 kg), the critical size, and the yield per recruit would be 10.1 pounds (4.6 kg). The sizes at entry which would produce the maximum yields per recruit for various multiples of fishing effort are shown in Figure 63 as dashed lines. These are called eumetric fishing curves. For the 1978-1982 case, it can be seen in the upper panel of Figure 63 that if the effort were to increase to about 1.5 times the 1978-1982 level and the size at entry to about 35 pounds (15.9 kg) the yield per recruit would increase to about 8.7 pounds (3.9 kg). For the 1985-1989 case (Figure 63, lower panel) the yield per recruit would increase to about 9.0 pounds (4.1 kg).

The above description contains the implicit assumption that alteration of the age at entry does not change the areal distribution of the fishing effort. This assumption would be justified if the fishery operated as follows. At first, when the age at entry was low, the vessels would search for schools of fish, finding some containing small fish and some containing large fish, and setting on both. Later, when the age at entry was increased, the vessels would search in the same manner as before, but would set only on the schools containing large fish. Hence the effort directed toward large fish would be the same in the second period as in the first. However, it is believed that if for any reason the age at entry for yellowfin were increased there would be a tendency for the fishermen to search less in the area-time strata containing mostly small fish and more in those containing mostly large fish, so the fishing effort on the large fish would most likely increase. In general, this would tend to increase the yield per recruit more than indicated in Figure 63. It appears that this has happened in recent years.

The total yield is the product of the estimates of the yield per recruit and recruitment. For example, the yield per recruit (with fishing mortality equivalent to a multiplier of 1), determined from the lower edge of Figure 63 is 5.0 pounds (2.3 kg) for the 1978–1982 period and 6.7 pounds (3.0 kg) for the 1985–1989 period. From the biomass analyses (pages [**00**]) it was determined that annual average yield per recruit was 6.1 pounds (2.8 kg) for 1967–1989 (Figure 62, bottom panel). The yields obtainable with these yields per recruit and an initial recruitment of 77 million fish, the average for 1977–1988, are as follows:

Period	Yield per recruit (pounds)	Recruitment (millions of fish)	Yield (thousands of tons)	
1978–1982	5.0	77	192	
1985 - 1989	6.7	77	258	
1967–1989	6.1	77	235	

The yield with the size-specific fishing mortality pattern of 1985–1989 is 34 percent greater than that with the pattern of 1978–1982. It was pointed out in previous Annual Reports of the IATTC that a shift of fishing effort from smaller to larger fish would increase the yields per recruit and catches. Such a shift did occur, and this resulted in increased catches during 1985, 1986, and 1987. The fishery took more smaller fish in 1988, however, and then returned to catching larger fish in 1989 (Figure 16). As can be seen in Figure 62, bottom panel, the yield-per-recruit decreased in 1988 and then increased in 1989. The yield-per-recruit within a year (Figure 62, bottom panel) is highly correlated with average weight caught (Figure 64) within that year (Figure 65).

#### Production models

Production models, in contrast to age-structured models, make use of data on the population as a whole, rather than on individual fish. When a population of fish has not been exposed to a fishery it is at the maximum size that the environment permits. Lack of food, lack of suitable living space, presence of predators, *etc.*, prevent the population from growing beyond that maximum. When, over the long run, gains to the population by recruitment and growth are balanced by losses due to natural mortality the population is said to be in equilibrium. There may be years of especially favorable environmental conditions when the population is greater than average and years of especially poor environmental conditions when the population is less than average, but these can often be ignored when looking at long-term trends.

If one or more fishing boats began to fish on the population the catch per unit of effort (catch per day of searching, for example), which is assumed to be proportional to the size of the population, would initially be relatively high, as the population would be at its maximum. The gains to the population would still be due to recruitment and growth, but the losses to the population would be due not only to natural mortality, but also to fishing mortality. Thus the population would be reduced. In response to the reduction in population the rates of recruitment, growth, and/or natural mortality would change, the gains from the first two exceeding the losses from the third. If the boats stopped fishing this net gain would cause the population to increase gradually to its original size. As the population approached that size the rates of recruitment, growth, and/or natural mortality would gradually approach their previous levels until they were the same as before the fishery began. The population would thus be restored to equilibrium at its maximum size. If the boats continued to fish at the same rate, however, the population would eventually come into equilibrium with different rates of recruitment, growth, and/or natural mortality and a population size which was less than the original population size. The catch per unit of effort (CPUE) would still be proportional to the population size. If there were only a few boats the population size would be only slightly reduced and the CPUE would be relatively high, but if there were many boats the population would be considerably reduced and the CPUE would be much lower.

The total catch would be the product of the CPUE and the total effort. If the fishing effort were relatively low, modest increases in effort would more than offset the corresponding decreases in CPUE, resulting in greater catches, but at greater levels of effort such would not be the case. At some intermediate level of effort the product would be at its maximum. If the objective of management is to obtain the average maximum sustainable yield (AMSY) of fish (which is the objective stated in the IATTC's convention) the fishing effort should be maintained at that level. If the object is maximum profit the effort should be somewhat less (assuming that the price remains constant), and if the object is maximum employment of fishermen the effort should be somewhat greater. If the effort is less than whatever optimum is selected, the population is said to be underfished, and if the effort is greater than that optimum, the population is said to be overfished.

It is easiest to consider the interrelationships of effort, catch, and CPUE at equilibrium conditions, but it must be recognized that such conditions are rarely present. For example, if the

population is at equilibrium near its maximum and the effort is suddenly increased the CPUE will gradually decrease for a period before a new equilibrium point with a lesser CPUE is reached. The catches will be greater during the period of transition than at the new point of equilibrium. Likewise, if the population is at equilibrium at a low level and the effort is suddenly decreased the CPUE will gradually increase for a period before a new equilibrium point is reached with a greater CPUE. The catches will be less during the period of transition than at the new point of equilibrium.

It is appropriate at this point to examine the applicability and usefulness of production models for the yellowfin resource of the eastern Pacific Ocean. The previous discussion has dealt with "a population of fish." Production models are not applicable unless the amount of interchange between the fish in the area of study and adjacent areas is relatively low. The extent of interchange of yellowfin between the CYRA and the area outside the CYRA (Figure 66) has been studied, and the results are discussed in previous Annual Reports of the IATTC. In the past, production modelling was done only for the CYRA, but, as mentioned at the beginning of this section, the staff has decided also to do, in addition, analyses based on the assumption that the catches made in the eastern Pacific Ocean come from a single stock.

Assuming that production models are applicable, that fact can be detected only if (1) there are catch, effort, and CPUE data available for a wide range of levels of fishing effort, preferably including periods of both underfishing and overfishing, and (2) the perturbations caused by fluctuations in environmental conditions are not so great as to mask the changes in apparent abundance caused by fluctuations in fishing effort. It will be seen below that data are available for a wide range of levels of fishing effort. The effects of environmental conditions have been studied and reviewed in previous Annual Reports of the IATTC. As far as could be determined, these effects usually balanced out over fairly short periods of time, so it was decided that they could be ignored without invalidating the use of the model.

Effort has been mentioned, but so far no mention has been made of the fact that there are different kinds of effort, i.e., baitboat, purse-seine, and longline effort, and effort by different sizes of vessels. In most cases the different kinds of effort data cannot simply be combined to obtain a value of the total effort. There are two alternatives. First, the data for only one type of gear, ordinarily the most prevalent one, can be considered. This will be called the standard type. The total catch by all types of gear, divided by the CPUE for the standard type, provides an estimate for the total effort in units of the standard type. Second, the efficiency of each type of gear relative to that of the standard type can be estimated, and the standardized effort for each type can then be obtained by adjusting the raw effort data by the proper factors. Then the raw effort data for the standard type of gear and the standardized effort data for the other types can be summed to obtain the total standardized effort. The IATTC staff has used the first alternative and various combinations of the first and second alternatives. Unstandardized and standardized effort have been measured in days of fishing and standardized days of fishing, respectively, and the corresponding CPUEs have been referred to as catch per day's fishing (CPDF) and catch per standardized day's fishing (CPSDF). In this section only effort estimated by dividing the total yellowfin catch by the yellowfin CPDF of unregulated Class-6 purse seiners (greater than 400 tons capacity) is used except in the searching time model (Figure 67, middle panel), which will be discussed in the next paragraph.

The CPDF values for 1967–1989 are shown in the top panel of Figure 67. In the middle panel of that figure is shown an index of abundance for 1970–1989 based on a "searching time" model (IATTC Bull., Vol. 19, No. 3) which is similar to the CPDF model. Biomass indices of the abundance of yellowfin, derived from the cohort analyses described previously, are shown in the bottom panel of the figure. The trends for all three indices are similar, although the cohort index indicates greater abundance relative to 1970 than do the other two. Two of the indices show the population declining after 1986 and then recovering a little in 1989. The other shows it increasing after 1985 and then declining in 1989.

The high CPDFs shown in Figure 67, top panel, indicate that the abundance of yellowfin in 1986 was at its greatest since 1967, and since then has stabilized at slightly less than that of 1986. The increase was expected, due to the low catches in 1982 and 1983 which permitted the population to increase, and the decline from 1986 to 1987 was also expected, due to the large catches during 1986 and 1987. The CPDFs for 1984–1989 have been even greater than expected, however. This was probably caused by (1) above-average recruitment, (2) the fact that, due to the lower prices for skipjack and small yellowfin, less of the effort was expended in areas where skipjack occur, and (3) the larger average size of yellowfin taken, which resulted in a greater yield per recruit. With reference to point (2), it should be noted that the searching time model (Figure 67, middle panel) includes an adjustment for the effect of fishing in areas where skipjack occur.

The symmetrical production model, described below, was first applied with baitboat catch, effort, and CPUE data for the period of 1934–1955, which furnished a wide range of effort on the underfishing side of the curve. These data indicated that, within the ranges of fishing effort for which data were available, the population conformed to the model. In 1960 and 1961, for the first time, the effort was greater than optimum, and the population responded in the ensuing years with lower CPUEs and catches, which gave further indication that the model was applicable.

Prior to the mid–1960s the fishery was pursued only in the inshore portion of the CYRA and in the vicinity of a few offshore islands and banks. During the mid- and late 1960s, however, the fishing fleet began to increase in size and extended its operations much further offshore. The inshore and offshore areas are termed Areas A1 and A2, respectively, in Figure 66. If the interchange of fish between these two areas is instantaneous the AMSY of the two areas combined would be the same as that of Area A1 alone, but if there is no interchange the AMSY of the two areas combined would be the sum of the individual AMSYs of the two areas. Studies have shown that there is relatively slow interchange of fish between the two areas, so the AMSY for A1 and A2 combined is greater than that for Area A1, but less than the sum of the individual AMSYs for A1 and A2. These studies have been described in more detail in previous Annual Reports of the IATTC.

As mentioned previously, data which encompass a wide range of effort are required to establish the AMSY and the corresponding effort and CPUE values. In 1968, after it had become apparent that the estimate of the AMSY calculated for Area A1 was not applicable to the entire CYRA, the Commissioners authorized the staff to undertake an experimental overfishing program so that an estimate of the AMSY for the CYRA could be obtained as quickly as possible. This was necessary because the effort had been relatively constant during the few years since the offshore expansion of the fishery had begun. When levels of effort in excess of optimum were reached the catch would be reduced, or at least would fail to increase. Then the effort could be reduced to increase the catch eventually (assuming that it had previously been reduced), and so on, until a sufficiently good estimate of the AMSY was obtained. This takes quite a bit of time, however, due to the fact that the population does not respond instantly to changes in the fishing effort, and also because perturbations caused by environmental factors tend to make interpretation of the results more difficult. The experimental overfishing program remained in effect through 1979.

Regression techniques are used to obtain estimates of the parameters in the production models, using observed catch and effort data available for a number of years. One of these parameters is an estimate of the population biomass at the beginning of the first year. The population biomass at the beginning of the second year is estimated by using the model, the catch in the second year, and the other parameter estimates. This process is continued sequentially for the remaining years. Estimates of the average population biomass for each year are obtained similarly.

With production models, it is important to remember that the growth (positive or negative) of a population is determined by three factors, growth, natural loss, and catch. In any given year the catch is fixed, so whether the population increases or decreases is determined by its size at the beginning of the year. If, for any reason, natural factors cause the population to decrease more than predicted by the model, the predicted value for the beginning of the next year will also be greater than the actual value. This overestimation will continue until, for some reason, the population grows more rapidly than predicted by the model. The opposite would be the case if the population at first grows more rapidly than predicted by the model. There is a fundamental difference between underestimation and overestimation, however. When the population growth is less than expected the catches will be reduced and the model will predict changes which are less than the real changes. The catches will continue to be less than expected, but a catastrophic outcome will not be predicted. When the population is greater than expected the catches will be greater than expected, and the model will predict declines in the population which are greater than the actual changes. If large catches occur in several successive years the model may predict a complete collapse of the population even when it is at a safe level. This phenomenon is the result of the sequential process employed by the IATTC staff, and it probably manifested itself during the 1984–1989 period.

In the years previous to 1987 the estimation had been done without adjustments to compensate for the sequential nature of the estimation process, but by then it seemed necessary to make some sort of adjustment. The adjustment used to obtain the 1987 estimates was accomplished by interrupting the sequence of population estimates at 1985, and re-estimating the biomass by dividing the observed CPUE for 1985 by the estimate of the coefficient of catchability. This seemed like a reasonable adjustment, given that all three estimators shown in Figure 67 were high for 1985. The new procedure had minimal impact on the estimates of the parameters, but a great impact on the estimate of the 1987 population size.

Two analyses for the CYRA based on production models were discussed in the IATTC Annual Reports for 1986, 1987, and 1988. One of these employed the logistic or symmetrical model, for which it is assumed that the equilibrium relationship between catch and CPUE is linear. The other employed the generalized stock production model, for which the equilibrium relationship between catch and CPUE need not be linear. For both of these only the effort data estimated by dividing the total catch by the CPDF for Class-6 vessels were used. For both of the fits the coefficient of catchability, q, was set equal to 0.000039, the estimate obtained previously with data for earlier years, implying that the catchability of the fish of the various ages has not changed with time. The data for these two curves are as follows:

Fit	m	q	Maximum sustainable yield in thousands of tons	Sum of squares (x 10 <sup>-9</sup> )
(1) (2)	$\frac{2.0}{0.8}$	0.000039 $0.000039$	174 178	$2.224 \\ 3.330$

*m* is a parameter which controls the shape of the curve; 2 makes it symmetrical, values less than 2 make it skewed to the right, and values greater than 2 make it skewed to the left. The sum of squares is a measure of the goodness of fit of the points to the curve, lower values of the sum of squares indicating better fits and *vice versa*.

Based on production model analyses employing data for 1968–1985, it was stated in the IATTC Annual Report for 1985 that to bring the CYRA stock to its optimum size the 1986 CYRA catch should not exceed 224 thousand tons. However, because some estimates indicated a lesser amount than this, the 1986 maximum quota for the CYRA was set at 205 thousand tons. The 1986 CYRA catch was 253 thousand tons, and yet the indices of abundance did not show a decline during 1986. It was shown previously that the most likely reason for this unexpected increase in production is increased recruitment. Fluctuations in recruitment and changes in age-specific fishing mortality have always created difficulties in applying the results of production model analysis. As has already been stated, the recruitment was high in 1984–1987, and probably 1988 and 1989 as well, and these

high levels of recruitment, coupled with changes in age-specific fishing mortality, make short-term reliance on production model analyses alone misleading. For example, adding the 1986 and 1987 data to the 1968–1985 data base and re-estimating the production model parameters made little change in the estimates of AMSY and optimum effort, and over the long term both the symmetrical and asymmetrical models, with the adjustment discussed above, described the average potential production from the stock fairly well. When the data for 1988 were added, however, the need for a different explanation was obvious. The catch for 1988 was so great that the model predicted a population crash and extremely low catches per unit of effort in early 1989. This, obviously, did not happen. Redoing these analyses for all catchestaken in the eastern Pacific Ocean and including 1989 gave similar results, except the yields are correspondingly higher.

During the three periods mentioned previously the estimated initial recruitments, average sizes, yields per recruit, potential yields, and annual catches were as follows:

Period	Initial recruitment (millions of fish)	Average size lbs (kg)	Yield per recruit (lb)	Potential yield (1000 tons)	Observed catch (1000 tons)
1967-1977	64	24.4 (11.1)	6.9	221	184
1978 – 1982	73	14.7 (6.7)	5.4	197	212
1983 - 1989	92	$23.6\ (10.7)$	6.6	304	285

Since the potential yields during the first two periods were about the same (although for different reasons), fitting the production models to catch and effort data for 1968–1984 can be accomplished without complications. As the potential production increased greatly during the last period, however, it has become impossible to explain the relationship between catch and effort by assuming that the population parameters remain constant. Accordingly, the data have been fit with two different sets of parameters, one for the data for 1968–1983 and one for the data for 1984–1989 (Figures 68 and 69). The results are as follows:

Period	m	q	Maximum sustainable yield in thousands of tons	Sum of squares (x 10 <sup>-9</sup> )
1968–1983 1968–1983	2.0 0.8	0.000027 $0.000027$	211 200	$1.7680 \\ 1.9000$
1984–1989 1984–1989	2.0 0.8	$\begin{array}{c} 0.000039 \\ 0.000039 \end{array}$	322 328	0.2965 $0.2919$

The predicted yields for the 1984–1989 period seem too high, based on the yield-per-recruit modelling, but only six years of data are available, and only the last five contribute to the fitting. The symmetrical model (m = 2.0) seems to give the better fit (Figure 68), although the yield-per-recruit model indicates that the asymmetrical model (m = 0.8) should give better fits.

In the lower panels of Figures 68 and 69 the observed CPDFs are compared to the expected CPDFs computed from the model itself, using values for m of 2.0 and 0.8 and data for two different time periods. It can be seen that they correspond fairly well, on the average, over the series of years shown. In specific years there are wide divergences, however, particularly for m=0.8. The reason for this is that the production models are essentially regression models which assume average conditions, and cannot reflect the effects of large, short-term changes in recruitment or age-specific mortality.

### Status of the stock in 1989 and considerations for 1990

Cohort analysis provides estimates of the number and weight of fish of each age group in the fishery at the beginning of 1990. The estimates of recruitment for 1989 are preliminary and subject to change, however, as mentioned earlier. This is because the recruits have been exposed to the fishery for less than one year, and if their vulnerability to capture was above or below average the recruitment would have been over- or underestimated. This analysis provides an estimate of the catch in 1990, provided certain assumptions regarding the number of fish recruited, the fishing effort, and the age-specific fishing mortality during 1990 are fulfilled. The recruitment during 1989 and 1990 has been assumed to be above average and the fishing effort and age-specific fishing mortality to be the same in 1990 as they were during 1989. The results indicate that the catch during 1990 will be about 6 percent less than that of 1989. If the fishery reverts to catching primarily smaller fish, however, as was the case during 1978–1982 and as it started to do in 1988, the 1990 catch, with effort at the 1989 level, will decrease even more. If the recruitment during 1989 and 1990 proves to be average or below average the 1990 catch would be less than predicted, of course.

The yield-per-recruit analyses have demonstrated that the yield per recruit is about 34 percent greater when the vessels concentrate on larger fish, as during 1985–1989, than when they direct their efforts more toward smaller fish, as during 1978–1982. The yields per recruit for two different patterns of age-specific fishing mortality are shown in Figure 70. The dashed line was computed from the age-specific fishing mortality observed during 1985–1989 and the solid line from the age-specific fishing mortality which took place during 1978–1982.

The effects of two different levels of recruitment, those for 1985–1989 ("high") and 1967–1989 ("average"), combined with the age-specific fishing mortality of 1985–1989, are shown in Figure 71. The yield with high recruitment is about 26 to 27 percent greater than with average recruitment.

The combined effects of high recruitment and age-specific fishing mortality similar to that of 1985–1989 *versus* average recruitment and age-specific fishing mortality similar to that of 1978–1982 are shown in Figure 72. In this instance the yield in the first case exceeds that for the second case by about 60 to 90 percent, with multipliers of fishing effort greater than 0.50.

Production models for which the parameters were estimated with the 1968–1983 data indicate that the stock of yellowfin would be reduced to zero by the beginning of 1990, due to the large catches made during 1985–1989. The same models allow for virtually no catch during 1990. Obviously, these estimates are not representative of conditions in the fishery. Age-structured analyses demonstrate that major changes in age-specific fishing mortality and recruitment have occurred during the last six years, and these have caused the production from the stock to be much greater than predicted by the model parameters for 1968–1983. If it is assumed that the data during the most recent years represent current conditions in the fishery, and the parameters of the production model are re-estimated as described previously, the expected catches correspond much more closely to the observed catches (lower panels of Figures 68 and 69). The re-estimated parameters of the model predict that the equilibrium catch for 1990 should be approximately 330 thousand tons. As the stock size is predicted to be somewhat greater than optimum, the 1990 catch could exceed 330 thousand tons without decreasing the stock size below the optimum. This would result in CPDFs of about 14 tons.

It is estimated that the recruitment has fluctuated by a factor of about 3, and over the observed range of data for the fishery it does not appear to be related to the stock size (Figure 73). This adds to the difficulties in making short-term predictions using production models. If the predictions from this model are to be improved it is necessary to use information about the recruitment. It would be best to be able to predict the recruitment a year or two in advance. One of the reasons that the Commission's laboratory at Achotines, Panama, was established was to obtain information which will make it possible to predict the recruitment of yellowfin, but useful information will not be

available in the near future. As was reported in the IATTC Annual Report for 1985, fluctuations in recruitment seemed to be related to major changes in the ocean environment. The estimates of recruitment derived from the cohort analyses and presented in Table 27 show strong positive anomalies in recruitment in 1970, 1973, and 1977. These increases in recruitment were preceded by El Niño conditions in 1969, 1972, and 1976. On the basis of this relationship, it was not unexpected that there would be an increase in recruitment following the strong 1982-1983 El Niño, and indeed there was. Another El Niño, weaker and less widespread, occurred in 1986–1987. Thus from 1982 through 1986 the waters in the eastern Pacific were generally warmer then normal. The recruitment during the 1983-1989 period has been the greatest on record for a 7-year period. The mechanisms underlying the relationship between El Niño episodes and increased recruitment are not understood, but may be related to the factors that affect the survival of young fish in the area of the fishery or to changes in the rate that their eggs, larvae, and postlarvae drift into or out of the eastern Pacific with major ocean currents. These currents change speed, and in some cases even direction, during El Niño conditions. Since the effect of an El Niño episode is not seen in the fishery until about 2 years after the event occurs, if the relationship persists it will be a useful indicator of above-average recruitment. Also, changes in the yield per recruit occur when the size of fish entering the catch changes, and these changes are known to have a large influence on the total production.

In summary, evaluating the effect of fishing on the abundance and yield of yellowfin in the eastern Pacific is difficult. Using the production models alone provides tenuous results, so the staff has combined the results of three different models, cohort, yield-per-recruit, and production, to arrive at what are believed to be the most reasonable conclusions. However, the predictive capability of such analyses is subject to a high level of error, so the staff is continuing to explore alternative analytical techniques to arrive at the best estimates possible of the productivity of the yellowfin stock.

The abundance of yellowfin is determined by three factors, recruitment, age-specific fishing mortality, and catches.

With regard to the first factor, at this time it appears that recruitment is determined solely by natural factors, though it is conceivable that in the future it may be shown that very high fishing mortality or some other factor, such as severe pollution, can reduce the recruitment.

Proceeding now to the second factor, it is theoretically possible to alter the size composition of the catch. This latter point has been made on numerous occasions, but no recommendations have been made for protecting the smaller fish. However, the catches of small fish decreased during 1985–1987, as was pointed out previously. This change in size composition of the catch was due, at least in part, to lesser demand for small fish, and there is no assurance that this situation will continue. In fact, restrictions on the catching of tunas in association with dolphins would cause a major increase in the catch of small fish. As mentioned earlier, the catch of smaller fish was greater in 1988 than it had been during 1985–1987 or 1989. There are several methods which could be used to reduce the catches of small fish. First, the fishing effort could be reduced. Second, a minimum size limit could be set. Third, if small fish are predominant in certain areas during certain seasons fishing in those areas at those times could be restricted. Fourth, assuming that a system of annual closures could be reinstituted, the opening date of the season could be shifted so as to reduce the amount of fishing during some period when small fish are most abundant in the catch.

With regard to the first approach, it has been pointed out that reduced fishing during the 1982–1984 period has increased the average size of the fish in the population, which has increased its productivity. Further decreases in effort would probably not increase the catch, however, unless the size composition of the stock became severely altered by heavy fishing on smaller fish.

With regard to the second approach, analyses of size composition data show that in general there is a high incidence of small fish mixed with larger fish and of skipjack mixed with small yellowfin. This would make the problem of protecting small yellowfin difficult because these might be

caught in large numbers by vessels attempting to catch larger yellowfin and skipjack. If these small yellowfin could not be landed they would be thrown back into the sea dead, and the yield per recruit would be decreased, rather than increased.

With regard to the third approach, the elimination of all tuna fishing in areas where small yellowfin are most abundant would probably increase the yield per recruit of yellowfin, provided the fleet was able to operate successfully in large-fish areas, but the decrease in catches of skipjack would probably exceed the increase in catches of yellowfin, since skipjack are most abundant in the areas where small yellowfin are most abundant.

With regard to the fourth approach, it does not appear as though shifting the opening date of the season would be beneficial. During the earlier years of the period during which annual closures were in effect, when most of the fishing effort took place during the first half of the year, only small catches were made of Y-cohort fish entering the fishery for the first time at about 1.5 to 4.5 pounds (0.7 to 2.0 kg) during the second half of the year. It was thought that this was due mostly to the lack of vulnerability of the fish of this group to the fishery. During the later years, however, there was heavy fishing during the second half of the year, and the catches of the entering Y-cohort fish increased substantially. Therefore, the benefits of shifting the season may not be as great in protecting the younger fish as originally hoped.

The staff cannot recommend any of the above measures at this time because the effect of such regulations on the actual catches (not landings) of small fish cannot be predicted.

With regard to the third factor, the IATTC staff has recommended only catch quotas (Table 30) for regulation of the fishery. The quotas have been for the CYRA, or portions of it. When the quota was filled, or it appeared that it would be filled by vessels which were at sea prior to the closure date, vessels which were subject to the quota were permitted to fish for species other than yellowfin, and to land incidentally-caught yellowfin amounting to up to 15 percent of their total catch of tunas. Accordingly, the harvest of skipjack was not curtailed by the quotas for yellowfin.

The foregoing analyses demonstrate that the stock of yellowfin in the eastern Pacific Ocean is near the optimum level. If the effort is directed mostly toward fish associated with dolphins, as in 1989, the catch during 1990 should be about the same as that of 1989, or about 310 to 320 thousand tons from the eastern Pacific Ocean. The catch from the CYRA should be about 260 to 280 thousand tons. If the fishery is directed entirely toward small fish during the second half of 1990 the average size of the fish in the catch will decrease, resulting in a substantial decrease in the yield per recruit. Dividing an estimated 1990 catch in the eastern Pacific Ocean of 315 thousand tons by the average recruitment for 1983-1989 of 92 million fish gives a yield per recruitment of 6.8 pounds (3.1 kg). Dividing an estimated catch of 270 thousand tons in the CYRA by 6.8 pounds per recruit produces an estimated recruitment of 79 million fish in the CYRA. The average size of the fish caught when there was no fishing directed at dolphin-associated fish would be about 10 pounds or 4.5 kg (Figure 74). The yield per recruitment for 10-pound fish can be seen in Figure 65 to be about 4.4 pounds (2.0 kg). With 92 million recruits in the eastern Pacific and a yield per recruitment of 4.4 pounds the catch would be about 200 thousand tons; with 79 million recruits in the CYRA and the same yield per recruitment the catch would be about 174 thousand tons. Since the fleet has fished for tunas associated with dolphins during the first half of 1990, the catch for the entire year, with no effort directed toward dolphin-associated fish during July-December, would be about 260 thousand tons in the eastern Pacific and 220 thousand tonsin the CYRA. However, if fishing for tunas associated with dolphins is eliminated, there will probably be a substantial reduction in the area in which fishing takes place. During the 1976–1982 period, when there was reduced fishing for dolphin-associated fish, the recruitment averaged 73 million fish, which is 80 percent of the 92 million recruits estimated for 1983–1989. A 20-percent reduction in recruitment to the CYRA would mean that the 1990 catch in the CYRA would decrease to about 200 thousand tons. It is likely that the situation will be somewhere between the two extremes, that is fishing for dolphin-associated fish will be reduced, but not eliminated. Therefore, at the current levels of effort, the catch in the eastern Pacific during 1990 should be in the 225- to 320-thousand-ton range and that in the CYRA should bein the 200- to 280-thousand-ton range.

If production models are used to estimate the condition of the stock and predict future catches, it can be surmised from Figures 68 and 69 that the production will stay at about 310 to 320 thousand tons if the current effort levels continue and the vessels continue to direct most of their effort toward dolphin-associated fish. According to Figure 75, the production from the CYRA would be about 260 to 280 thousand tons. If, however, the fleet directs its effort toward fish not associated with dolphins the production for the eastern Pacific would decrease to about 200 to 220 thousand tons and that for the CYRA would drop to about 160 to 180 thousand tons. This decrease might take about 2 years to manifest itself.

Two important points must be kept in mind regarding a recommendation for a quota on the catch of yellowfin. First, the amount will depend greatly upon the size composition of the fish in the catch. Second, the area to which the quota would apply should be the inshore region of the fishery, the CYRA.

Considering the second point first, in the offshore region of the eastern Pacific, beyond the CYRA, the average size of the fish in the catch is near the critical size (Figure 53), and therefore optimum in terms of maximizing the yield per recruit. Accordingly, limits on the catch are not necessary for the area to the west of the CYRA and east of 150°W.

Going back to the first point, it is not known to what extent the fishery for dolphin-associated fish will be curtailed. Such being the case, if a quota is set it should be sufficiently low to accommodate the possibility that there is little or no fishing for dolphin-associated fish during the latter half of 1990, with allowance for increments compatible with the possibility that the fishery for dolphin-associated fish will continue as during second half of 1989. (Specific recommendations for a regulation were presented at 47th Meeting of the Commission, held in 1990.)

#### SKIPJACK

The world catches of skipjack have exceeded those of any other species of tuna for many years. However, due to lesser catches of skipjack and greater catches of yellowfin and bigeye in 1985, 1986, 1987, and 1988, the proportion of the catch of the principal market species (skipjack, yellowfin, bigeye, albacore, and northern and southern bluefin) which was skipjack decreased from 50 percent in 1984 to 42, 45, 44, and 49 percent in 1985, 1986, 1987, and 1988, respectively. In the Pacific Ocean 50, 51, 47, and 54 percent of the catches in 1985, 1986, 1987, and 1988, respectively, were skipjack, as compared to 57 percent in 1984. The world catches of skipjack by area are shown in Figure 76. It is apparent that the catches in the Pacific are much greater than those in the Atlantic and Indian Oceans and that the catches in the western and central Pacific are much greater than those in the eastern Pacific. The catches in the eastern Pacific, except for those of the 1975–1981 period, which were greater, have remained at about the same level during the 1965–1989 period (Figure 77), while those of the other areas have more than doubled.

Substantial fisheries for skipjack occur in the northeastern Pacific near Baja California, the Revillagigedo Islands, and Clipperton Island and in the southeastern Pacific near Central America, northern South America, Cocos Island-Brito Bank, and the Galapagos Islands. The area of very warm water off southern Mexico which separates the two areas is usually nearly devoid of skipjack, but in some years, such as 1956, the distribution of skipjack has been continuous from north to south. The fishery for skipjack in the eastern Pacific tends to take place closer to shore than that for yellowfin, but in recent years greater portions of the skipjack catches have been made further offshore. In the central Pacific there are lesser fisheries for skipjack near the Hawaiian Islands and French Polynesia (the Marquesas, Tuamotu, and Society Islands). Further to the west, near Fiji,

Indonesia, Japan, New Zealand, Papua New Guinea, the Philippines, the Solomon Islands, and many other islands, there are more substantial fisheries for skipjack.

The catch of skipjack in the eastern Pacific varies considerably from year to year (Figure 77). During the late 1950s large catches of skipjack were made south of 5°S, and from the late 1950s to the early 1970s large catches of this species were made close to shore off Ecuador and northern Peru. During the early 1970s, however, the center of abundance of the southeastern group seemed to shift to waters off Colombia and Central America, and then during the early 1980s it seemed to shift back to Colombia and Ecuador. In 1989 substantial catches were made off Central America and northern South America (Figure 5).

The size compositions of skipjack samples taken in the eastern Pacific during 1984 through 1989 are shown in Figure 19. Differences among years are apparent; the fish were smallest during 1984 and 1988 and largest during 1985.

## Population structure

It is of fundamental importance to determine whether the skipjack occurring in the Pacific Ocean belong to one or more than one subpopulation and, if the latter is the case, where the different subpopulations occur and how their distributions vary with time and age. This problem has been studied by various methods, including analyses of catch statistics, life history, tagging, and biochemical genetic data. Research in these fields has been conducted by many organizations, including the IATTC, the South Pacific Commission (SPC), the U.S. National Marine Fisheries Service (NMFS), and various organizations in Japan. The research results pertinent to a solution to this problem were examined at a workshop of fisheries biologists and population geneticists sponsored by the SPC in 1980, and the conclusions reached at that meeting were discussed in detail in the IATTC Annual Report for 1984. In summary, there are two principal hypotheses for skipjack in the Pacific Ocean. The separate subpopulation hypothesis states that there are two or more genetically-distinct subpopulations of skipjack in the Pacific Ocean, and the clinal hypothesis states that separate subpopulations of skipjack do not exist in the Pacific Ocean, but there is isolation by distance, i.e. the probability of any two fish interbreeding is an inverse function of their distance from one another. It was concluded at the workshop that the available data did not favor either the clinal or the separate subpopulation hypothesis.

The IATTC Annual Report for 1984 includes a discussion of the population structure of skipjack in the eastern Pacific and their relationship with those in the rest of the Pacific. Tagging has shown that there is little mixing of fish between the northern Mexico and northern South America-Central America areas. The catches of skipjack in the northeastern and southeastern areas are moderately well correlated with one another, however, although in some years, for example 1970, the catch has been above average in one area and below average in the other (Figure 77). Examination of all the available data leads to the conclusion that the skipjack of northern Mexico and northern South America-Central America are parts of a single group inhabiting an arc-shaped area with its tips at those two areas, and that the fish at the ends of the distribution mix at least to some extent on the spawning grounds of the central and/or western Pacific.

The section of this report entitled *Analysis of the microconstituents of otoliths* describes some work currently being done with skipjack which may eventually lead to a much better understanding of the population structure of skipjack in the Pacific Ocean and elsewhere.

# Abundance, availability, and vulnerability to capture

An examination of the effects of environmental conditions on the abundance, availability, and vulnerability to capture of skipjack in the eastern Pacific Ocean has recently been published in IATTC Bulletin, Vol. 19, No. 6. One study in this report involves analysis of the relationship between

the apparent abundance of skipjack in their second year of life in the eastern Pacific Ocean and (1) the average sea-surface temperature in the area of the Pacific Ocean between 135°W and 180° with sea-surface temperatures exceeding 82°F (27.8°C), and (2) the wind-mixing index (the cube of the average wind speed, which is roughly proportional to the degree of mixing caused by wind in the upper layers of the ocean) in this area.

The first analysis was performed because there is a high positive correlation between the concentration of skipjack larvae in zooplankton net tows and temperature, and it was reasoned that more spawning or better survival of the larvae might occur in warmer years. The second was performed because the survival of skipjack larvae may depend upon the degree of mixing of the upper layers of the ocean. Investigations conducted at the U.S. NMFS Southwest Fisheries Science Center in La Jolla indicate that in the California Current concentrations of food suitable for first-feeding larval anchovies tend to occur in aggregations and well-defined layers. Upwelling and mixing disrupt the layering and disperse the food organisms, so that many of the larvae are unable to obtain sufficient food for survival. It appears that strong year classes of anchovies are associated with weak winds during the larval stages, and vice versa. It was thought that this effect might also occur in the skipjack spawning areas of the central Pacific. There was a significant relationship between skipjack abundance and sea-surface temperature, and a highly-significant correlation between skipjack and the wind-mixing index, with this index accounting for 46 percent of the variability in the apparent abundance of skipjack in the eastern Pacific in their second year of life.

In addition, investigations of the possible relationship between the apparent abundance of skipjack in their second year of life in the eastern Pacific and the strength of the eastward-flowing North Equatorial Countercurrent were conducted. If skipjack use this current in their migration it would be expected that young fish would be carried to the eastern Pacific in greater than average numbers when the current is stronger and in less than average numbers when it is weaker. No significant correlation was found, however, between skipjack abundance and indices of current speed.

On the whole, the results of the IATTC staffs attempts to relate the apparent abundance of skipjack with environmental conditions suggest that this relationship is complex and not obvious. Some of the problem might be resolved if biological and statistical studies could be made for the entire population unit(s) which contribute(s) to the eastern Pacific fishery instead of the portion of it (or them) which inhabit(s) the eastern Pacific Ocean during part of the life span. Usable catch, effort, and CPUE data are available for some parts of the Pacific population unit(s), but not for others. Also, there is the problem of separating the catches of fish of the population unit(s) which contribute to the eastern Pacific fishery from those which do not.

#### Age-structured models

The yield-per-recruit approach to age-structured modelling has been discussed in the section on yellowfin. The skipjack and yellowfin populations in the eastern Pacific are somewhat different, however. The natural attrition of yellowfin consists only of natural mortality, whereas that for skipjack consists of both natural mortality and emigration to the central and western Pacific. The combined annual rate of natural mortality and emigration for skipjack is estimated from length-frequency and tagging data to be roughly 75 to 90 percent per year, as compared to approximately 55 percent for the natural mortality of yellowfin.

Length-frequency and tag return data have been used to estimate the rate of growth of skipjack. As compared to yellowfin, it is much more difficult to follow the progressions of modal groups because the modal lengths vary so erratically from month to month. Recruitment from the central Pacific and emigration in the opposite direction is obviously largely responsible for this, but it also appears that the vulnerability of groups of fish of different sizes varies considerably from month

to month within the eastern Pacific Ocean. Tagging data are also useful in this respect, although most of the returns are from fish which have been at liberty only short periods of time, and thus are of limited value. Two recently-completed studies (IATTC Bulletin, Vol. 19, Nos. 4 and 6) furnish estimates of the linear growth rates and the parameters of the von Bertalanffy growth equation which are proving useful for studies of age-structured models.

The yields per recruit for skipjack with various combinations of natural attrition (natural mortality plus emigration), fishing effort, and size at entry are shown in Figure 78. The IATTC staffs estimates of age-specific fishing mortality for 1986–1987, growth, and natural attrition have been integrated to obtain the calculations which form the basis for this figure. The sources of the growth-in-weight data were as follows:

Computation	Equation	Source
growth in length	24 cm per year	IATTC Bulletin, Vol. 19, No. 6
weight-length relationship	$\log w = 3.336 \log l - 8.250$	IATTC Bulletin, Vol. 4, No. 2

Instantaneous annual rates of natural attrition of 1.5 (about 78 percent) and 2.0 (about 86 percent) were used. The values in the horizontal scale are multiples of the fishing effort, *i.e.* 0.5, 1.0, and 2.0 represent effort values half of, equal to, and twice the actual effort values for 1986–1987. Various combinations of fishing effort and size at entry give various yields per recruit, which are indicated by curved lines. For example, if the size at entry is fixed at  $40 \, \mathrm{cm}$  (about 2.7 pounds or  $1.2 \, \mathrm{kg}$ ) the yield per recruit with a multiplier of 1 is about 1.58 pounds  $(0.72 \, \mathrm{kg})$  in the upper panel and about 0.85 pounds  $(0.39 \, \mathrm{kg})$  in the lower panel. In the upper panel sizes at entry of about  $40 \, \mathrm{cm}$  with a multiplier of 1 or about  $48 \, \mathrm{cm}$  with a multiplier of 2 to 3 would produce the maximum yield per recruit. In the lower panel the yields per recruit are greatest with sizes at entry of  $30 \, \mathrm{cm}$  or less. In general, fishing effort considerably greater or ages at entry considerably less than has been the case so far in the eastern Pacific Ocean would be required to overfish the population in the yield-per-recruit sense. This is because the losses to the total weight of a cohort of fish by natural mortality and emigration exceed the gains to it by growth, even when the fish are less than  $50 \, \mathrm{cm}$  long and presumably growing rapidly.

# Production models

Production models, based on indices of abundance of the fish, have been described in the section on yellowfin. It was pointed out that models of this type are not applicable unless the fish in question belong to a discrete population, *i.e.* there is relatively little interchange between the fish in the area under consideration, in this case the eastern Pacific Ocean, and those in other areas where the species in question is exploited, or the exchange rates among subpopulations are known. Neither of these requirements is met, as tagging has demonstrated interchange of fish of the eastern, central, and western Pacific Ocean (Figure 79), but the exchange rates are not known. Most of the skipjack caught in the eastern Pacific are taken relatively near the coast, and most of these are apparently the result of spawning in the central and/or western Pacific, which may also supply skipjack to the offshore portions of the eastern Pacific, the central Pacific, and the western Pacific. Thus the amounts caught in the eastern Pacific may be determined by either the abundance of juveniles hatched in the central and/or western Pacific or the portion of juveniles in that or those areas which migrate to the eastern Pacific. In the absence of definition of the population being exploited, production modelling is of little or no value for skipjack in the eastern Pacific fishery.

### Considerations for 1990

The yield-per-recruit model does not indicate any need for the management of skipjack. This model, with a natural attrition value of 2.0, indicates that the maximum yield per recruit from adolescent skipjack in the eastern Pacific Ocean can be obtained by fishing the individuals over about 30 cm in length as hard as possible. Conceivably this could reduce the recruitment in subsequent years, but this seems unlikely from what is known of the spawning behavior and population structure.

It is reasonably certain that skipjack are underfished in the eastern Pacific Ocean and that this situation will continue in the foreseeable future. Nevertheless it is important, for at least two reasons, to learn more about this species and its relationships with the environment. First, such knowledge may make it possible to predict the abundance of skipjack in the eastern Pacific several months ahead of time, which would be of great value to fishermen who must decide in advance whether to fish in the eastern Pacific or elsewhere. Second, knowledge of the environmental conditions favorable to the existence of skipjack, coupled with understanding of the dynamic processes of the ocean, could make it possible to predict where and when skipjack are likely to be caught, which should increase the efficiency of the fishing fleet. A wide variety of information on skipjack and its relationships with the environment has recently been analyzed, and a major report on this subject (IATTC Bulletin, Vol. 19, No. 6) was published in 1989.

#### NORTHERN BLUEFIN

Northern bluefin occur in both the Atlantic and Pacific Oceans. The world and Pacific Ocean catches of northern bluefin are much less than those of skipjack, yellowfin, bigeye, or albacore, but the fishery is still of considerable economic value. The annual catches of northern bluefin in the Pacific Ocean for the 1951–1989 period are shown in Figure 80. Surface gear accounts for the majority of the catches in both the eastern and western Pacific. In the western Pacific the catches were well above average during 1978–1983, were relatively poor in 1984, and then improved in 1985 and 1986. In the eastern Pacific the catches were poor during 1980–1984, improved in 1985 and 1986, and were poor again in 1987, 1988, and 1989.

In the eastern Pacific nearly all of the catch is made by purse seiners fishing relatively close to shore off California and Baja California. The fishing season typically extends from late May to mid-October, although sporadic catches are made in other months. The 1989 catch was about 1,300 tons, which was about 200 tons less than the 1988 catch, and the fifth lowest catch since 1951. In 1989 bluefin were caught only north of 30°N. Fish were caught from July through December, but more than 70 percent of the catch was taken during August.

The staff of the IATTC has been studying bluefin on a modest scale since 1973. Prior to 1979 staff members collected logbook data and measured samples of fish caught by purse seiners in the eastern Pacific to determine their length compositions. Since 1979, however, more has been done. In 1979 a review of information pertinent to stock assessment of this species was prepared (IATTC Internal Report 12). Parts of that review are summarized in the IATTC Annual Report for 1979. Also, data on the surface catches of bluefin in the eastern Pacific by area, date, vessel size class, size of school, type of school, etc., were assembled, analyzed, and published in 1982 in IATTC Bulletin, Vol. 18, No. 2. A scientist from the Far Seas Fisheries Research Laboratory (FSFRL) (now the National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF)), Shimizu, Japan, spent the period of September 1988—January 1989 at the IATTC headquarters in La Jolla, where he collaborated with an IATTC staff member in studies of bluefin. Although he has now returned to Japan, these studies are continuing in both La Jolla and Shimizu.

Histograms of the estimated tons of bluefin caught by 2-cm intervals in the eastern Pacific Ocean for 1984–1989 are shown in Figure 20. Exceptionally large fish, weighing 230 to 1010 pounds

(105 to 460 kg) were caught during October–December of 1986, 1988, and 1989. The total weights of the large fish were small, but these fish were of considerable economic value, as immediately after they were caught most of them were flown to Japan, where high prices are paid for fresh bluefin.

Bluefin were tagged in the eastern Pacific in 1958 and 1979–1980 by the IATTC staff and in 1962–1968 by the U.S. Bureau of Commercial Fisheries, the California Department of Fish and Game (CDFG), and the Mission Bay Research Foundation. These data are summarized in Table 31. Analysis of the data for the fish recaptured in the eastern Pacific indicate seasonal north-south movement, with the fish being furthest north during July–October and furthest south during May–June. Ten returns from the western Pacific have been obtained, all from fish which were at liberty more than 22 months.

Tagging of bluefin in the western Pacific was carried out by IATTC employees who were stationed in Japan intermittently during 1980–1982 and by employees of the FSFRL during 1980–1988. The returns to date are summarized in Table 32. The results of these experiments are discussed in the Annual Report of the IATTC for 1988, pages 26–27. The migrations from the western to the eastern Pacific are of particular interest. Some year classes, *e.g.* 1983 and 1984, produced large numbers of migrants and others did not. The best catches during the 1980s in the eastern Pacific were made in 1985 and 1986, and these consisted mostly of age-2 fish of the 1983 and 1984 year classes.

# Life history and relationships between fish of the western and eastern Pacific

The information in this section is presented as background necessary for understanding the section on stock assessment which follows it.

Spawning of bluefin in the Pacific Ocean is known to occur only in the vicinity of Japan. Some fish apparently remain their entire lives in the western Pacific. Others migrate to the eastern Pacific, perhaps mostly or entirely during their first or second years of life. Those which migrate during their first year are exposed to the summer and fall troll fisheries for small bluefin and other species off Japan before beginning their journey to the eastern Pacific in the fall or winter. Those which migrate during their second year are also exposed to the winter troll fishery and other fisheries which take place in the vicinity of Japan before beginning their journey to the eastern Pacific in the summer, fall, or winter. The migrants, after crossing the ocean, are fished by purse seiners off California and Baja California.

Fish less than about 100 cm in length, which make up the bulk of the eastern Pacific catch, may or may not leave the eastern Pacific Ocean each fall or winter. Bluefin of that size are seldom caught in the eastern Pacific during November–April, which might indicate that they have left that region. They probably do not go all the way to the western Pacific, however, as no tagged fish released in the eastern Pacific have been recaptured in the western Pacific after less than 674 days at liberty; if most of them migrated to the western Pacific each fall or winter and back to the eastern Pacific each spring some would probably have been recaptured in the western Pacific in the winter or early spring after less than about 100 to 150 days at liberty. Also, the energy costs of making such a long migration are so high that it would probably not be feasible for a fish to make two such migrations each year for several years.

After a sojourn in the eastern Pacific, which may or may not be interrupted by temporary visits to the central or western Pacific, the survivors return to the western Pacific, where, presumably, they eventually spawn. The length of the sojourn in the eastern Pacific is not known, but the results of recent age-composition studies seem to indicate that most of the fish begin their return trip to the western Pacific before reaching 3 years of age. It is virtually certain, however, that some fish stay in the eastern Pacific at least 2 years, as fish tagged in the eastern Pacific have been recaptured

there after as long as 2 years at liberty. Fish of at least 6 or 7 age groups are caught in the eastern Pacific, so it is possible that some fish stay in that region for at least 5 or 6 years.

Large fish are occasionally caught in the eastern Pacific Ocean, especially in the vicinity of Guadalupe Island, Mexico, and the Channel Islands, off Southern California. The largest of these are almost certainly over 10 years old. These have not necessarily resided in the eastern Pacific Ocean since they were about 1 1/2 to 2 years old. They may have arrived for the first time shortly before they were caught, or they may have made more than one round trip across the Pacific. It seems unlikely that all the large fish could spawn in the western Pacific each year, however, as some have been caught in the eastern Pacific during the spawning season.

#### Stock assessment

The staff of the IATTC is concerned about the poor catches of bluefin in the eastern and western Pacific in some years, and particular attention is being given to the poor catches in the eastern Pacific during 1980–1984 and 1987–1989. This could be due to (1) a decrease in the overall abundance of fish greater than about 60 cm in length caused by heavy exploitation of fish in their first year of life off Japan, (2) reduced fishing effort in the eastern Pacific, (3) a decrease in vulnerability to capture of the fish which have migrated to the eastern Pacific, and/or (4) a decrease in the availability of bluefin in the eastern Pacific (*i.e.* a decrease in the proportion of the population which has migrated to the eastern Pacific or a shorter average sojourn in the eastern Pacific of the fish which have made that migration).

In regard to Point 1 above, unpublished data of the NRIFSF for the age composition of the catch of bluefin during 1966–1986 by Japanese vessels (Table 12) indicate that there has not been a decline in the catches of fish older than age-0 nor an increase in the proportion of age-0 to older fish, which seems to rule out the first possibility.

Proceeding now to Point 2, the numbers of smaller purse seiners, which previous to the late 1970s had been responsible for most of the bluefin catches in the eastern Pacific, declined during the late 1970s and the 1980s. The catch and effort data should be examined in such a way that it can be determined to what extent the decline in the catches is due to declines in effort by vessels of various sizes. Accordingly, for the area north of 23°N and the May-October periods for 1975 through 1987, tabulations were made of (a) the tons of bluefin caught, (b) the numbers of purse-seine sets, (c) the proportions of those sets which caught bluefin, (d) the tons of bluefin caught per successful bluefin set, and (e) the percentages of bluefin caught off Mexico and the United States. Virtually all of the bluefin catches are made north of 23°N, and the great majority are made during the May-October period. The 1975-1987 period includes years of normal and below-normal catches. Some results obtained from manipulation of these data are shown in Figure 81. The greatest decline has been for catch (except for Class-2 and -3 vessels). The numbers of sets have declined by about 50 percent for Class-3, -4, and -5 vessels, while the average catches per successful bluefin set have remained about the same. The proportions of the sets which caught bluefin were greater in 1985 and 1986 than in the other years with average to better-than-average bluefin catches, 1975–1980 and 1982. The proportions of the catches taken off Mexico and the United States remained about the same for each vessel size class during the period under consideration. From these data it appears that most of the decrease in catchesof bluefin is due to lesser availability or vulnerability to capture of this species, with declining effort playing a lesser role.

In regard to Point 3, there is no obvious reason to suggest that the vulnerability to capture of the fish in the eastern Pacific has been declining, so this possibility has been discounted until evidence to the contrary is produced.

Proceeding finally to Point 4, the age composition data discussed in the section entitled **Bluefin studies** indicate a negative correlation between the catches of 2-year-old fish in the eastern

and western Pacific. Also, the tagging data discussed in the IATTC Annual Report for 1988, pages 26–27, indicate that 2-year-old bluefin were more available in the eastern Pacific in 1985 and 1986 than in other years, and that the best catches of the 1980–1989 period were made during those years. Length-frequency data for the eastern Pacific provide information on the length of the average sojourn in that area. The proportions of smaller and larger fish were about the same during the poor years, 1980–1984 and 1987–1989, as during other years, which indicates that the average sojourn in the eastern Pacific has not decreased.

The above information suggests at least three high-priority research items. The first is further studies of population structure. The tentative conclusion that there is a single major population from which different proportions migrate to the eastern Pacific in different years needs further investigation. If this conclusion is confirmed, attempts should be niade to determine what oceanographic conditions influence the migration of fish from the western to the eastern Pacific. Also, it would be of great interest to know if the bluefin hatched in the Sea of Japan are genetically distinct from those which are hatched south of Japan. Further knowledge might be obtained from biochemical genetic studies, but such studies could be time-consuming and expensive to carry out. The second is further study of catch, length-frequency, and age data for the western and eastern Pacific fisheries and analysis of these on a Pacific-wide basis. As mentioned above, scientists of the NRIFSF have recently assembled data on the age composition of bluefin caught in the western Pacific during 1966-1986. The IATTC staff is currently carrying out such studies for the eastern Pacific. Later, if time and fiscal resources permit, NRIFSF and IATTC scientists will probably work together on the data for the entire Pacific. The third is performance of a yield-per-recruit analysis. This has been done, using the data in Tables 33 and 34. The annual coefficient of natural mortality was set at 0.2 and 0.3 and the annual coefficients of fishing mortality were set at 1.0 for periods of substantial catches, 0.0 for periods of zero or very low catches, and 0.5 for periods of transition. It was assumed that the fish either begin a west-east migration during theirfirst year of life and then begin an eastwest migration during their third year of life (Option 1) or begin a west-east migration during their second year of life and then begin an east-west migration during their third year of life (Option 2). Graphs showing the yields per recruit possible with different ages of entry into the fishery, and with three multipliers of the vector of fishing effort, are shown in Figure 82. Because the values of the natural and fishing mortality, especially the latter, are little more than guesses, the results of these analyses should not be taken literally. Nevertheless, it appears that increasing the age at entry into the fishery to about 2 1/2 years (90-100 cm) would maximize the overall yields of fish which migrate to the eastern Pacific Ocean.

# **BIGEYE**

Data on the catches of bigeye in the Pacific Ocean are given in Table 35. The combined surface and subsurface catches of this species in the eastern Pacific during recent years (Table 35) have been about the same as those of skipjack (Table 1), but substantially less than those of yellowfin (Table 1). Bigeye are caught mostly by longlines. During the early 1950s there was little longline fishing in the eastern Pacific, and hence the catches of bigeye in that area were low. During the mid–1950s, however, Japanese longline vessels began to fish in the eastern Pacific, and the catches of bigeye increased. Accordingly, this species has been given more attention by the IATTC staff. During the 1965–1989 period eight papers dealing with the Japanese longline fishery for bigeye and related species in the eastern Pacific have been published.

The estimated catches of bigeye by surface gear in the eastern Pacific increased during the late 1960s and the 1970s, and then declined after 1981 (Table 35). The increases were apparently due to two factors. First, the actual catches probably increased because there have been no regulations for this species, which in some instances caused fishermen to seek out bigeye in preference to yellowfin,

as the latter were subject to regulation in a considerable portion of the eastern Pacific during the latter part of each year of the 1966–1979 period. Concurrently with this, the fishermen's skill in catching bigeye probably increased. Second, the recent statistics are more accurate. Bigeye and yellowfin bring the same price to the fishermen, so bigeye have often been reported as yellowfin. Since the advent of regulations, however, the two species have more often been reported separately, and in locations where they are not there has been better coverage by IATTC employees, who estimate the proportions of the two species in mixed landings.

The IATTC staff's studies of surface-caught bigeye have consisted principally of recording and processing catch and effort data from information on weights of fish unloaded and logbook records, collection of length-frequency data from fish unloaded at canneries, and analysis of these data. In addition, during the 1959–1978 period 611 surface-caught bigeye were tagged, and 15 of these have been recaptured.

The distributions of the surface catches of bigeye in the eastern Pacific, averaged over the 1971–1980 period, obtained from logbook data collected by the IATTC staff, are shown in Figure 83. Except in the third quarter, the greatest catches are made off northern South America.

Length-frequency data for bigeye caught by purse seiners in the eastern Pacific during 1984–1989 and measured by IATTC staff members are shown in Figure 21. About half the catch by weight is made up of fish less than 100 cm in length.

An analysis of the surface fishery for bigeye in the eastern Pacific has recently been completed by scientists from the National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japan, and the IATTC. It was shown that there is considerable overlap in the lengths of bigeye taken by the surface and longline fisheries. About 64 percent of the catch of bigeye is taken in unassociated schools, 29 percent in schools associated with floating objects, and the rest in schools associated with whales, sharks, and dolphins. During the 1971–1986 period the average catch per successful set of bigeye was 23 tons (22 and 28 tons for unassociated schools and floating-object schools, respectively). The percentages of bigeye caught which were in pure schools (not mixed with other species of commercially-important fish) were as follows: unassociated schools, 76; floating-object schools, 28.

The distributions of the catches per unit of effort of bigeye by Japanese longliners in the eastern Pacific, averaged over the 1971–1980 period, are shown in Figure 84. The hook rates (numbers of fish caught per 100 hooks) of bigeye were high in most of the eastern Pacific except the area north of 5°N and east of 125°W. The areas of greatest hook rates were between Ecuador and the Galapagos Islands throughout the year, northeast of Hawaii in the area between 18°N and 33°N and 120°W and 145°W during the first and fourth quarters, and off southern Peru and northern Chile in the area between 18°S and 25°S and 80°W and 90°W during the third and fourth quarters.

In the north equatorial region, between the equator and 10°N, where there was heavy fishing effort, the hook rates were relatively low during the second half of the year, especially in the western part of this region. In the south equatorial region, between the equator and 15°S, however, the hook rates were greater in the western than in the eastern part of the region throughout the year.

The distribution of effort does not coincide well with the areas of greatest hook rates of bigeye, even though bigeye was the most important species of fish caught by Japanese longliners. For example, there were heavy concentrations of effort in equatorial waters (10°N to 15°S and west of 110°W), but the hook rates of bigeye in this area were not particularly high. Furthermore, although the hook rates for bigeye were fairly high northeast of Hawaii and off southern Peru and northern Chile, not much effort was exerted in those areas. This may be because in the equatorial region bigeye could be caught throughout the year and the fish tended to be large, whereas in the higher latitudes the occurrence of bigeye was more seasonal and the fish tended to be smaller.

Length-frequency data for bigeye caught by longlines in the area delineated in Figure 85 during 1971–1980 are shown in Figure 86. Most of the fish in the catch ranged from about 100 to 170 cm in length. The length composition was relatively stable during the 1971–1974 period, but

considerable change is apparent for 1975–1980. The proportions of smaller fish (less than 120 cm) were significantly greater in 1977 and 1979, and stronger separation of the modal groups is apparent for 1975, 1976, 1979, and 1980. These changes in the length composition coincide in time with the recent increases in fishing effort by the Japanese longline fleet.

In general, there are two approaches to the analysis of the effects of fishing on a population of fish, age-structured modelling and production modelling. These models are described in detail in the section on yellowfin.

# Age-structured models

The yield-per-recruit model, a type of age-structured model, gives information on the yield per recruit to be expected with different combinations of size at entry and fishing effort. The input consists of length-at-age or weight-at-age data and natural mortality data. Both of these, especially natural mortality, are difficult to estimate. Nevertheless, the yields per recruit of bigeye at various combinations of length at entry and fishing effort (F) were calculated. The length-at-age data were obtained from an equation for the growth of bigeye which appears in IATTC Bulletin, Volume 11, Number 2. Because it is impossible, with the data presently available, to estimate the coefficient of natural mortality (M) of bigeve with any degree of confidence, trial values of 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 on an annual basis were used. The results with lengths at entry of 40 cm (4 pounds or 2 kg), 60 cm (12 pounds or 5 kg), 90 cm (38 pounds or 17 kg), 120 cm (87 pounds or 40 kg), and 150 cm (167 pounds or 76 kg) and annual values of F of 0.0 to 1.6, are shown in Figure 87. In every case the yields per recruit were least with a length at entry of 150 cm, so the discussion will be confined to the other four values, 40, 60, 90, and 120 cm. It appears from Figures 21 and 86 that most of the purse seine- and longlinecaught bigeye are recruited at about 60 to 90 and 90 to 120 cm, respectively. In 1980 and 1982-1984, however, substantial amounts of bigeye between 40 and 60 cm were caught in the purse-seine fishery. At an M value of 0.4 the yields per recruit are roughly the same for all lengths at entry at F values up to 0.4. At F values of 0.6 and greater the yields per recruitare less for a length at entry of 40 cm, and at F values of 0.8 and greater they are less for a length at entry of 60 cm. At an M value of 0.6 the yields per recruit are roughly the same at all values of F for lengths at entry of 60, 90, and 120 cm. They are also about the same for a length at entry of 40 cm for F values up to 0.6, but at greater F values the yields per recruit are less. At an M value of 0.8 the yields per recruit are approximately the same at all F values regardless of the length at entry. At an M value of 1.0 the yields per recruit are roughly the same at all F values for lengths at entry of 40, 60, and 90 cm, but less for a length at entry of 120 cm. In general, at high values of M the greatest yields per recruit are realized with low to intermediate lengths at entry (40, 60, and 90 cm) and at low values of M the greatest yields per recruit are realized with intermediate lengths at entry (90 and 120 cm). Although it is presently not known what value of M is most applicable to the bigeve population exploited by the surface and longline fisheries of the eastern Pacific, it is most likely between 0.6 and 0.8. At these levels the above analyses suggest that the yield per recruit would be maximized at a length at entry between about 90 and 120 cm. This implies that the average length at entry for the surface fishery is less than that which would maximize the yield per recruit and that that for the longline fishery is greater than that length. It is stressed, however, that these estimates are based upon inadequate data, so their reliability is low.

## Production models

Production models are applicable only to fish of a discrete population, so such models can be used with bigeye of the eastern Pacific only if there is relatively little interchange of these fish with those of the areas to the west. The movements of bigeye tagged by various organizations which were at liberty for long periods of time are shown in Table 36. The distances travelled were less than many

which have been recorded for the other principal market species of tuna, but not much importance should be attached to this, in view of the small number of returns.

Data on the effort, catch, and catch per unit of effort (number of fish caught per 100 hooks) for 1954–1984 for the portion of the eastern Pacific Ocean delineated in Figure 85 are shown in Figure 88. This area was selected because it includes the major bigeye fishing grounds, and it is believed that inclusion of data for areas with large amounts of effort and low catches of bigeye would tend to mask whatever relationship may exist between effort and bigeye catch. During 1954-1960 the effort and catches were low and the catch per unit of effort (CPUE) was high. During 1961 through 1964 the effort and catches were much greater than during 1954-1960. The CPUE was slightly less than 3 fish per 100 hooks in 1961, and declined to less than 1.5 fish per 100 hooks in 1964. During 1964 through 1984 the effort ranged between about 38 and 114 million hooks and the catch between about 0.37 and 1.07 million fish, but the CPUEs remained nearly constant, at about 1 fish per 100 hooks. It is normal for the CPUE to decline with increasing effort, and modest decreases do not necessarily indicate overfishing (from the standpoint of reducing the average maximum sustainable yield (AMSY), as discussed in the section on vellowfin). Decline of the CPUE to less than half what it was when the effort was low, however, could be indicative of reduction of the population to a level less than that necessary to produce the AMSY. It may be significant, however, that the catches more than doubled during the 1965-1980 period, while the CPUEs remained about the same. This could be due to the fact that bigeve, because of its high price, was especially sought by longline fishermen. For example, the adoption of deeplongline gear during the late 1970s may have kept the CPUE of bigeye at the same level while its abundance decreased. Uncertainty regarding the interpretation of the data also results from the uncertainty concerning the amount of interchange of fish between the area in question and contiguous areas.

#### BLACK SKIPJACK

Black skipjack, although they constitute only a minor part of the total landings of tunas caught in the eastern Pacific, are of considerable commercial importance in a number of Latin American countries. Furthermore, they represent a resource of significant magnitude, which will be more heavily exploited as the demand for tuna increases. Accordingly, it is prudent to learn as much as possible about this species.

The present knowledge of black skipjack comes mainly from vessel logbook data, data on the weights of fish unloaded at canneries, stomachs, gonads, and measurements of fish taken at canneries, physiological data gathered on one tagging cruise, gonads collected for histological studies on tagging cruises, larval surveys directed primarily at other species, recapture data for black skipjack tagged incidentally to yellowfin and skipjack, and current studies at the IATTC's Achotines Laboratory.

Data on the landings of black skipjack by tuna boats during 1961–1989 are listed in Table 1. These data include only the fish which are landed. Additional amounts are known to have been caught but not landed, and these are not included in the statistics. Black skipjack are also caught by small boats based in Latin America, for which data are not obtained. Therefore the actual catches are greater than those recorded in the table. The areas of the 1980–1983 catches by vessels from which logbook data were obtained are shown in Figure 89.

An analysis of the length-weight relationships of black skipjack is given in IATTC Internal Report 17. Some observations on the swimming performance, body temperatures, and gastric evacuation times of black skipjack were made on a tagging cruise conducted in 1981, and an analysis of the results was published in an outside journal in 1984. Information on the areas and duration of spawning, size at sexual maturity, sex ratios, fecundity, and spawning frequency was recently published in IATTC Bulletin, Vol. 19, No. 2. The measurement of reproductive potential is of primary

importance with respect to the dynamics of fish populations, since it is a basic determinant of productivity. Furthermore, since the amount of fish of catchable size available to the fishery is largely dependent on the success of spawning and survival during the earliest stages of life, studies of this nature can yield information of potential value for predictive purposes.

Large numbers of larval and juvenile black skipjack, along with those of other species of scombrids (tunas and mackerels) have been collected, particularly off Central America and near the entrance to the Gulf of California. In addition, 1,502 black skipjack have been tagged, and 107 of these have been recaptured. Information on the movements and growth of black skipjack, as determined from these data, are given in the IATTC Annual Report for 1982.

The larvae and juvenile data, tagging data, and logbook data provide indices of abundance of black skipjack relative to the other species of scombrids. It appears, on the basis of this information, that the potential annual production of this species is far greater than the present levels of landings.

A considerable amount of work on black skipjack is currently being conducted at the IATTC laboratory at Achotines, Panama. The growth of the larvae and juveniles is being studied by rearing fish caught in the wild at the laboratory and by examination of the otoliths of wild-caught fish. More extensive experiments have begun to augment the preliminary work of 1988, which indicated that otolith increment formation occurs at a rate of one per day. Different diets are being tested in the laboratory to determine which produces the greatest survival of captive larvae and juveniles. Anesthetics are being tested on captive black skipjack larvae and juveniles to develop methods of measuring live scombrids in the laboratory for growth studies. Slides made of histological sections of larvae and juveniles are being examined to determine their nutritional state, to gain some insight into the potential for mortality due to starvation. Field studies are being conducted to learn more about how the environment affects the growth and survival of the larvae in the wild. A study of muscle and heat exchanger development is also being carried out. The results from all of these studies will be applicable, to a considerable extent, to other species of tunas. A manuscript describing the growth of black skipjack reared in captivity has been accepted for publication.

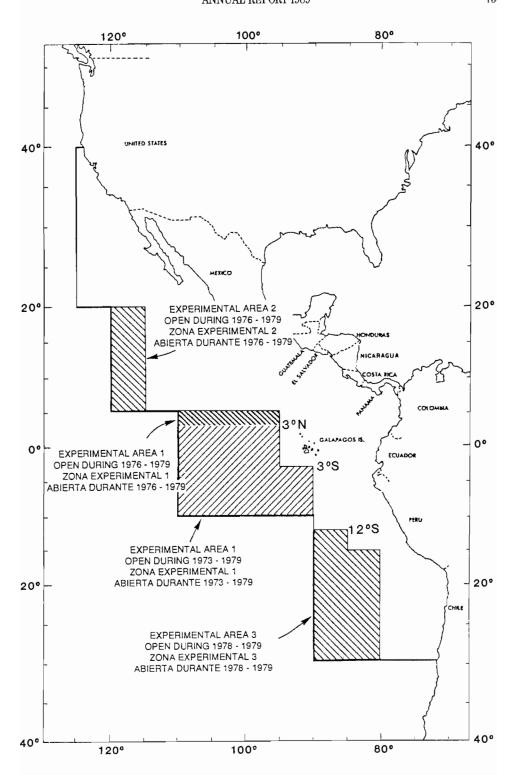


FIGURE 1. The Commission's Yellowfin Regulatory Area (CYRA).

FIGURA 1. Area Reglamentaria de la Comisión para el Aleta Amarilla (ARCAA).

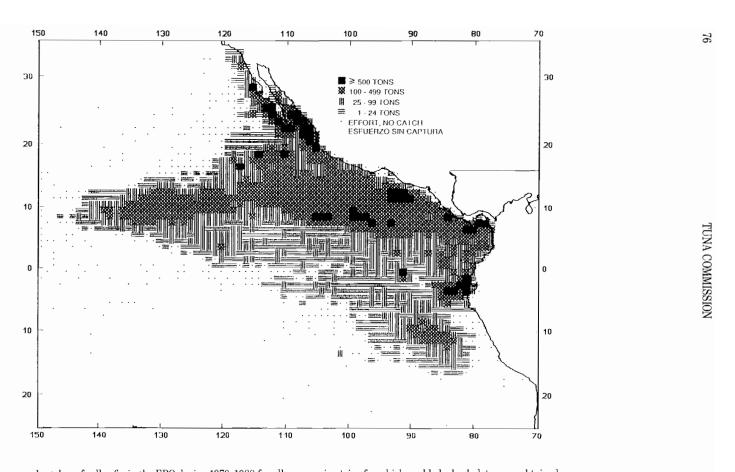


FIGURE 2. Average annual catches of yellowfin in the EPO during 1979–1988 for all purse-seine trips for which usable logbook data were obtained.
FIGURA 2. Capturas medias anuales de atún aleta amarilla por cerqueros en el OPO durante 1979–1988, en todos los viajes de los que se obtuvieron datos de bitácora utilizables.

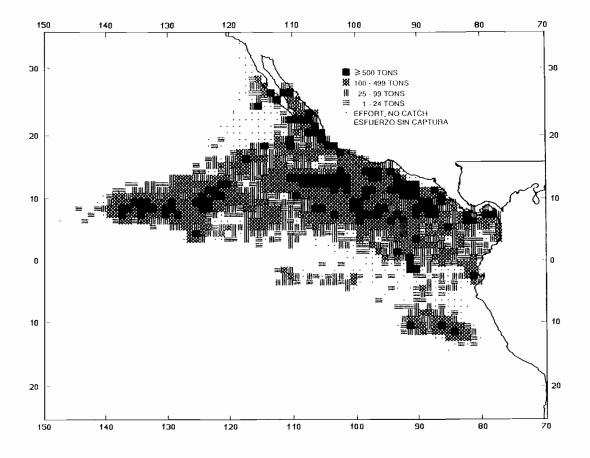


FIGURE 3. Catches of yellowfin in the EPO in 1989 for all purse-seine trips for which usable logbook data were obtained.
FIGURA 3. Capturas de atún aleta amarilla por cerqueros en el OPO en 1989, en todos los viajes de los que se obtuvieron datos de bitácora utilizables.

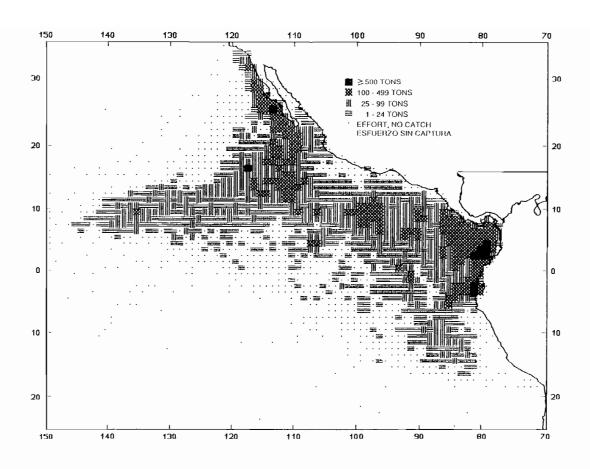


FIGURE 4. Average annual catches of skipjack in the EPO during 1979–1988 for all purse-seine trips for which usable logbook data were obtained.

FIGURA 4. Capturas medias anuales de barrilete por cerqueros en el OPO durante 1979–1988, en todos los viajes de los que se obtuvieron datos de bitácora utilizables.

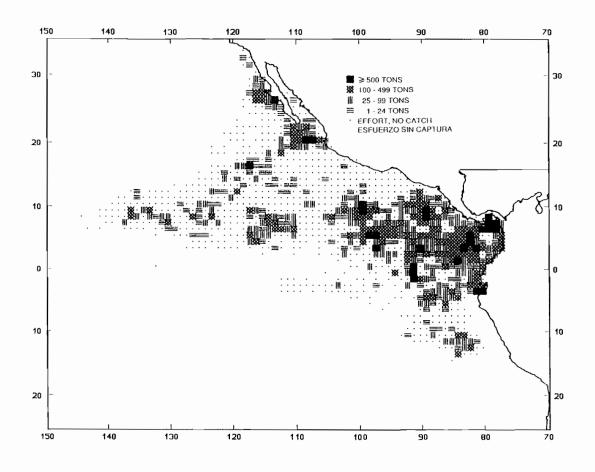


FIGURE 5. Catches of skipjack in the EPO in 1989 for all purse-seine trips for which usable logbook data were obtained.
FIGURA 5. Capturas de barrilete por cerqueros en el OPO en 1989, en todos los viajes de los que se obtuvieron datos de bitácora utilizables.

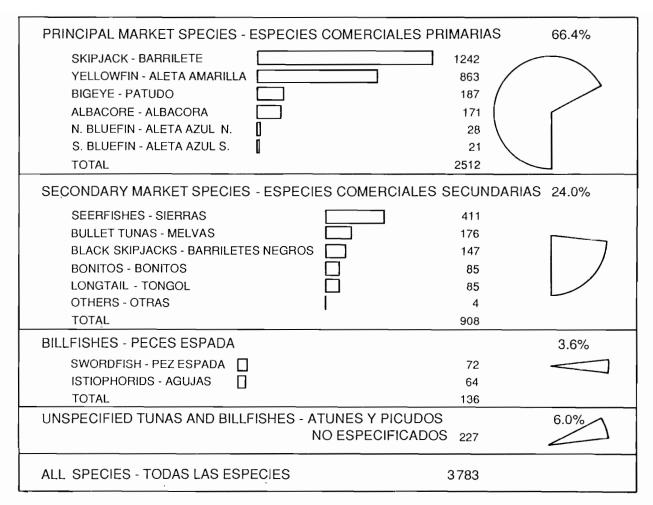


FIGURE 6. World catches of tunas and tuna-like species in 1988, in thousands of metric tons.

FIGURA 6. Capturas mundiales de atunes y especies afines durante 1988, en millares de toneladas métricas.

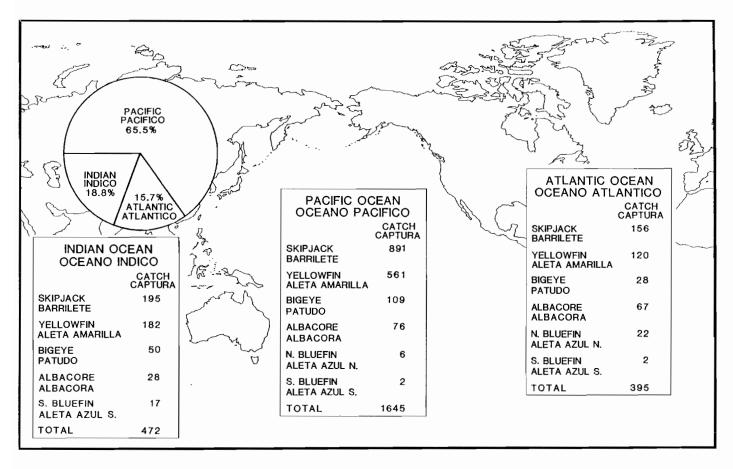


FIGURE 7. Catches of the principal market species of tunas in 1988, in thousands of metric tons.

FIGURA 7. Capturas de las principales especies comerciales de atunes en 1988, en millares de toneladas métricas.

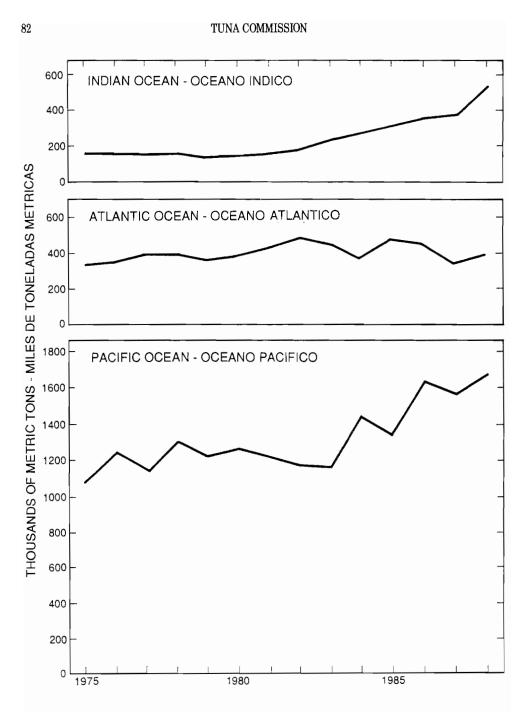
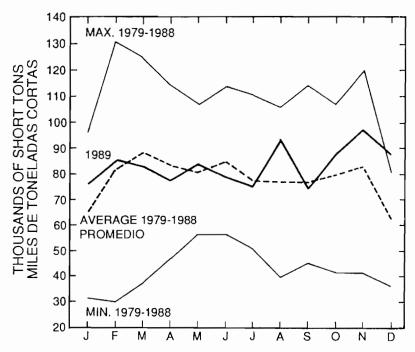


FIGURE 8. Catches of the principal market species of tunas.
FIGURA 8. Capturas de las principales especies comerciales de atunes.



**FIGURE 9.** Average, minimum, and maximum values for monthly capacity at sea in the EPO during 1979–1988, and the 1989 monthly values.

**FIGURA 9.** Valores mensuales medios, mínimos, y máximos de la capacidad en el mar en el OPO durante 1979–1988, y los valores mensuales de 1989.

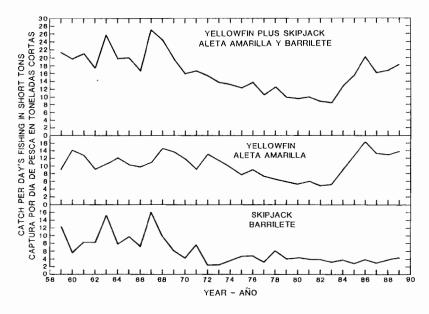


FIGURE 10. Catch per day's fishing for yellowfin and skipjack in the eastern Pacific in Class-6 purse-seine units. The 1989 data are preliminary.

**FIGURA 10.** Captura por día de pesca de aleta amarilla y barrilete en el Pacífico oriental por cerqueros de la clase 6 de arqueo. Los datos de 1989 son preliminares.



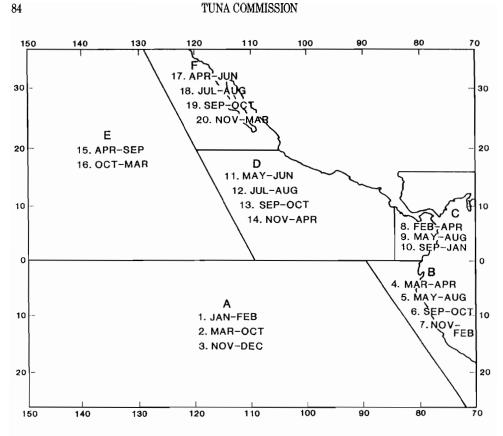


FIGURE 11. Season-area strata used to standardize the catch rates of all sizes of yellowfin combined (numerals). The regions used in the analyses of catch rate by size are shown as capital letters.

FIGURA 11. Estratos de temporada-área usados para estandardizar las tasas de captura de aleta amarilla de todos los tamaños combinados (números). Las letras mayúsculas señalan regiones usadas en los análisis de la tasa de captura por tamaño.

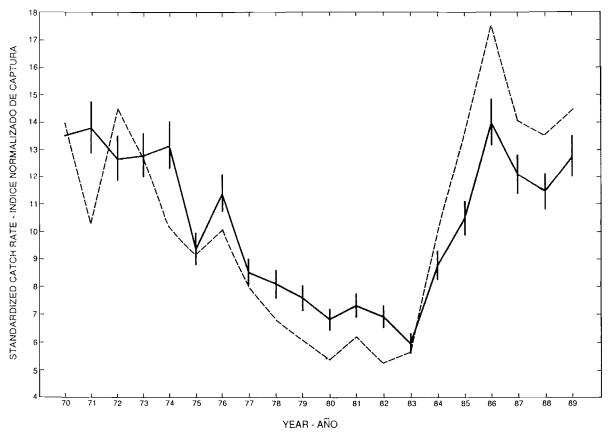
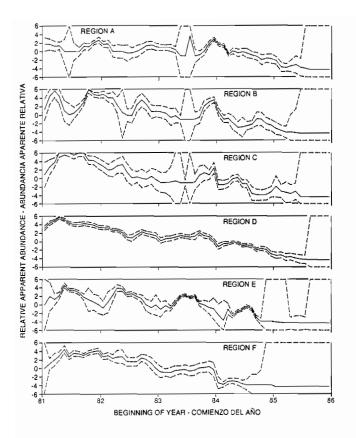
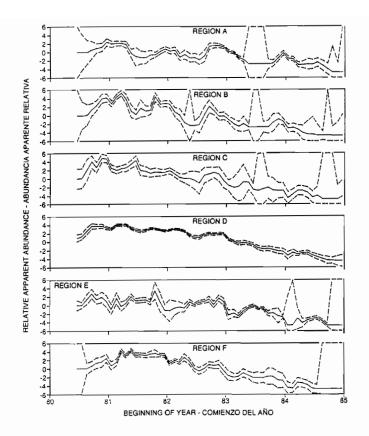


FIGURE 12. Comparison of annual indices of yellowfin abundance. The solid line is the index from the generalized linear model, with the 20-year mean set equal to the 20-year mean CPDF, and the vertical bars are the approximate 95-percent confidence limits. The dashed line is the index most commonly used, CPDF for vessels with greater than 400 tons holding capacity. The data for 1989 are incomplete.

FIGURA 12. Comparación de los índices anuales de abundancia del aleta amarilla. La línea contínua indica el índice del modelo lineal generalizado, con el promedio de 20 años fijado igual a la CPDP media de 20 años, y las barras verticales representan los límites de confianza de 95%. La línea de trazos representa el índice de uso más frecuente, CPDP de barcos de más de 400 toneladas de capacidad de acarreo. Los datos de 1989 son incompletos.

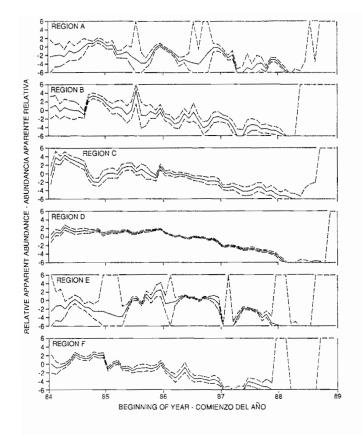


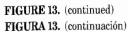


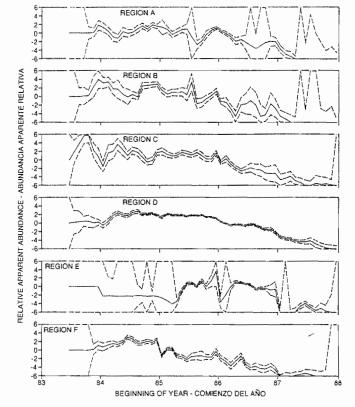
 $\textbf{FIGURE 13.} \ \ Relative \ apparent \ abundances \ (solid lines) \ of the \ 1980X \ (Panel\ a), 1980Y \ (Panel\ b), 1983X \ (Panel\ c), \ and \ 1983Y \ (Panel\ d) \ cohorts \ in \ the \ six \ regions \ shown \ in \ Figure \ 11.$  The dashed lines are the approximate 95-percent confidence limits.

FIGURA 13. Abundancias aparentes relativas (líneas contínuas) de las cohortes 1980X (Recuadro a), 1980Y (Recuadro b), 1983X (Recuadro c), y 1983Y (Recuadro d) en las seis regiones presentadas en la Figura 11. Las líneas de trazos representan los límites de confianza de 95%.



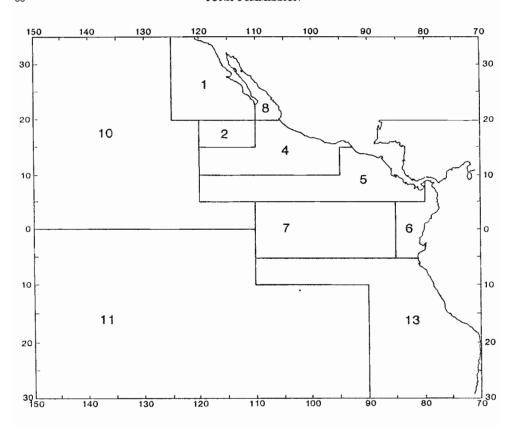






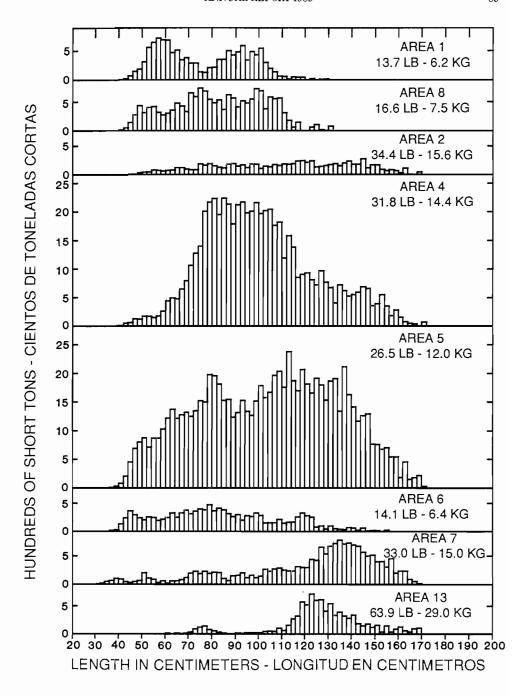






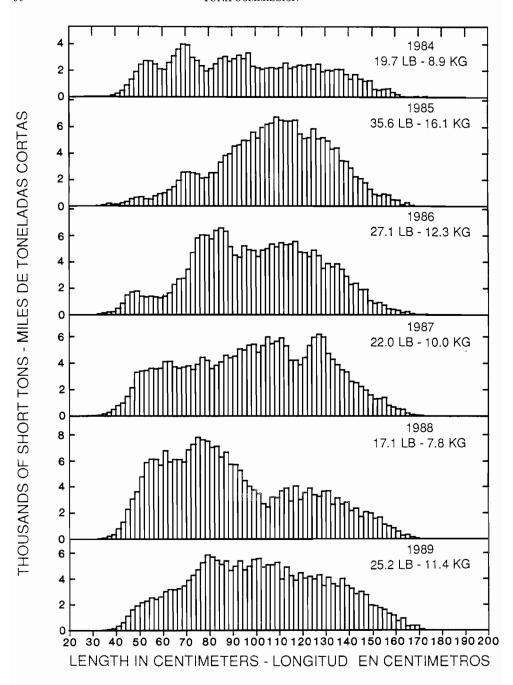
 $\textbf{FIGURE 14.} \ \, \textbf{Areas used for sampling lengths of tunas in the eastern Pacific Ocean}.$ 

FIGURA 14. Areas usadas para el muestreo de talla de atunes en el Océano Pacífico oriental.



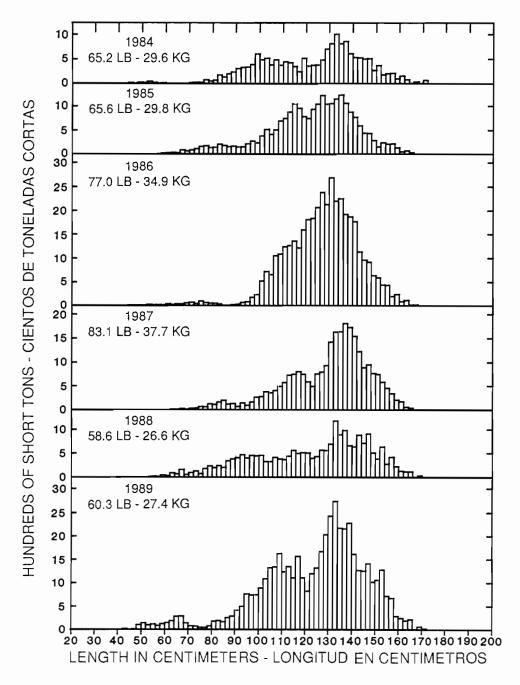
**FIGURE 15.** Estimated yellowfin catch by 2-cm intervals for the market measurement areas of the CYRA in 1989. The values in the upper right corners of the panels are average weights.

FIGURA 15. Captura estimada de aleta amarilla en las zonas de medición en el ARCAA durante 1989, por intervalos de 2cm. El peso promedio aparece en el extremo superior derecho de cada recuadro.



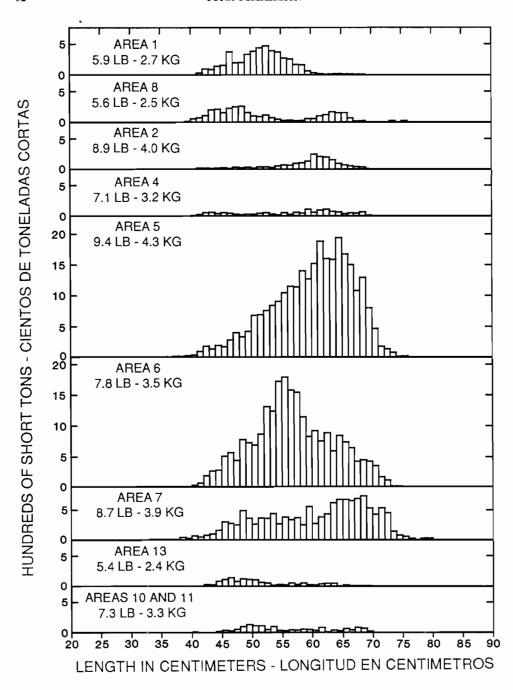
**FIGURE 16.** Estimated yellowfin catch by 2-cm intervals in the CYRA. The values in the upper right corners of the panels are average weights.

FIGURA 16. Captura estimada de aleta amarilla en el ARCAA, por intervalos de 2cm. El peso promedio aparece en el extremo superior derecho de cada recuadro.

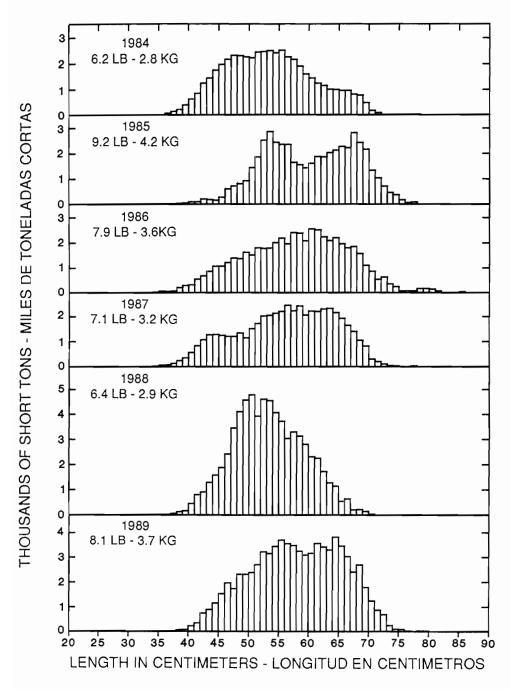


**FIGURE 17.** Estimated yellowfin catch by 2-cm intervals in the area between the CYRA boundary and 150°W. The values in the upper left corners of the panels are average weights.

**FIGURA 17.** Captura estimada de aleta amarilla en la zona entre el límite del ARCAA y 150°W, por intervalos de 2cm. El peso promedio aparece en el extremo superior izquierdo de cada recuadro.

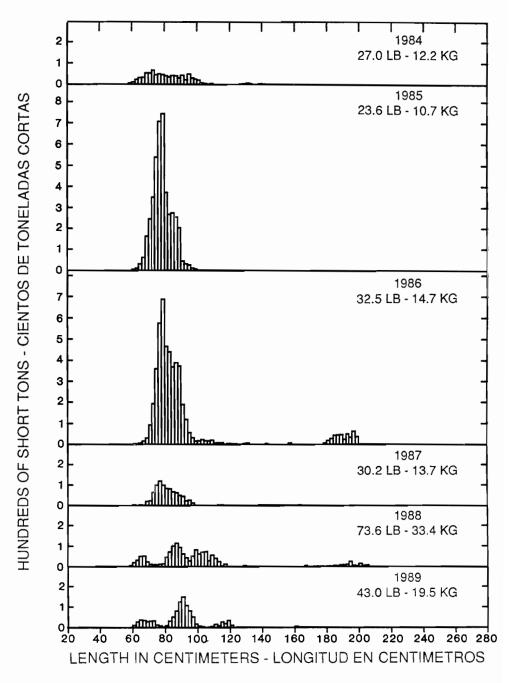


**FIGURE 18.** Estimated skipjack catch by 1-cm intervals for selected market measurement areas of the eastern Pacific Ocean in 1989. The values in the upper left corners of the panels are average weights. **FIGURA 18.** Captura estimada de barrilete en áreas de medición seleccionadas del Océano Pacífico oriental en 1989, por intervalos de 1cm. El peso promedio aparece en el extremo superior izquierdo de cada recuadro.



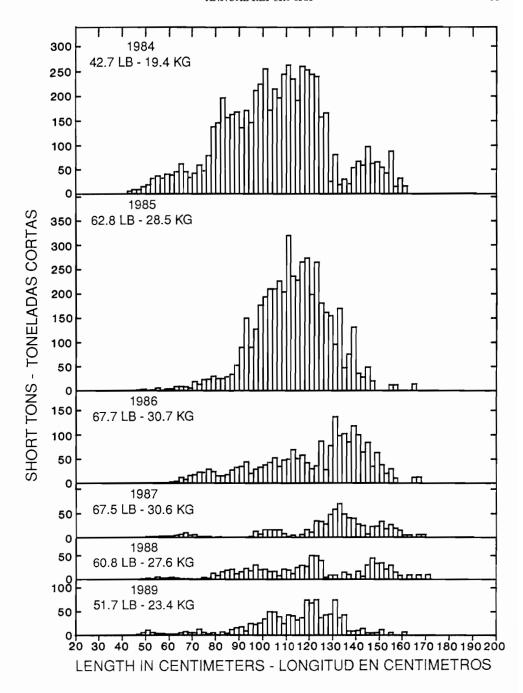
**FIGURE 19.** Estimated skipjack catch by 1-cm intervals in the eastern Pacific Ocean. The values in the upper left corners of the panels are average weights.

FIGURA 19. Captura estimada de barrilete en el Océano Pacífico oriental, por intervalos de 1cm. El peso promedio aparece en el extremo superior izquierdo de cada recuadro.



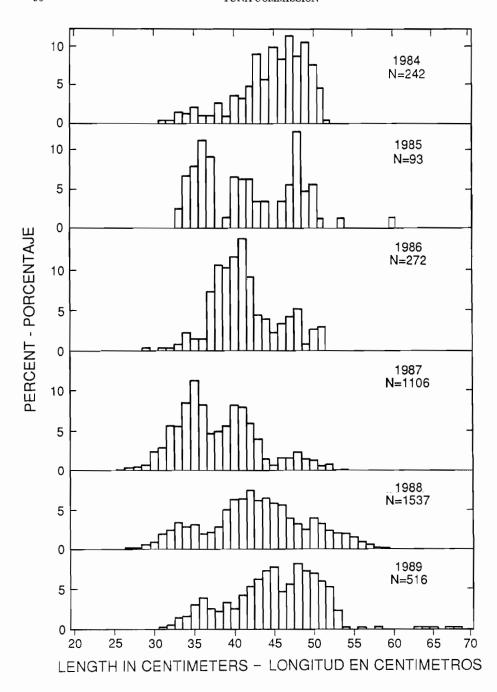
**FIGURE 20.** Estimated northern bluefin catch by 2-cm intervals in the eastern Pacific Ocean. The values in the upper right corners of the panels are average weights.

**FIGURA 20.** Captura estimada de atún aleta azul del norte en el Océano Pacífico oriental, por intervalos de 2cm. El peso promedio aparece en el extremo superior derecho de cada recuadro.



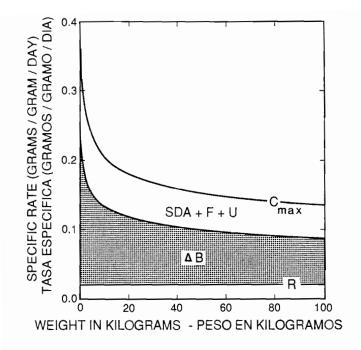
 $\textbf{FIGURE 21.} \ \, \textbf{Estimated bigeye catch by 2-cm intervals in the eastern Pacific Ocean. The values in the upper left corners of the panels are average weights.}$ 

FIGURA 21. Captura estimada de patudo en el Océano Pacífico oriental, por intervalos de 2cm. El peso promedio aparece en el extremo superior izquierdo de cada recuadro.



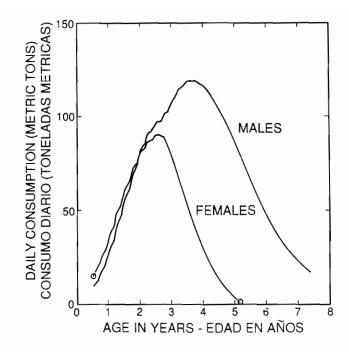
**FIGURE 22.** Annual length-frequency distributions of black skipjack caught in the eastern Pacific Ocean. **FIGURA 22.** Distribución anual de la frecuencia de talla del barrilete negro capturado en el Océano Pacífico oriental.





**FIGURE 23.** Weight-specific components of the energy budget at maximum ration for yellowfin tuna as a function of body weight. The shaded region is the scope for growth.

**FIGURA 23.** Componentes específicos para cada peso del presupuesto energético a nivel de ración máxima para atunes aleta amarilla, como función del peso. La zona sombreada representa el potencial de crecimiento.



**FIGURE 24.** Total daily food consumption for a cohort of 1 million yellowfin in the eastern Pacific Ocean, as predicted by a bioenergetics model. The simulation began at the age of a 30-cm fish and ended after 7 years of growth.

**FIGURA 24.** Consumo total diario de alimento de una cohorte de un millón de aletas amarillas en el Océano Pacífico oriental, predicho por un modelo bioenergético. Las simulación comenzó a la edad de un pez de 30 cm y terminó al cabo de 7 años de crecimiento.

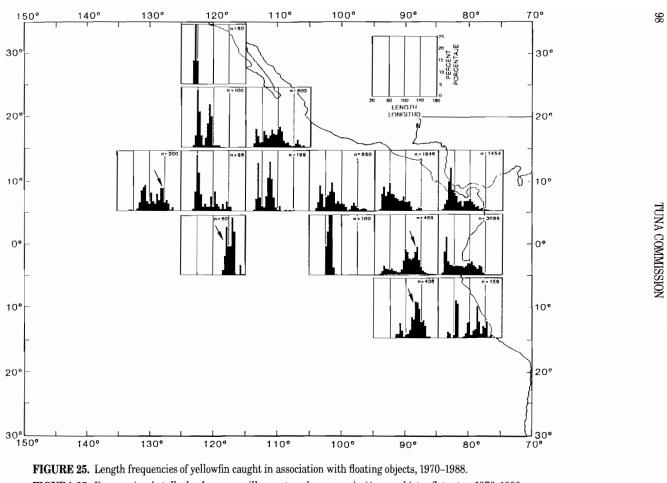
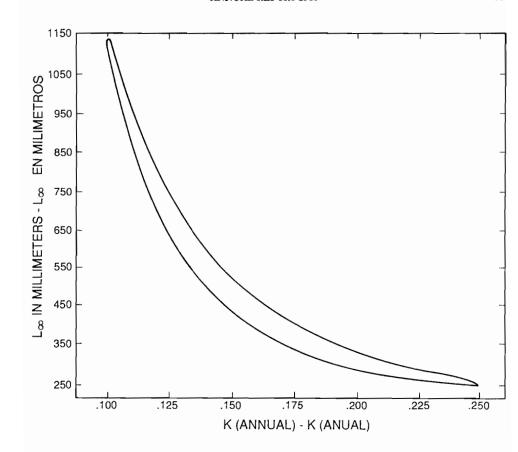


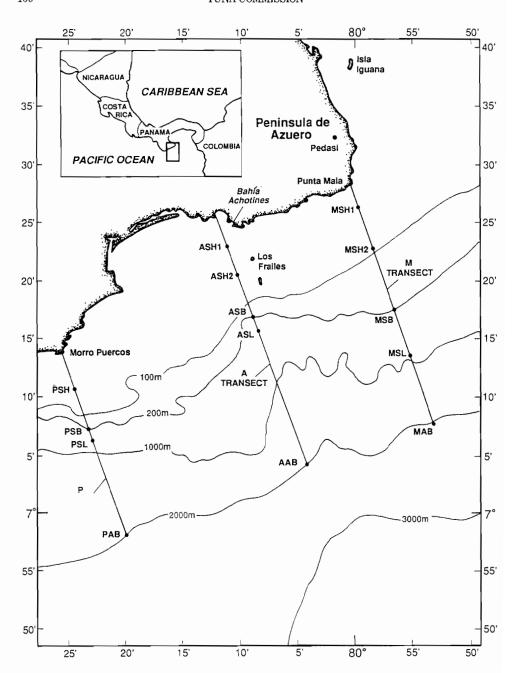
FIGURA 25. Frecuencias de talla de aletas amarillas capturados en asociación con objetos flotantes, 1970–1988.





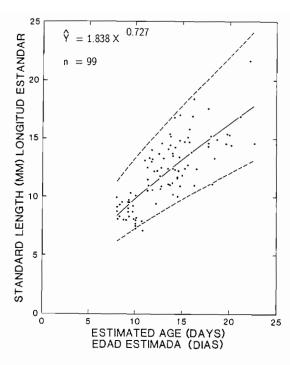
**FIGURE 26.** Distribution of combinations of values of K and  $L_{\infty}$ , for the Gompertz growth equation fit to bluefin age data, with sum of squares/minimum sum of squares less than or equal to 1.05.

FIGURA 26. Distribución de combinaciones de valores de K y  $L_{\infty}$ , para la ecuación de crecimiento de Gompertz ajustada a datos de edad del aleta azul, con sumas de cuadrados/sumas mínimas de cuadrados inferiores o iguales a 1.05.



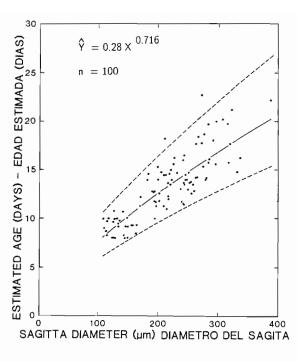
**FIGURE 27.** Location of Achotines Bay, Panama. The Achotines Laboratory is located on the east side of the bay. The dots on the transects represent sampling stations.

**FIGURA 27.** Ubicación de la Bahía de Achotines, Panamá. El laboratorio está situado al borde este de la bahía. Los puntos en los transectos representan estaciones de muestreo.



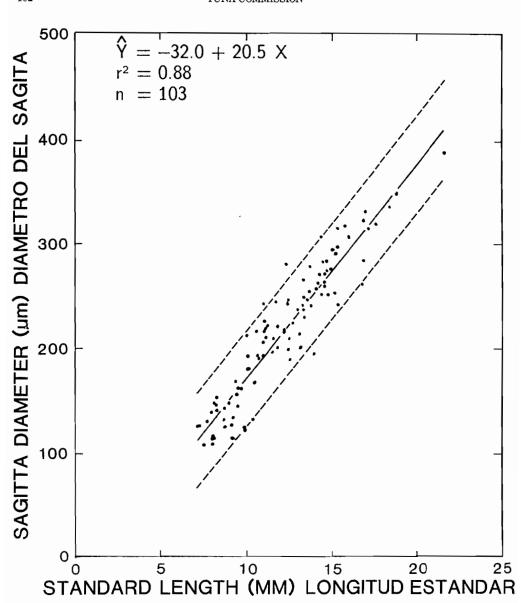
**FIGURE 28.** Standard length *versus* age estimated using otolith increment counts from 99 late larval and early juvenile black skipjack collected in waters adjacent to the Achotines Laboratory. The solid line is the least- squares fit of a log-log model to the data, and the broken lines are 95-percent prediction belts. The  $r^2$  value for the log-log fit is 0.62.

**FIGURA 28.** Talla estándar *versus* edad estimada, usando conteos de incrementos en los otolitos de 99 barriletes negros en etapa larval tardia o juvenil primaria, capturados en aguas cerca del Laboratorio de Achotines. La línea continua representa el ajuste de cuadrados mínimos de un modelo log-log a los datos, y las líneas de trazos las bandas de predicción de 95%. El valor de  $r^2$  del ajuste log-log es 0.62.



**FIGURE 29.** Age estimated using otolith increment counts *versus* diameter of the otoliths from 100 late larval and early juvenile black skipjack collected in waters near the Achotines Laboratory. The solid line is the least- squares fit of a log-log model to the data, and the broken lines are 95-percent prediction belts. The  $r^2$  value for the loglog fit is 0.74.

**FIGURA 29.** Edad estimada a partir de conteos de incrementos en los otolitos versus diámetro de los otolitos de 100 barriletes negros en etapa larval tardia o juvenil primaria, capturados en aguas cerca del Laboratorio de Achotines. La línea continua representa el ajuste de cuadrados mínimos de un modelo log-log a los datos, y las líneas de trazos las bandas de predicción de 95%. El valor de  $r^2$  del ajuste log-log es 0.74.



**FIGURE 30.** Otolith diameter *versus* standard length of 103 late larval and early juvenile black skipjack collected in waters near the Achotines Laboratory. The solid line is the least-squares regression fit to the data, and the broken lines are 95-percent prediction belts.

FIGURA 30. Diámetro del los otolitos *versus* talla estándar de 103 barriletes negros en etapa larval tardia o juvenil primaria, capturados en aguas cerca del Laboratorio de Achotines. La línea continua representa el ajuste de cuadrados mínimos de regresión lineal a los datos, y las líneas de trazos las bandas de predicción de 95%.

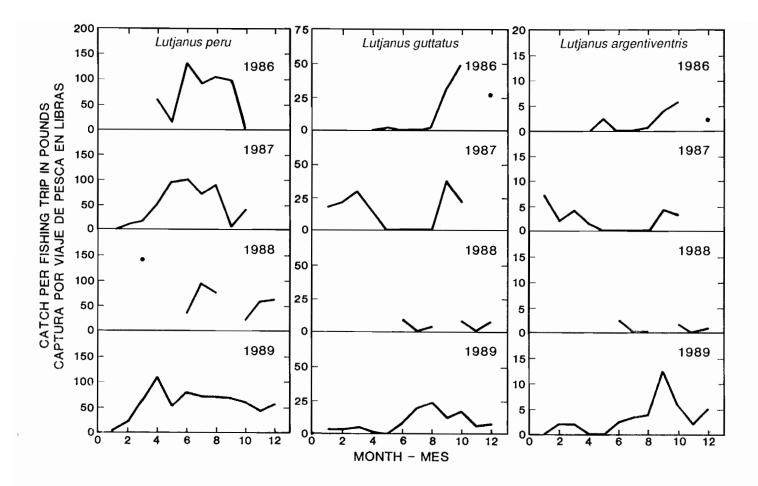


FIGURE 31. Monthly average catches of snappers per fishing trip in the Los Santos province.
FIGURA 31. Capturas medias mensuales de pargos por viaje de pesca en la provincia de Los Santos.

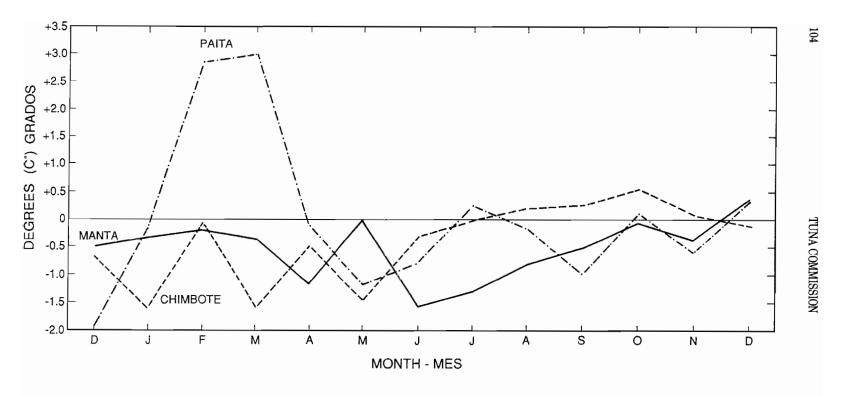


FIGURE 32. SST anomalies at three shore stations on the Pacific coast of South America during 1989. FIGURA 32. Anomalías de las TSM en las tres estaciones costeras en el litoral Pacífico de América del Sur en 1989.

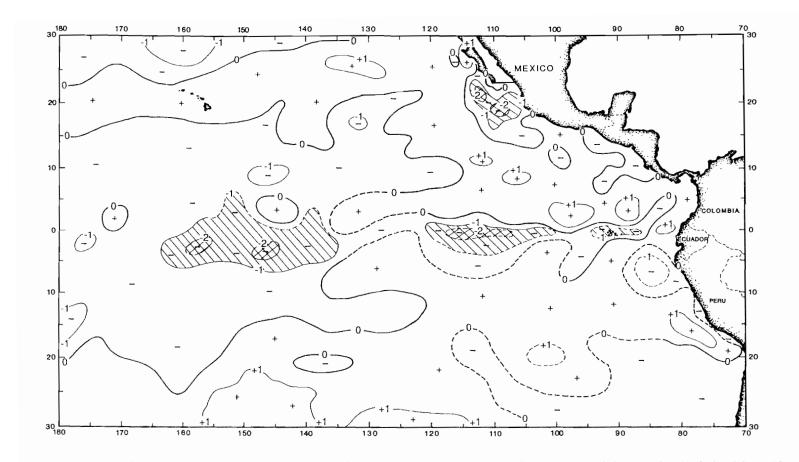


FIGURE 33. SST anomalies for July 1989, based on data from commercial ships and fishing vessels. The areas with SSTs from 1° to 2°C below normal are hatched, and those with SSTs more than 2°C below normal are cross-hatched.

FIGURA 33. Anomalías de las TSM correspondientes a julio de 1989, basadas en datos de buques mercantes y pesqueros. Las TSM en las áreas sombreadas fueron entre 1º y 2ºC inferiores a lo normal, y aquellas en las áreas doblemente sombreadas más de 2ºC inferiores a lo normal.

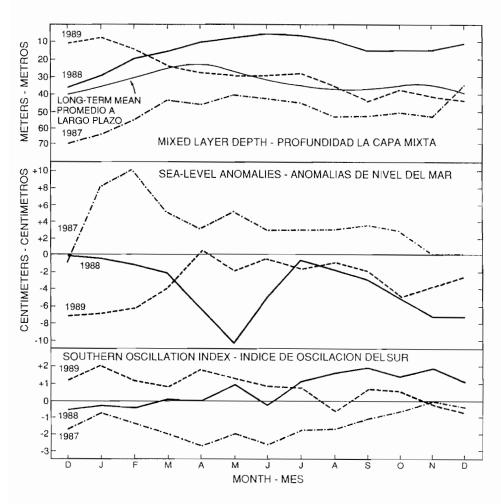
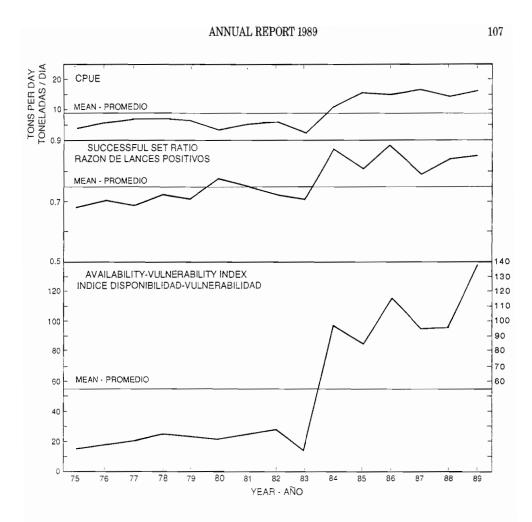


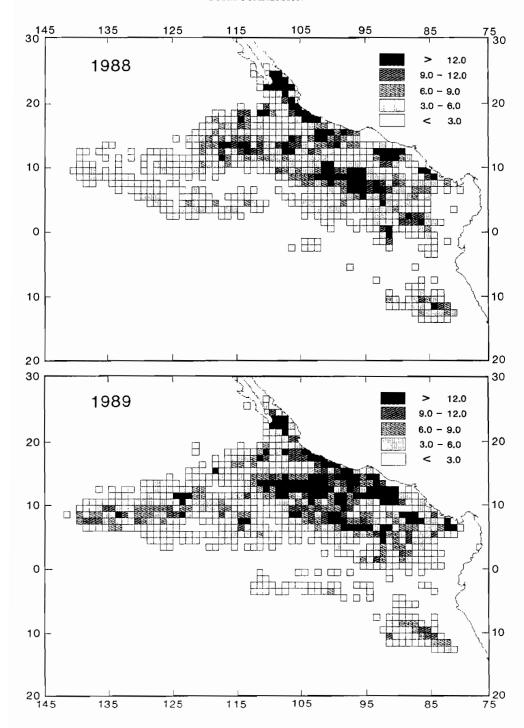
FIGURE 34. Mixed layer depths east of 115°W between 5°N and 5°S, sea-level anomalies based on the averages of anomalies at three coastal stations in Colombia, and Southern Oscillation Indices.

FIGURA 34. Profundidad de la capa mixta al este de 115°W entre 5°N y 5°S, anomalías del nivel del mar basadas en el promedio de las anomalías en tres estaciones costeras en Colombia, e Indices de Oscilación del Sur.

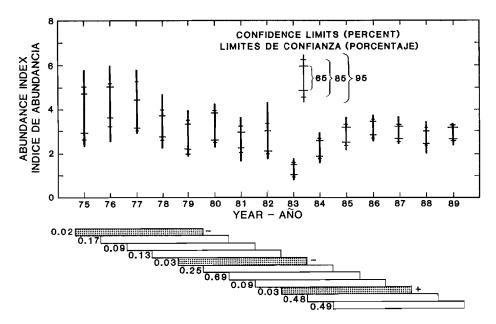


**FIGURE 35.** Annual mean values of yellowfin catch per unit of effort (CPUE), successful set ratio (SSR), and availability-vulnerability index (AVI) for yellowfin within 300 nautical miles of the Costa Rica Dome.

**FIGURA 35.** Valores medios anuales de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del aleta amarilla, la proporción de lances positivos (PLP), y el índice de disponibilidad-vulnerabilidad (IDV) del aleta amarilla a 300 millas o menos del Domo de Costa Rica.



**FIGURE 36.** Numbers of sets made on tunas associated with dolphins in 1988 and 1989. **FIGURA 36.** Número de lances realizados en 1988 y 1989 sobre atunes asociados con delfines.



**FIGURE 37.** Relative abundance indices for the northern offshore stock of spotted dolphins. The horizontal bars are graphical representations of the information in Table 24. The shaded bars indicate 5-year trends which were significantly upward (+) or downward (-).

**FIGURA 37.** Indices de abundancia relativa del stock de alta mar norteño del delfín manchado. Las barras horizontales son representaciones gráficas de la información en la Tabla 24. Las barras sombreadas señalan tendencias de 5 años significativas ascendientes (+) o descendientes (-).

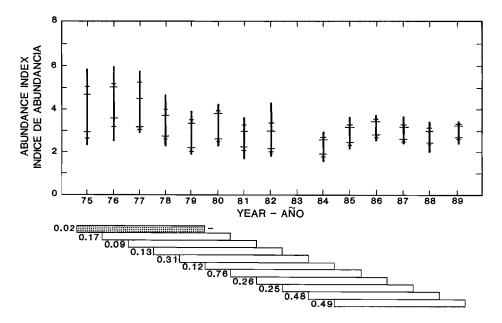


FIGURE 38. Relative abundance indices for the northern offshore stock of spotted dolphins (not including that for 1983)

FIGURA 38. Indices de abundancia relativa del stock de alta mar norteño del delfín manchado (excluye aquel de 1983).

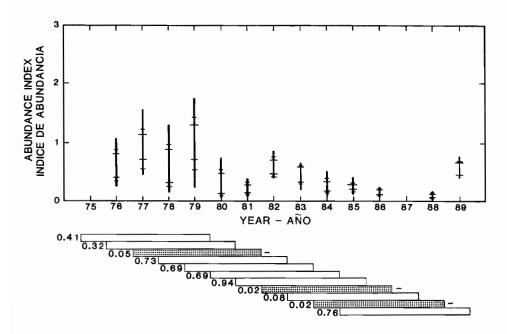
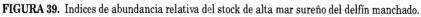
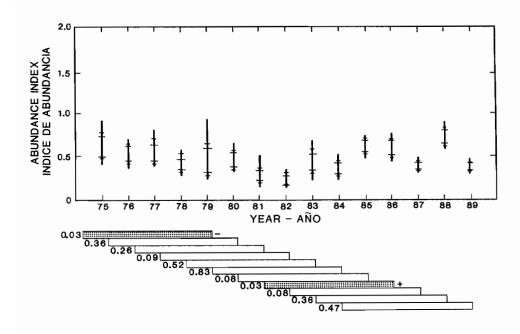


FIGURE 39. Relative abundance indices for the southern offshore stock of spotted dolphins.





**FIGURE 40.** Relative abundance indices for the eastern stock of spinner dolphins. **FIGURA 40.** Indices de abundancia relativa del stock oriental del delfín tornillo.

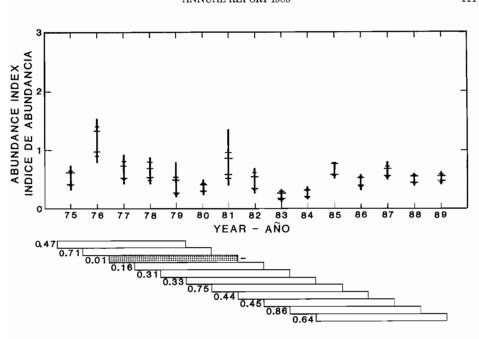
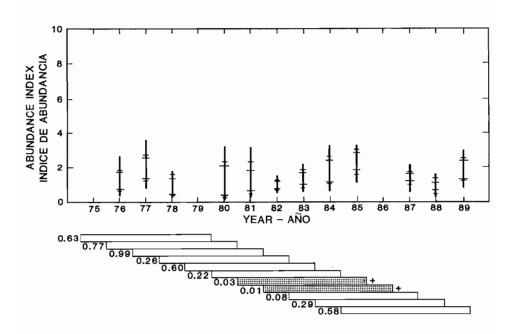


FIGURE 41. Relative abundance indices for the northern whitebelly stock of spinner dolphins. FIGURA 41. Indices de abundancia relativa del stock panza blanca norteño del delfín tornillo.



**FIGURE 42.** Relative abundance indices for the southern whitebelly stock of spinner dolphins. **FIGURA 42.** Indices de abundancia relativa del stock panza blanca sureño del delfin tornillo.

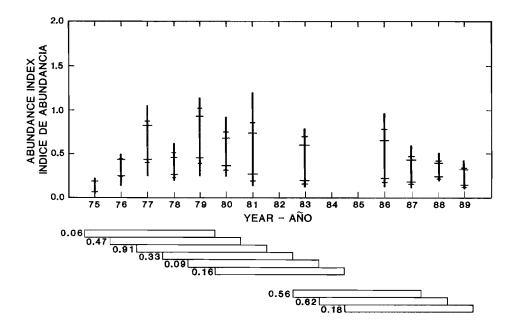


FIGURE 43. Relative abundance indices for the northern stock of common dolphins.

FIGURA 43. Indices de abundancia relativa del stock norteño del delfín común.

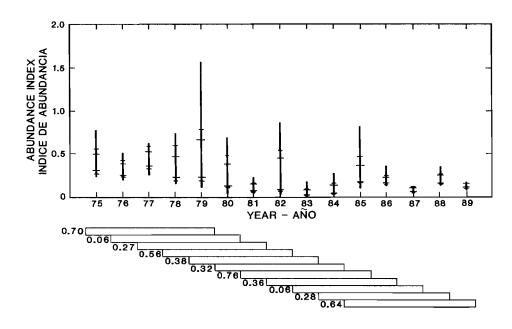


FIGURE 44. Relative abundance indices for the central stock of common dolphins.

FIGURA 44. Indices de abundancia relativa del stock central del delfín común.



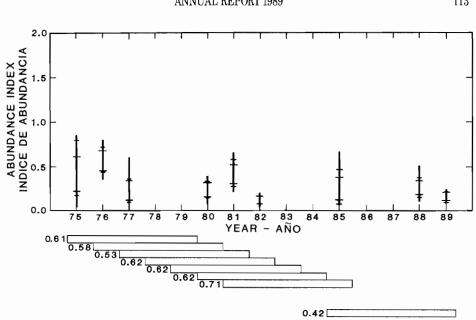
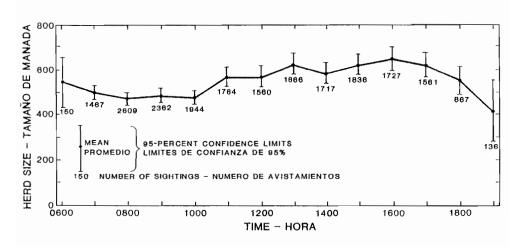


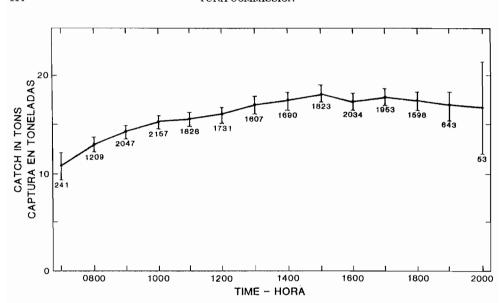
FIGURE 45. Relative abundance indices for the southern stock of common dolphins. FIGURA 45. Indices de abundancia relativa del stock sureño del delfín común.



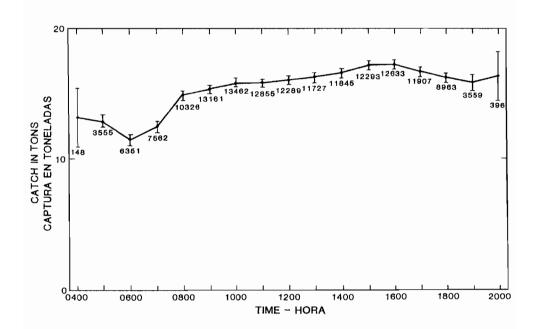
**FIGURE 46.** Average herd sizes of spotted dolphins *versus* time of day (n = 21,406 sightings). FIGURA 46. Tamaño medio de manada de delfines manchados versus hora del día (n = 21,406 observaciones).



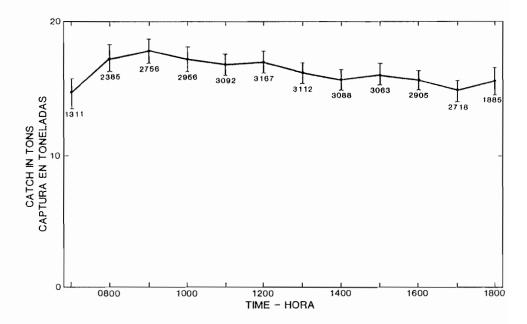




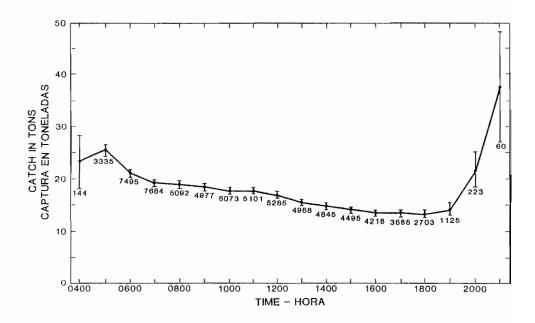
**FIGURE 47.** Average catch of yellowfin tuna in "dolphin" sets *versus* time of day (n = 20,614 sets). **FIGURA 47.** Captura media de atún aleta amarilla en lances sobre delfines *versus* hora del día (n = 20,614 lances).



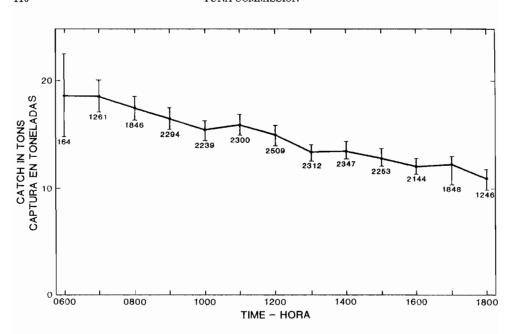
**FIGURE 48.** Average catch of yellowfin tuna in "log" sets *versus* time of day (n = 153,032 sets). **FIGURA 48.** Captura media de atún aleta amarilla en lances sobre objetos flotantes *versus* hora del día (n = 153,032 lances).



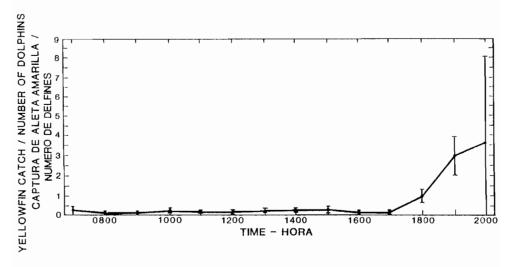
**FIGURE 49.** Average catch of yellowfin tuna in "schoolfish" sets versus time of day (n = 32,438 sets). **FIGURA 49.** Captura media de atún aleta amarilla en lances sobre cardúmenes no asociados versus hora del día (n = 32,438 lances).



**FIGURE 50.** Average catch of skipjack tuna in "logfish" sets versus time of day (n = 70,478 sets). **FIGURA 50.** Captura media de atún barrilete en lances sobre objetos flotantes versus hora del día (n = 70,478 lances).

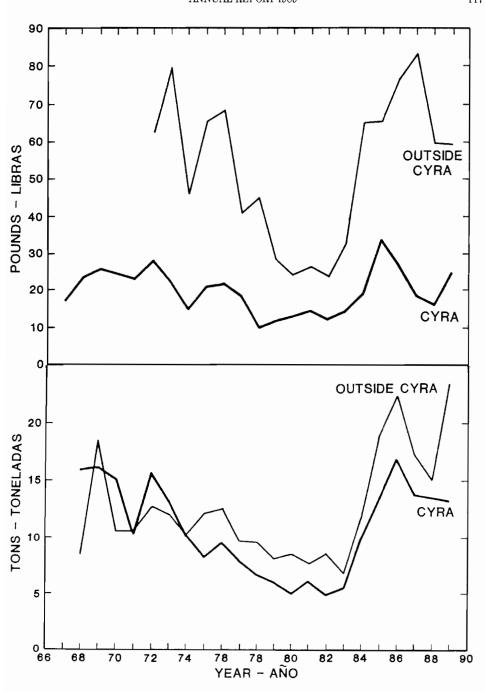


**FIGURE 51.** Average catch of skipjack tuna in "schoolfish" sets versus time of day (n = 24,763 sets). **FIGURA 51.** Captura media de atún barrilete en lances sobre cardúmenes no asociados versus hora del día (n = 24,763 lances).



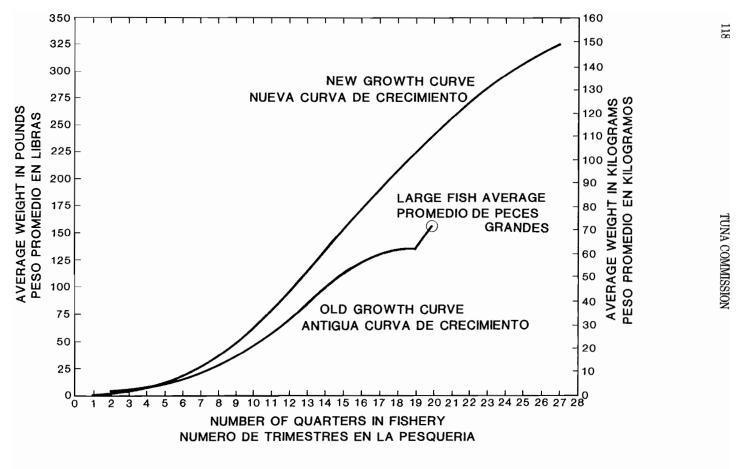
**FIGURE 52.** Average ratio of the catch of yellowfin tuna caught in association with single-species herds of spotted dolphins to the estimated number of spotted dolphins in the aggregation *versus* time of day (n = 11,476 sets).

**FIGURA 52.** Razón media de la captura de atún aleta amarilla capturado en asociación con manadas monoespecíficas de delfines manchados al número estimado de delfines manchados en la agregación versus hora del día (n=11,476 lances).



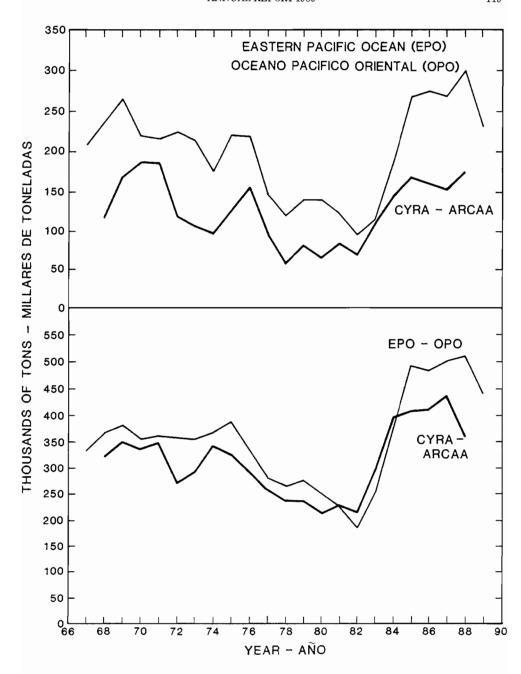
 $\label{eq:FIGURE 53.} FIGURE 53. Average weights of yellow fin caught (upper panel) and average catches of yellow fin per day's fishing (lower panel) by Class-6 purse seiners in the eastern Pacific Ocean.$ 

FIGURA 53. Peso promedio de aletas amarillas capturados (recuadro superior) y capturas medias de aleta amarilla por día de pesca (recuadro inferior) por cerqueros de la clase 6 en el Océano Pacífico oriental.



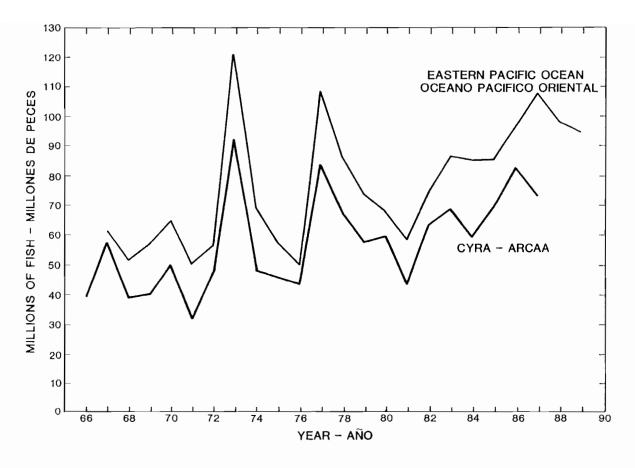
 $\textbf{FIGURE 54.} \ \ \textbf{Growth-in-weight curves for yellow fin in the eastern Pacific Ocean}.$ 

FIGURA 54. Curvas de crecimiento en peso del aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental.



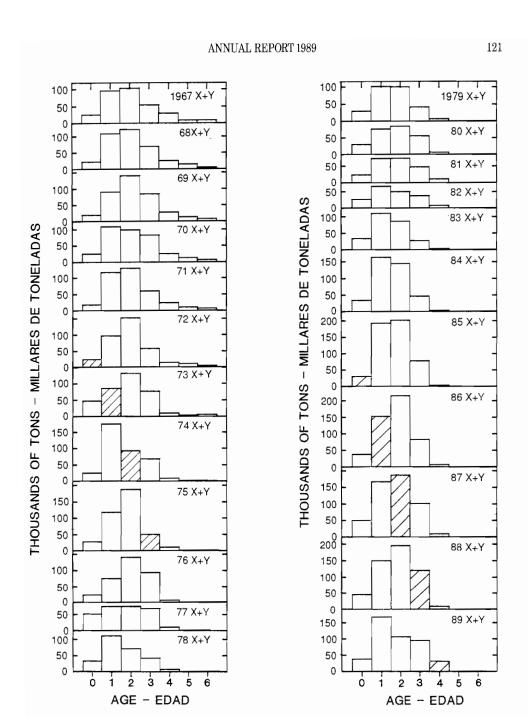
**FIGURE 55.** Estimates of the biomasses of large yellowfin (upper panel) and of all yellowfin (lower panel) in the eastern Pacific Ocean. The values for the CYRA are the same as those in Figure 74 of the IATTC Annual Report for 1988.

**FIGURA 55.** Estimaciones de la biomasa de aletas amarillas grandes (recuadro superior) y de aletas amarillas de todos tamaños (recuadro inferior) en el Océano Pacífico oriental. Los valores del ARCAA son idénticos a aquellos en la Figura 74 del Informe Anual de la CIAT de 1988.

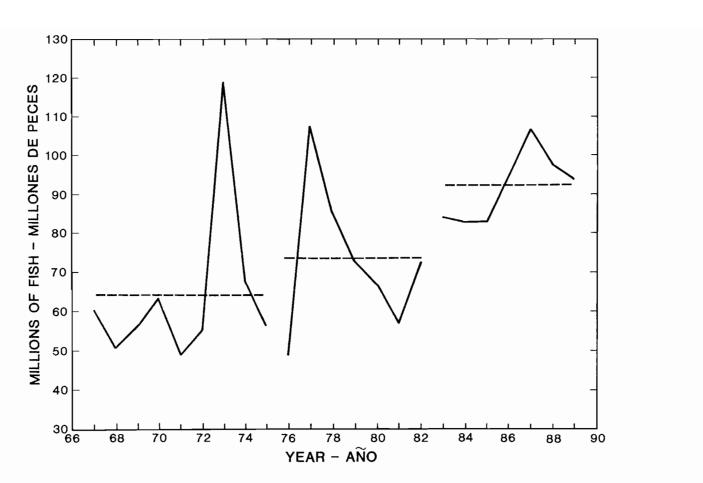


**FIGURE 56.** Estimates of the recruitment of yellowfin in the eastern Pacific Ocean. The values for the CYRA are the same as those in Table 37 of the IATTC Annual Report for 1988, except that the designations of the years are different (e.g. 1967 in Table 37 appears as 1966 in this figure, etc.).

FIGURA 56. Estimaciones del reclutamiento de aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental. Los valores del ARCAA son idénticos a aquellos en la Tabla 37 del Informe Anual de la CIAT de 1988, excepto que los años son designados de forma diferente; por ejemplo, 1967 en la Tabla 37 es 1966 en esta figura, etc.



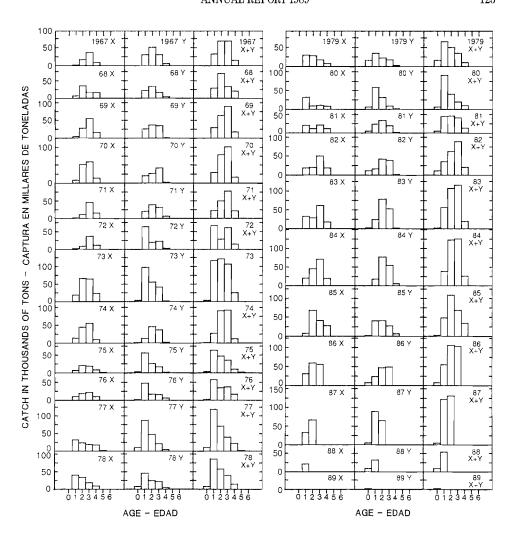
**FIGURE 57.** Average within-year biomass estimates of yellowfin in the eastern Pacific Ocean by age groups. **FIGURA 57.** Estimaciones del promedio, dentro del año, de la biomasa del aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental, por grupos de edad.



TUNA COMMISSION

FIGURE 58. Estimated initial recruitments of yellowfin in the eastern Pacific Ocean, with the average recruitments for 1967–1975, 1976–1982, and 1983–1989.

FIGURA 58. Reclutamientos iniciales estimados del aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental, con los reclutamientos medios de 1967–1975, 1976–1982, y 1983–1989.



**FIGURE 59.** Estimated catches of yellowfin of the 1967 through 1989 cohorts at ages 0 through 6+, by X and Y groups.

 ${f FIGURA\,59.}$  Capturas estimadas de aleta amarilla de las cohortes de 1967 a 1989 de 0 a 6+ años de edad, por grupos X e Y.

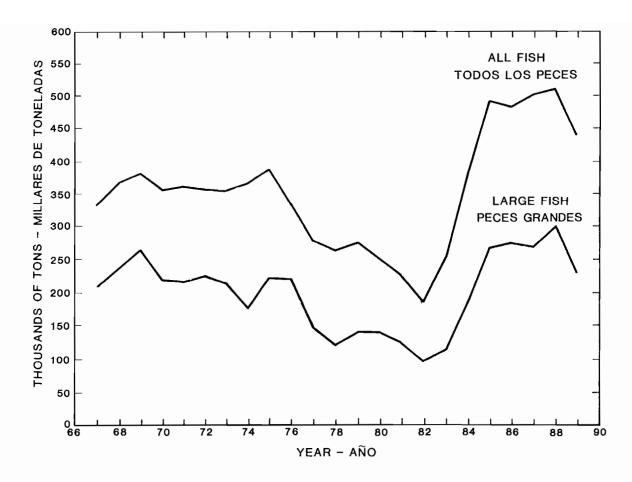
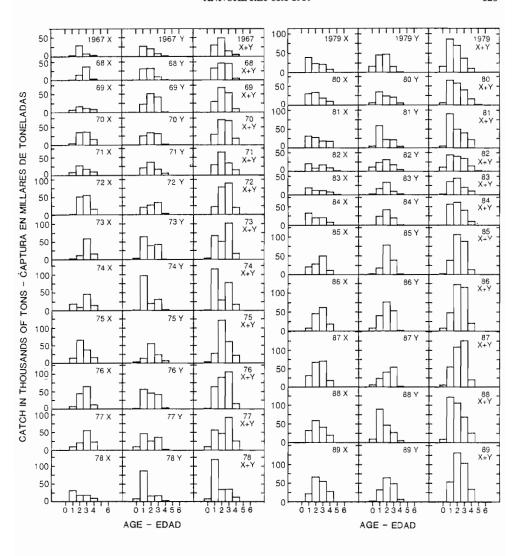


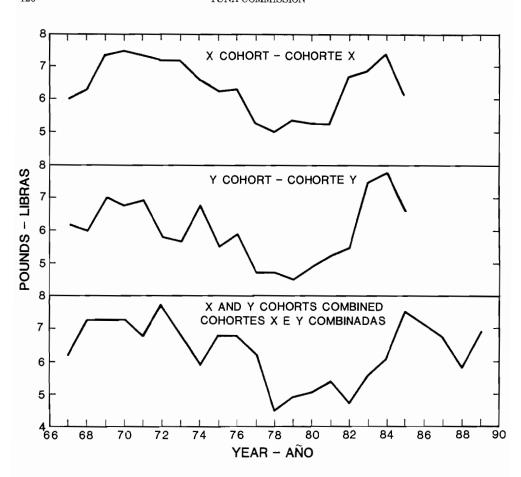
FIGURE 60. Average biomass estimates of yellowfin in the eastern Pacific Ocean for all fish and for larger fish only.

FIGURA 60. Estimaciones de la biomasa media del aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental correspondientes a todos los peces y a los peces mayores solamente.



 $\textbf{FIGURE 61.} \ \, \textbf{Estimated catches of yellow fin of ages 0 through 6+ during 1967 through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{FIGURA 61.} \ \, \textbf{Capturas estimadas de aleta amarilla de 0 a 6+ años de edad entre 1967 y 1988, por grupos X e Y.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of the edge of through 1989, by X and Y groups.} \\ \textbf{Supplemental of the edge of$ 





**FIGURE 62.** Yields per recruit of yellowfin. The top and middle panels contain data for the 1967 through 1985 cohorts caught during different years (equivalent to Figure 59), whereas the bottom panel contains data for fish of different cohorts caught during 1967 through 1989 (equivalent to Figure 61).

FIGURA 62. Rendimientos por recluta del aleta amarilla. Los dos recuadros superiores contienen datos de las cohortes de 1967 a 1985 capturados en distintos años (equivalente a la Figura 59), mientras que el recuadro inferior contiene datos de peces de distintas cohortes capturados entre 1967 y 1989 (equivalente a la Figura 61).

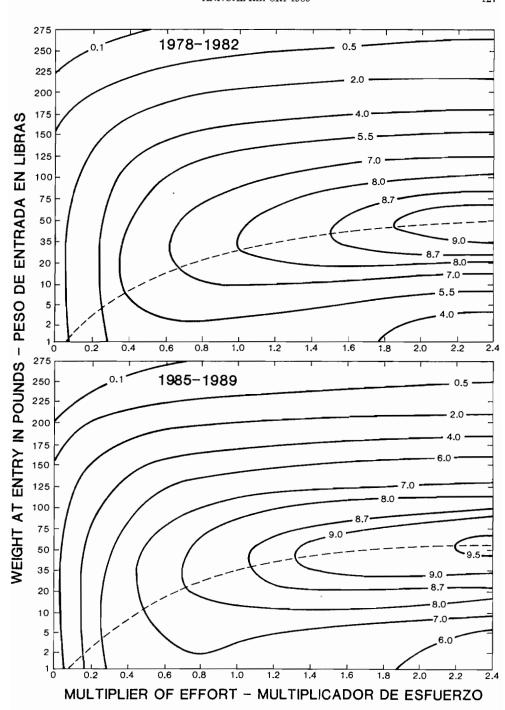
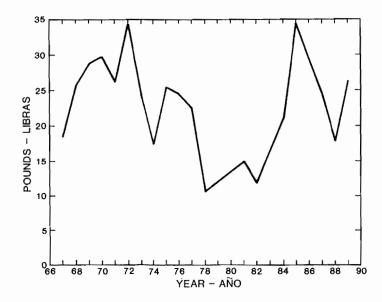


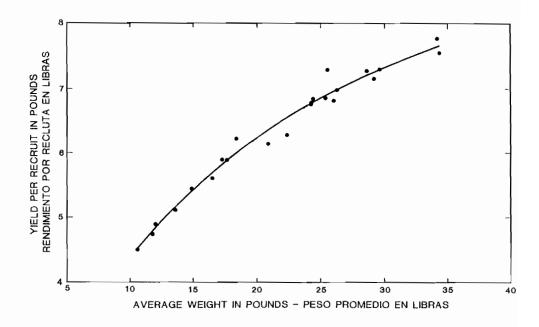
FIGURE 63. Relationships among size at entry, fishing effort, and yield per recruit for yellowfin for two different patterns of age-specific fishing mortality.

**FIGURA 63.** Relación entre talla de ingreso, esfuerzo de pesca, y rendimiento por recluta del aleta amarilla, correspondiente a dos patrones diferentes de mortalidad por pesca específica para cada edad.



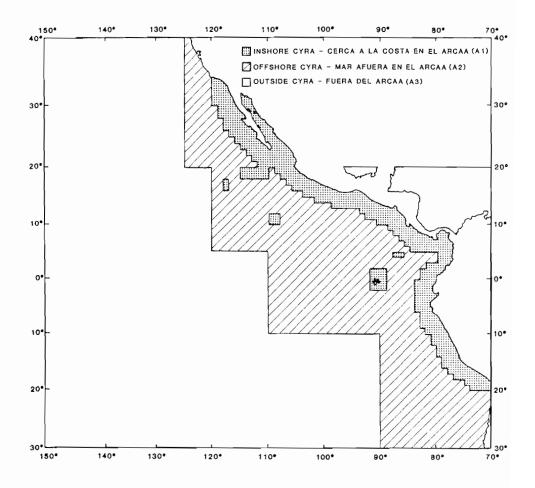
 ${\bf FIGURE~64.}~~{\bf Average~weights~of~yellow fin~caught~in~the~eastern~Pacific~Ocean.}$ 

FIGURA 64. Peso promedio de aletas amarillas capturados en el Oceáno Pacífico oriental.



 $\textbf{FIGURE 65.} \ \ \text{Relationship between yield per recruit and average weight at capture for yellow fin in the eastern Pacific Ocean.}$ 

FIGURA 65. Relación entre el rendimiento por recluta y el peso medio de captura del aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental.



**FIGURE 66.** The eastern Pacific Ocean, showing the historical areas of the fishery for yellowfin, A1, the more recently fished areas within the CYRA, A2, and the area outside the CYRA, A3.

FIGURA 66. El Oceáno Pacífico oriental. Se indican las zonas históricas de la pesca de aleta amarilla, A1, las zonas de pesca más recientes en el ARCAA, A2, y la zona fuera del ARCAA (exterior), A3.



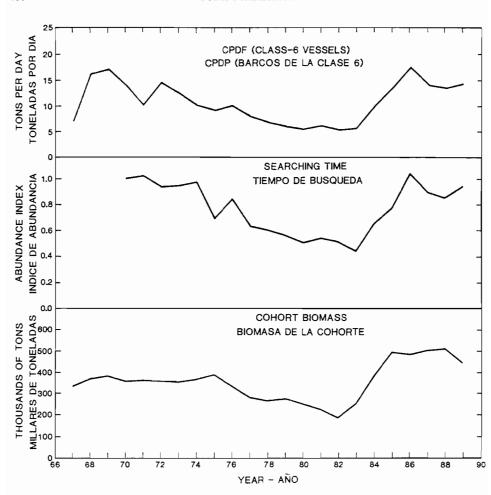


FIGURE 67. Three indices of abundance of yellowfin in the eastern Pacific Ocean.

FIGURA 67. Tres índices de la abundancia del aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental.

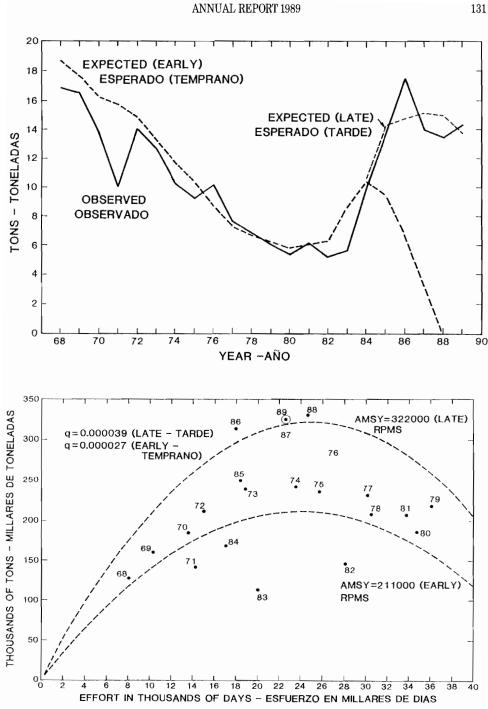
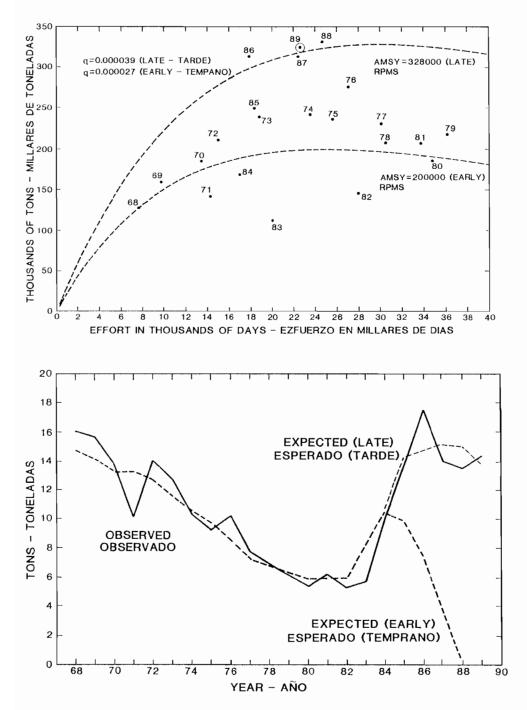


FIGURE 68. Relationships between effort and catch for the yellowfin fishery in the eastern Pacific Ocean during 1968-1989, for the logistic (symmetrical) model with m set at 2.0 (upper panel), and observed and predicted values of the CPDF (lower panel).

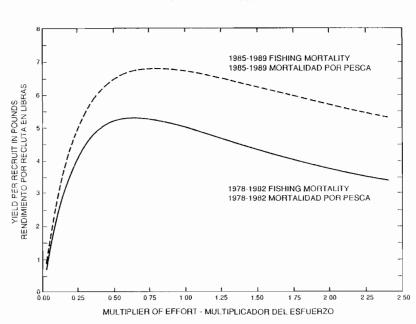
FIGURA 68. Relación entre el esfuerzo y la captura en la pesca de aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental, 1968–1989, para el modelo logístico (simétrico) con m fijado en 2.0 (recuadro superior), y valores de la CPDP observados y predichos (recuadro inferior).



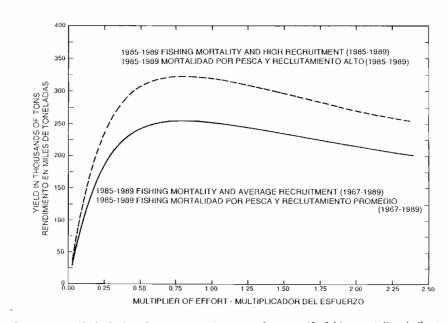
**FIGURE 69.** Relationships between effort and catch for the yellowfin fishery in the eastern Pacific Ocean during 1968–1989, for the generalized stock production (asymmetrical) model with m set at 0.8 (upper panel), and observed and predicted values of CPDF (lower panel).

**FIGURA 69.** Relación entre el esfuerzo y la captura en la pesca de aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental, 1968–1989, para el modelo general de producción del stock (asimétrico) con *m* fijado en 0.8 (recuadro superior), y valores de la CPDP observados y predichos (recuadro inferior).



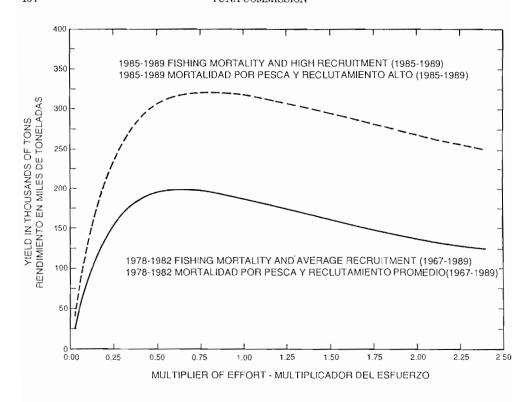


**FIGURE 70.** Yields per recruit for age-specific mortality rates of 1978–1982 and 1985–1989. **FIGURA 70.** Rendimientos por recluta para las tasas del mortalidad específica para cada edad de 1978–1982 y 1985–1989.



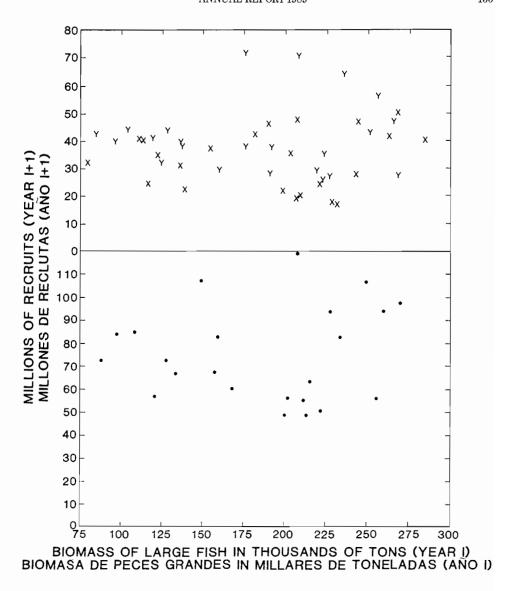
**FIGURE 71.** Yields for high and average recruitments and age-specific fishing mortality similar to that of 1985–1989.

FIGURA 71. Rendimientos correspondientes a reclutamientos elevados y medios, y mortalidad por pesca específica para cada edad similar a aquella del período 1985–1989.



**FIGURE 72.** Yields for average recruitment and age-specific fishing mortality similar to that of 1978–1982 and for high recruitment and age-specific mortality similar to that of 1985–1989.

**FIGURA 72.** Rendimientos del reclutamiento normal y mortalidad por pesca específica para cada edad similar a aquella de 1978–1982, y del reclutamiento elevado y mortalidad específica para cada edad similar a aquella de 1985–1989.



**FIGURE 73.** Relationships between stock and recruitment for yellowfin in the eastern Pacific Ocean for 1967 through 1989. The value for biomass for each dot in the lower panel is the average of an X value and a Y value in the upper panel.

**FIGURA 73.** Relación entre stock y reclutamiento para el aleta amarilla en el Oceáno Pacífico oriental entre 1967 y 1989. El valor de biomasa para cada punto en el recuadro inferior es el promedio de un valor de X y uno de Y en el recuadro superior.

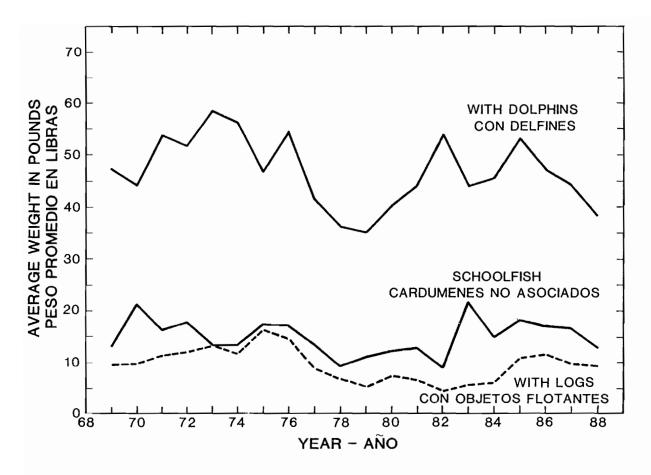
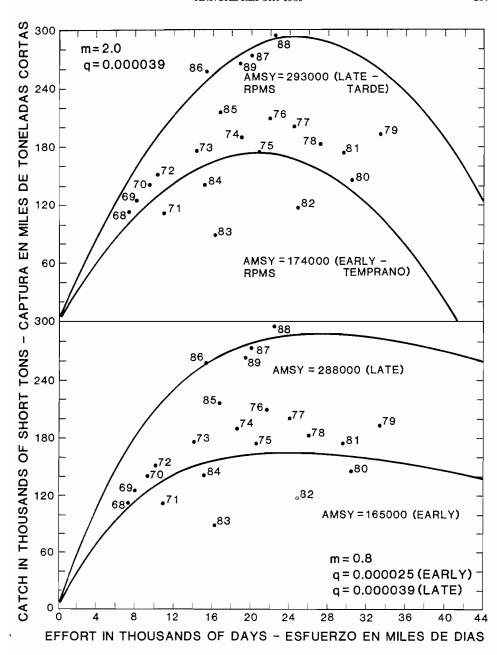
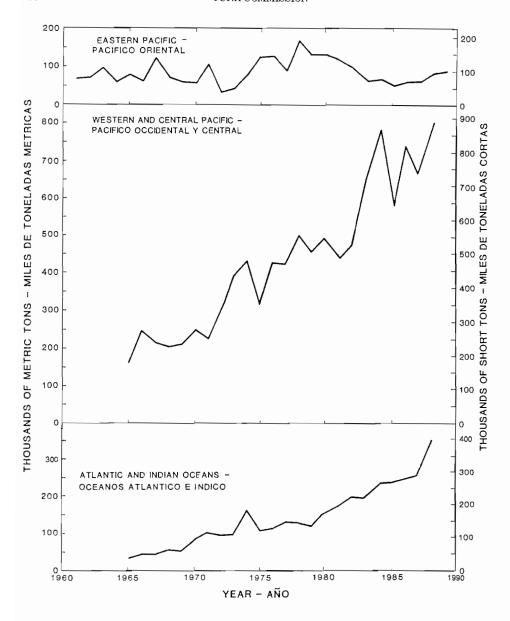


FIGURE 74. Average weights of dolphin-associated fish, log-associated fish, and "schoolfish" (fish associated only with other fish).

FIGURA 74. Peso promedio de peces asociados con delfines, con objetos flotantes, y no asociados (asociados solamente con otros peces).



**FIGURE 75.** Relationships between effort and catch for the yellowfin fishery inside the CYRA, 1968–1989, using the logistic (symmetrical) model and the generalized stock production (asymmetrical) model. **FIGURA 75.** Relación entre esfuerzo y captura para la pesca del aleta amarilla dentro del ARCAA, 1968–1989, a partir del modelo logístico (simétrico) y el modelo generalizado de producción del stock (asimétrico).



**FIGURE 76.** Catches of skipjack in the eastern Pacific Ocean, central and western Pacific Ocean, and Atlantic and Indian Oceans.

**FIGURA 76.** Capturas de barrilete en el Océano Pacífico oriental, el Océano Pacífico central y occidental, y en los Océanos Atlántico e Indico.

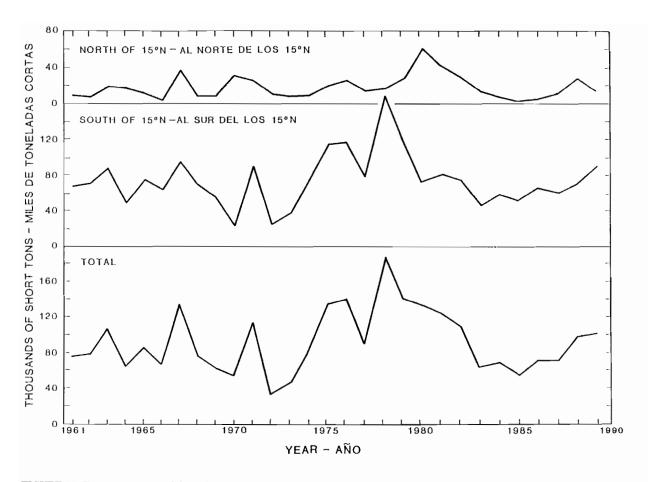
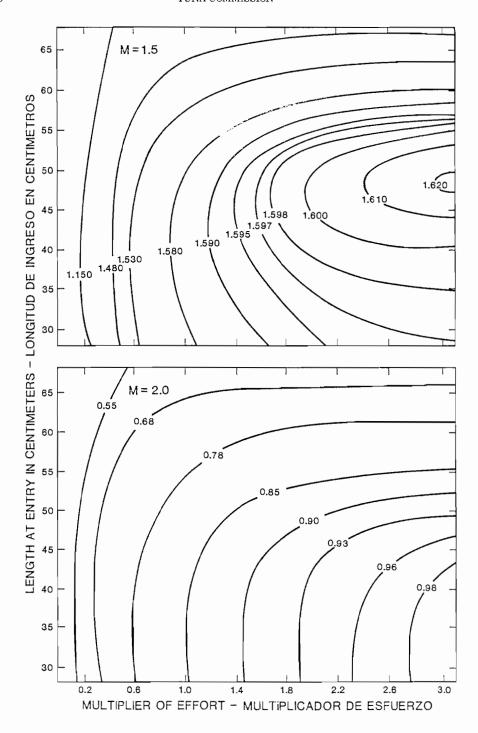
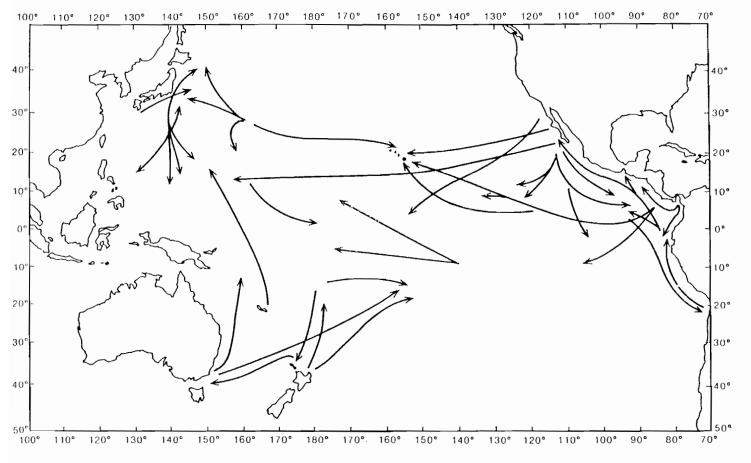


FIGURE 77. Estimated catches of skipjack in the eastern Pacific Ocean north and south of 15°N. FIGURA 77. Capturas estimadas de barrilete en el Océano Pacífico oriental, al norte y sur de 15°N.



**FIGURE 78.** Yields per recruit for skipjack with various combinations of natural attrition, fishing effort, and length at entry into the fishery.

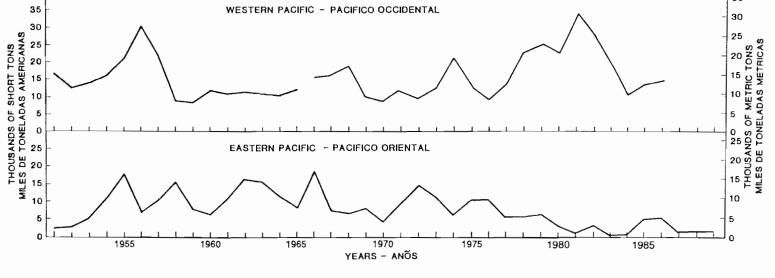
FIGURA 78. Rendimientos por recluta del barrilete con varias combinaciones de agotamiento natural, esfuerzo de pesca, y talla de ingreso a la pesquería.



 $\textbf{FIGURE 79.} \ \ \text{Some long-distance movements which have been recorded for tagged skipjack in the Pacific Ocean.}$ 

FIGURA 79. Algunas migraciones a larga distancia de barriletes marcados en el Océano Pacífico.





**FIGURE 80.** Annual catches of bluefin in the Pacific Ocean. The data in the top panel are from unpublished files of the National Research Institute of Far Seas Fisheries of Japan. The 1951–1965 data include only large fish (greater than about 15 kg or 33 pounds). The 1966–1986 data include both small and large fish. The data for the small fish were estimated from the catches of *meji* (small bluefin, bigeye, and yellowfin) by a proration process based on the catches of large bluefin, bigeye, and yellowfin. The data in the bottom panel are from Table 1.

FIGURA 80. Capturas anuales de atún aleta azul en el Océano Pacífico. Los datos en el recuadro superior provienen de archivos inéditos del National Research Institute of Far Seas Fisheries del Japón. Los datos de 1951–1965 incluyen solamente peces grandes (de peso superior a unos 15 kg/33 libras). Los datos de 1966–1986 incluyen también peces pequeños. Se estimaron los datos sobre los peces pequeños a partir de las capturas de meji (patudos y aletas amarillas y azules pequeños) por medio de un procedimiento de prorrateo basado en las capturas de ejemplares grandes de estas especies. Los datos en el recuadro inferior provienen de la Tabla 1.

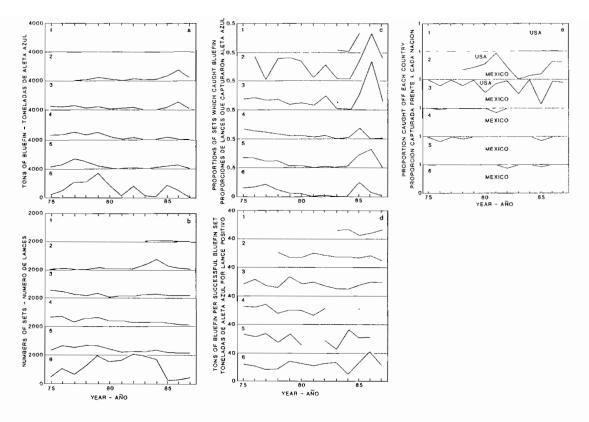
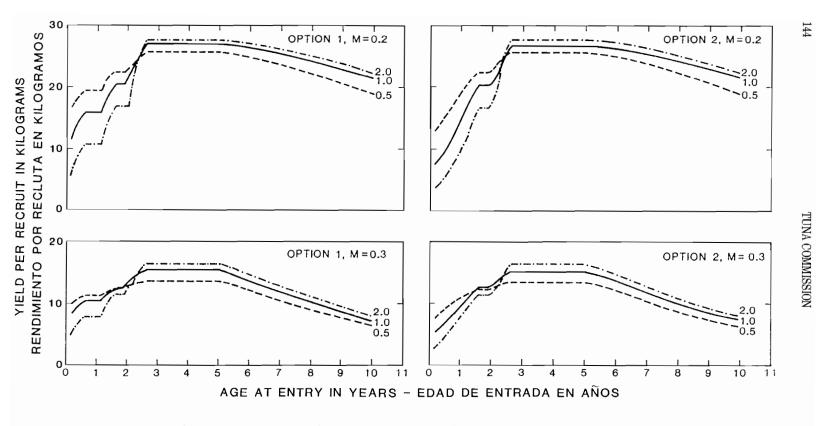


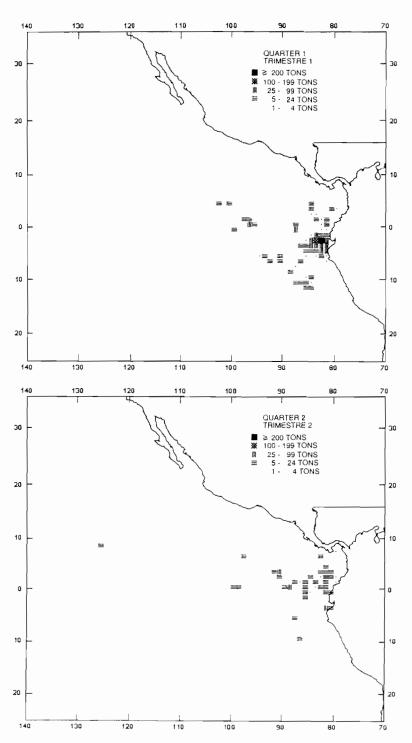
FIGURE 81. Trends in (a) tons of bluefin caught in bluefin area-time strata, (b) numbers of purse-seine sets in those strata, (c) proportions of those sets which caught bluefin, (d) tons of bluefin caught per successful bluefin set, and (e) percentages of bluefin caught off Mexico and the United States. The numbers in the upper left corners of the panels indicate the vessel size classes.

FIGURA 81. Tendencias en (a) el tonelaje de aleta azul capturado en estratos de zona-tiempo de aleta azul; (b) el número de lances cerqueros en dichos estratos; (c) la proporción de aquellos lances que capturó aleta azul; (d) el tonelaje de aleta azul capturado por lance positivo sobre aleta azul; y (e) el porcentaje de aleta azul capturado frente a México y los Estados Unidos. Las cifras en la esquina superior izquierda de los recuadros indican las clases de arqueo de los barcos.



**FIGURE 82.** Yield-per-recruit curves for northern bluefin, based on the data in Tables 33 and 34. The values 0.5, 1.0, and 2.0, represent multipliers of the vectors of fishing mortality shown in Table 33. The horizontal portions of the curves are caused by the lack of fishing effort during these periods.

FIGURA 82. Curvas de rendimiento por recluta del aleta azul del norte, basadas en los datos de las Tablas 33 and 34. Los valores de 0.5, 1.0, y 2.0 representan multiplicadores de los vectores de la mortalidad por pesca presentada en la Tabla 33. Las porciones horizontales de las curvas resultan de la falta de esfuerzo de pesca en esos períodos.



 $\textbf{FIGURE 83.} \ \ \text{Quarterly distributions of average catches of bigeye by surface gear in the eastern Pacific Ocean for the 1971–1980 period. \\$ 

**FIGURA 83.** Distribución trimestral de las capturas medias de patudo logradas por artes de superficie en el Océano Pacífico oriental durante 1971–1980.

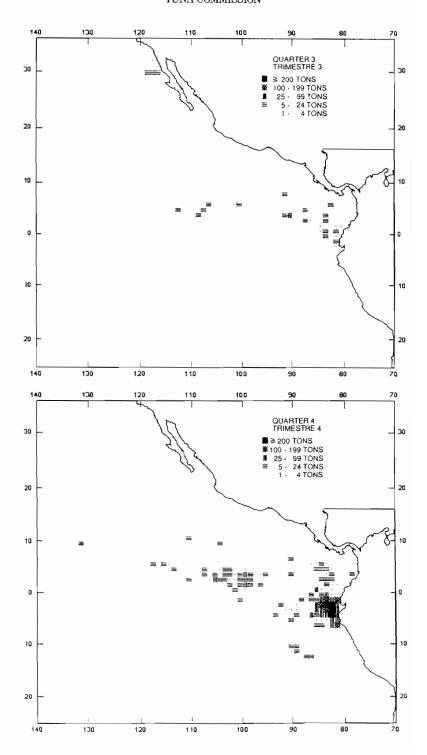
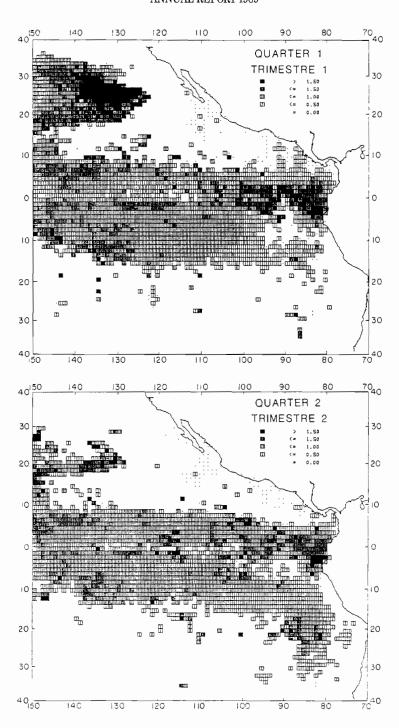


FIGURE 83. (continued)
FIGURA 83. (continuación)



 $\textbf{FIGURE 84.} \ \ Quarterly \ distributions \ of the average hook \ rates \ (numbers \ of fish \ per \ 100 \ hooks) \ of \ bigeye \ by \ longline \ vessels \ in the \ eastern \ Pacific for the \ 1971-1980 \ period.$ 

**FIGURA 84.** Distribución trimestral de las tasas medias de captura por anzuelo (número de peces por 100 anzuelos) de patudo por barcos palangreros en el Pacífico oriental, correspondiente al período 1971–1980.

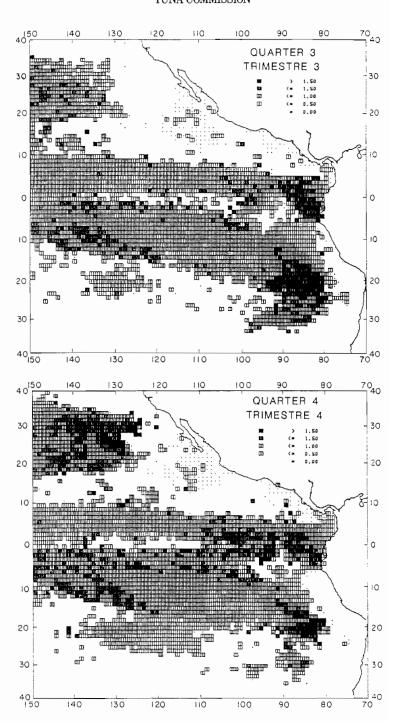
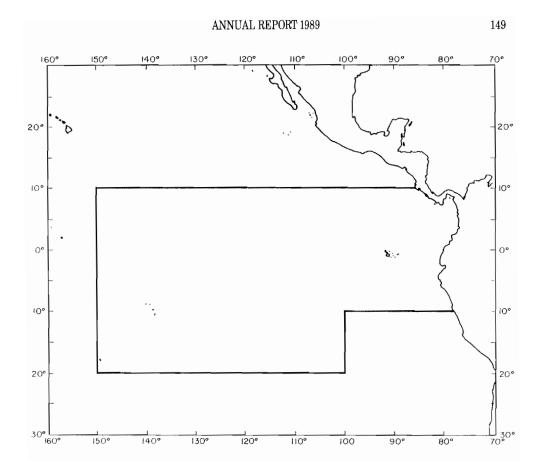
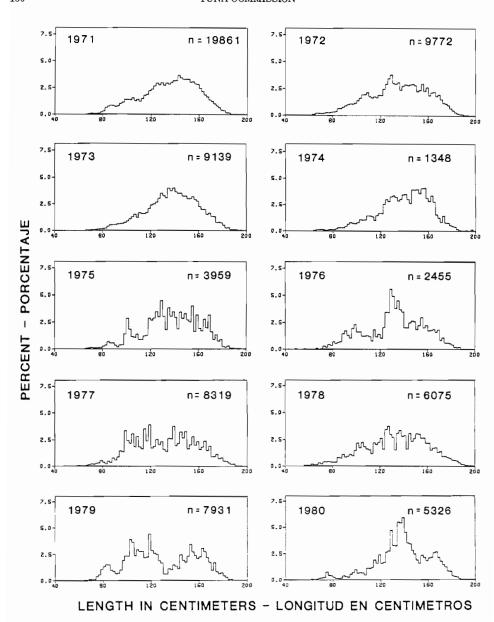


FIGURE 84. (continued)
FIGURA 84. (continuación)

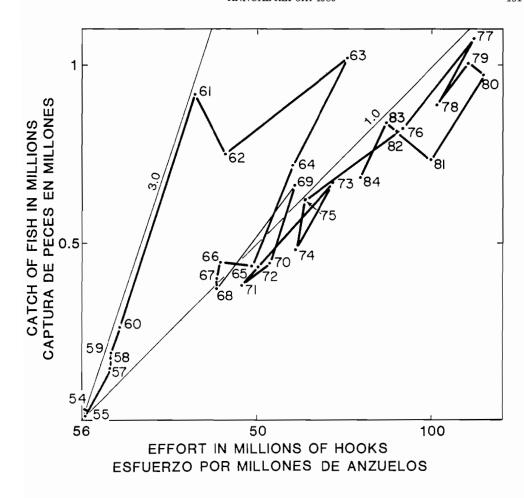


**FIGURE 85.** Area from which the data used for Figures 86 and 88 were collected. **FIGURA 85.** Zona en la que se tomaron los datos usados en las Figuras 86 y 88.



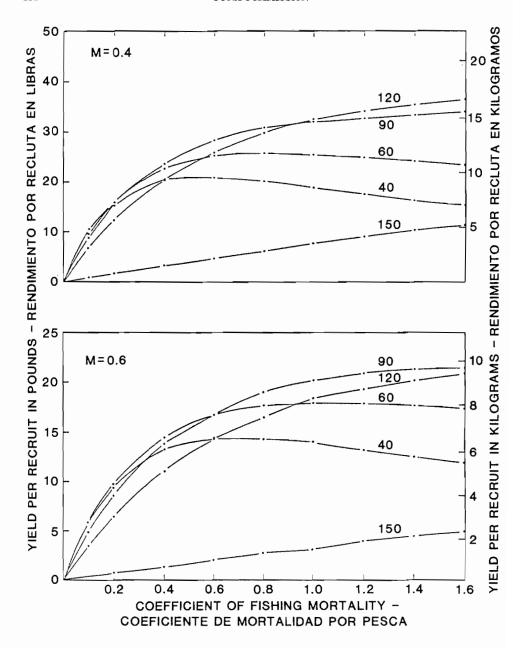
**FIGURE 86.** Annual length-frequency distributions of bigeye caught by longliners in the area delineated in Figure 85 during 1971–1980.

**FIGURA 86.** Distribución anual de frecuencia de talla del patudo capturado con palangre durante 1971–1980 en la zona delineada en la Figura 85.



 $\textbf{FIGURE 87.} \ \ \text{Relationship between estimated longline catch and effort for bigeye in the portion of the eastern Pacific Ocean delineated in Figure 85 for the 1954–1984 period. The fine lines denote CPUEs in numbers of fish per 100 hooks.$ 

**FIGURA 87.** Relación entre el esfuerzo y la captura palangrera estimada de patudo en la zona delineada en la Figura 85, durante el período 1954–1984. Las líneas finas indican la CPUE en número de peces por 100 anzuelos.



**FIGURE 88.** Estimated yields per recruit of bigeye with various combinations of fishing effort and lengths at entry for annual natural mortality rates of 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0.

**FIGURA 88.** Estimación del rendimiento por recluta del patudo con varias combinaciones del esfuerzo de pesca y tallas de ingreso para tasas de mortalidad natural de 0.4, 0.6, 0.8, y 1.0.

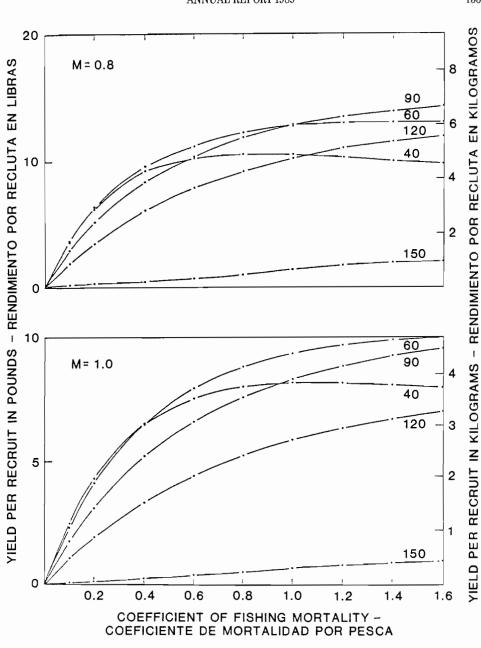


FIGURE 88. (continued)
FIGURA 88. (continuación)

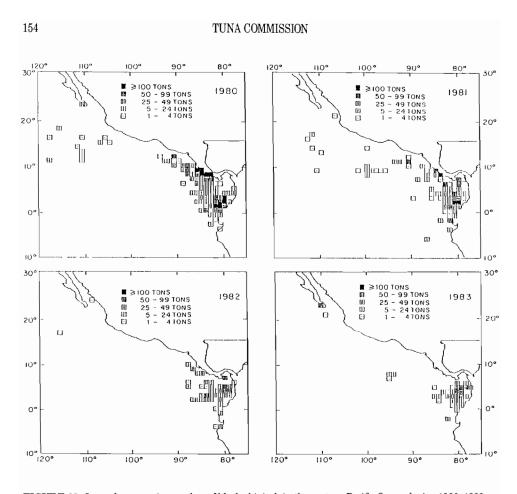


FIGURE 89. Logged purse-seine catches of black skipjack in the eastern Pacific Ocean during 1980–1983. FIGURA 89. Capturas cerqueras del barrilete negro registradas en el Océano Pacífico oriental en 1980–1983.

TABLA 1. Capturas estimadas, en toneladas cortas, logradas por la flota atunera del Pacífico oriental. En la tabla se usan las siguientes abreviaturas: YFT: aleta amarilla; SKJ: barrilete; BET: patudo; BFT: aleta azul, BEP: bonito; ALB: albacora; BKJ; barrilete negro; MISC: otras especies, incluyendo tiburones, otros túnidos, y peces diversos; ARCAA: Area de Regulación de la Comisión para el Aleta Amarilla; exterior: zona entre el ARCAA y 150°W. Los datos de 1989 son preliminares. En el texto se ofrece mayor información sobre esta tabla.

Year	CYRA ARCAA	Outside Exterior					rific Ocean eas no Pacífico al e				
Año ———	YFT	YFT	YFT	SKJ	BET	BFT	BEP	ALB	BKJ	MISC	Total
1961	113,144	0	113,144	75,465	235	8,968	3,206	2,670	0	236	203,924
1962	81,597	0	81,597	$78,\!256$	361	12,420	3,575	1,292	0	193	177,695
1963	68,374	0	68,374	105,333	83	13,528	3,442	3,772	0	265	194,797
1964	97,720	0	97,720	65,321	75	10,160	7,387	3,671	5	249	184,589
1965	86,971	0	86,971	86,195	130	7,593	4,463	710	18	171	186,249
1966	88,859	0	88,859	66,670	294	17,524	4,910	2,139	10	465	180,870
1967	88,140	0	88,140	132,999	1,834	6,491	11,072	4,133	0	127	244,797
1968	111,246	1,207	112,453	78,385	2,820	6,587	8,772	4,955	0	139	214,111
1969	122,824	19,217	142,041	65,111	635	7,635	3,252	3,246	0	1	221,920
1970	140,868	30,680	171,548	61,752	1,469	4,372	5,223	4,934	0	30	249,328
1971	112,650	22,757	135,407	115,435	2,829	9,215	10,582	2,745	6	67	276,286
1972	150,483	44,767	195,250	36,827	2,467	14,713	9,780	5,327	662	405	265,431
1973	176,746	49,507	226,253	48,451	2,181	11,844	8,668	2,553	1,845	392	302,186
1974	190,898	40,988	231,886	86,865	981	6,191	4,889	5,272	4,125	1,086	341,297
1975	175,094	47,729	222,824	136,541	4,104	10,564	18,561	3,673	563	305	397,135
1976	209,677	50,828	260,506	139,069	11,228	11,734	4,817	4,115	1,682	1,462	434,613
1977	201,366	17,792	219,158	95,171	7,777	6,033	12,428	2,164	1,607	2,149	346,487
1978.	182,967	16,037	199,005	187,184	12,912	5,950	5,331	1,923	2,383	888	415,576
1979	193,903	15,177	209,080	145,531	8,303	6,743	1,989	361	1,506	1,376	374,889
1980	145,343	29,639	174,981	143,763	16,999	3,240	6,735	661	4,057	1,050	351,486
1981	173,871	26,544	200,415	131,843	11,124	1,200	6,523	830	2,106	1,114	355,154
1982	117,778	20,079	137,857	108,781	4,522	3,472	2,339	610	1,475	863	259,918
1983	90,392	13,481	103,873	64,049	3,593	941	4,221	503	1,362	1,884	180,426
1984	141,720	18,187	159,906	66,746	6,539	972	3,873	5,899	734	1,088	245,757
1985	212,242	26,950	239,192	54,520	4,996	4,470	3,973	956	327	591	309,024
1986	251,465	44,257	295,721	70,003	2,137	5,605	540	199	656	1,256	376,118
1987	273,796	26,616	300,412	68,927	850	1,113	3,666	288	953	2,298	378,508
1988	296,006	22,857	318,863	93,997	1.164	1,547	10,535	301	1,568	2,760	430,735
1989	267,602	50,300	317,902	100,395	2,012	1,277	13,049	61	1.782	1,807	438,284

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

Year		Western Pacific Pacífico occidental			Atlantic and Atlántico			Total, all areas and species Total, todas las zonas y especies
Año	YFT	SKJ	MISC	YFT	SKJ	BET	MISC	Total, todas las zonas y especies
1961	0	0	0	14	111	0	0	204,049
1962	0	0	0	0	0	0	0	177,695
1963	0	0	0	14	1,828	0	2,985	199,623
1964	0	0	0	0	4,361	0	3,159	192,108
1965	0	0	0	50	173	0	1,390	187,862
1966	0	0	0	0	4	0	124	180,988
1967	0	0	0	1,252	542	0	858	247,448
1968	0	0	0	7,370	4,213	17	0	225,711
1969	0	0	0	20,242	5,202	163	0	247,527
1970	Õ	227	0	10,321	13,094	215	1,790	274,974
1971	0	0	0	4,540	20,157	649	1,820	303,452
1972	ő	ŏ	0	14,159	14,796	234	1,095	295,714
1973	0	0	0	4,246	25,495	125	746	332,799
1974	35	Õ	0	6.528	21,693	957	177	370,688
1975	0	363	Õ	15,884	8,308	74	910	422,675
1976	247	5,436	$^{2}$	2,509	2,841	42	469	446,158
1977	157	6,822	4	8,821	7,055	365	130	369,840
1978	24	8,050	46	11,475	9,381	274	369	445,194
1979	0	4,826	0	3,491	3,097	234	659	387,196
1980	351	6,061	0	5,540	4,269	222	32	367,962
1981	5,368	6,604	Õ	4.401	5,048	141	186	376,901
1982	6,106	13,402	66	5,502	3,276	380	243	288,893
1983	27,930	55,325	390	10,269	6,742	0	276	281,358
1984	5,877	17,971	537	7,695	5,932	3	194	283,966
1985	992	5,368	7	7,851	4,096	ő	41	327,380
1986	1,845	2,736	ó	1,068	1,767	9	15	383,557
1987	1,532	3,427	0	4,004	2,420	26	107	390,024
1988	772	2,102	433	334	202	0	0	434,578
1989	0	0	269	3,199	1,698	ŏ	$\overset{\circ}{2}$	443,452

ANNUAL REPORT 1989

**TABLE 2.** Estimates of the catches and landings of tunas in the eastern Pacific Ocean (EPO) in 1988 by species and vessel flag, in short tons. **TABLA 2.** Estimaciones de las capturas y desembarcos de atunes en el Océano Pacífico oriental (OPO) en 1988, por especie y bandera, en toneladas cortas.

Flag	Yello	owfin	Skipjack	Bigeye	Bluefin	Bonito	Albacore	Black skipjack	Other <sup>1</sup>	Total	Percentage of total
Bandera	Aleta a	marilla	Barrilete	Patudo	Aleta azul	Bonito	Albacora	Barrilete	$Otras^1$	Total	Porcentaje
	CYRA	Outside						negro			del total
					CATCHES	-CAPTURA	$\mathbf{s}$				
Ecuador	27,539	0	13,157	319	0	7	0	1,237	965	43,224	10.0
Japan	1,090	0	0	0	0	0	0	0	0	1,090	0.3
México	106,927	9,437	20,601	0	493	6,620	0	55	88	144,221	33.5
Panamá	8,385	197	1,748	315	0	0	0	133	30	10,808	2.5
Perú	1,638	0	725	0	0	0	0	0	0	2,363	0.5
USA	85,006	12,363	37,169	147	1,044	3,908	301	39	1,407	141,384	32.8
Venezuela	43,307	860	11,787	164	10	0	0	34	44	56,206	13.0
Others-Otros <sup>2</sup>	22,114	0	8,810	219	0	0	0	70	226	31,439	7.3
Total	296,006	22,857	93,997	1,164	1,547	10,535	301	1,568	2,760	430,735	
					LANDINGS-	DESEMBAR	cos				
Ecuador	33,383	0	14,628	385	0	7	0	1,127	282	49,812	11.5
France	13,305	260	2,894	141	0	0	0	0	0	16,600	3.8
Italy	38,460	4,178	684	45	39	213	0	0	0	43,619	10.1
Japan	25,610	2,543	357	0	236	0	0	0	0	28,746	6.6
México	43,796	2,352	13,666	0	345	6,418	0	0	11	66,588	15.4
Spain	14,376	230	1,221	84	0	0	0	0	0	15,911	3.7
Thailand	1,604	115	112	0	0	0	0	0	0	1,831	0.4
U.S.A.	100,121	10,888	48,257	291	916	3,889	285	9	1,054	165,710	38.3
Venezuela	16,585	91	6,453	78	10	0	0	0	0	23,217	5.4
Yugoslavia	725	0	99	0	0	0	0	0	0	824	0.2
Others-Otros <sup>3</sup>	13,959	479	5,429	245	0	0	0	214	24	20,350	4.7
Total	301,924	21,136	93,800	1,269	1,546	10,527	285	1,350	1,371	433,208	

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Includes mackerel, sharks, other tunas, and miscellaneous fishes.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Incluye estorninos, tiburones, otros túnidos, y peces diversos.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Includes El Salvador, Korea, Peru, Spain, and Vanuatu. This category is used to avoid revealing the operations of individual vessels or companies.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Incluye Corea, El Salvador, España, Perú, y Vanuatú. Se usa esta categoría para no revelar información sobre faenas de barcos o empresas individuales.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Includes Africa, Canada, Colombia, Costa Rica, and Peru. This category is used to avoid revealing the operations of individual vessels or companies.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Incluye Africa, Canada, Colombia, Costa Rica, y Perú. Se usa esta categoría para no revelar información sobre faenas de barcos o empresas individuales.

**TABLE 3.** Preliminary estimates of the catches and landings of tunas in the EPO in 1989, by species and vessel flag, in short tons. **TABLA 3.** Estimaciones preliminares de las capturas y desembarcos de atunes en el OPO en 1989, por especie y bandera, en toneladas cortas.

Flag	Yello	wfin	Skipjack	Bigeye	Bluefin	Bonito	Albacore	Black skipjack	Other <sup>1</sup>	Total	Percentage of total
Bandera	Aleta a	marilla	Barrilete	Patudo	Aleta azul	Bonito	Albacora	Barrilete	$Otras^1$	Total	Porcentaje
	CYRA (							negro			del total
					CATCHES	-CAPTURA	S				
Ecuador	19,691	0	25,735	1,058	0	0	0	835	719	48,038	11.0
Japan	104	0	0	0	0	0	0	0	0	104	0.0
México	104,632	26,446	18,760	0	62	12,181	0	42	27	162,150	37.0
Panamá	11,427	373	3,295	0	0	0	0	60	0	15,155	3.5
U.S.A.	66,842	20,379	21,780	141	1,215	868	61	122	591	111,999	25.6
Venezuela	48,077	3,095	15,040	223	0	0	0	414	99	66,948	15.3
Others-Otros <sup>2</sup>	16,829	7	15,785	590	0	0	0	309	371	33,891	7.7
Total	267,602	50,300	100,395	2,012	1,277	13,049	61	1,782	1,807	438,285	
					LANDINGS-	DESEMBAR	cos				
Canada	27	355	15	0	0	0	0	0	0	397	0.1
Ecuador	20,971	7	30,393	1,098	0	0	0	555	575	53,599	12.5
France	5,454	590	141	28	0	0	0	0	0	6,213	1.4
Italy	18,996	7,865	165	0	0	0	0	0	0	27,026	6.3
Japan	12,363	993	0	0	193	0	0	0	0	13,549	3.2
México	55,924	13,029	14,151	0	62	8,758	0	1	25	91,950	21.4
Spain	6,113	325	1,605	22	0	0	0	0	0	8,065	1.9
U.S.A.	104,326	23,738	38,759	698	1,022	868	77	0	543	170,031	39.6
Venezuela	13,964	1,241	7,866	61	0	0	0	0	0	23,132	5.4
Yugoslavia	31	0	6	0	0	497	0	0	0	534	0.1
Others-Otros <sup>3</sup>	21,936	2,781	6,987	33	0	2,887	0	229	6	34,859	8.1
Total	260,105	50,924	100,088	1,940	1,277	13,010	77	785	1,149	429,355	

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Includes mackerel, sharks, other tunas, and miscellaneous fishes.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Incluye estorninos, tiburones, otros túnidos, y peces diversos.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Includes El Salvador, Korea, Spain, and Vanuatu. This category is used to avoid revealing the operations of individual vessels or companies.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Incluye Corea, El Salvador, España, y Vanuatú. Se usa esta categoría para no revelar información sobre faenas de barcos o empresas individuales.

<sup>3</sup> Includes Australia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, and Thailand. This category is used to avoid revealing the operations of individual vessels or companies.

Incluye Australia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, e Tailandia. Se usa esta categoría para no revelar información sobre faenas de barcos o empresas individuales.

**TABLE 4.** Numbers and carrying capacities, in short tons, of vessels of the eastern Pacific tuna fleet. *Bolicheras* are small purse seiners with limited ranges. Information for 1950-1960 is given in Table 4 of the IATTC Annual Report for 1988. The 1989 data are preliminary.

**TABLA 4.** Número y capacidad de acarreo, en toneladas cortas, de los barcos de la flota atunera del Pacífico oriental. Las *bolicheras* son cerqueros pequeños con radio de acción limitado. En la Tabla 4 del Informe Anual de la CIAT de 1988 se presentan los datos de 1950-1960. Los datos de 1989 son preliminares.

Year		einers equeros		tboats arnada	Boli	icheras		ollers ricanes	Т	'otal
Año	No.	Tons	No.	Tons	No.	Tons	No.	Tons	No.	Tons
1961	124	30,011	93	10,510	1	25	0	0	218	40,546
1962	130	33,945	89	6,725	27	675	0	0	246	41,345
1963	141	39,834	108	5,964	18	450	3	55	270	46,303
1964	134	40,307	88	4,712	3	65	0	0	225	45,084
1965	146	42,283	109	5,777	17	395	7	182	279	48,637
1966	126	39,869	113	6,217	7	140	2	29	248	46,255
1967	122	40,221	108	5,862	8	170	0	0	238	46,253
1968	139	50,613	89	5,743	4	100	2	24	234	56,480
1969	149	57,008	69	4,957	4	95	3	71	225	62,131
1970	162	67,508	49	4,302	0	0	9	177	220	71,987
1971	185	88,770	102	5,569	6	150	66	1,514	359	96,003
1972	206	112,361	108	6,707	4	100	74	1,946	392	121,114
1973	216	131,910	106	6,856	3	75	28	729	353	139,570
1974	230	146,990	111	7,766	4	110	7	150	352	155,016
1975	249	163,766	102	7,403	4	105	9	181	364	171,455
1976	250	176,469	99	7,071	4	115	38	909	391	184,564
1977	250	178,813	79	5,436	3	87	37	953	371	185,289
1978	262	180,781	68	5,044	9	272	50	1,303	389	187,400
1979	268	183,673	45	3,979	14	405	5	112	332	188,169
1980	258	184,647	46	3,838	12	355	4	106	320	188,840
1981	247	183,729	39	3,063	3	72	2	55	291	186,919
1982	221	167,780	36	2,713	2	60	4	131	263	170,684
1983	199	137,842	52	3,470	12	300	8	244	271	141,856
1984	165	113,168	40	3,055	0	0	9	232	214	116,455
1985	175	127,272	25	2,424	0	0	1	14	201	129,710
1986	165	122,564	17	1,939	0	0	0	0	183	124,503
1987	177	143,765	29	2,237	0	0	0	0	206	146,002
1988	185	148,227	36	3,081	0	0	3	70	224	151,378
1989	172	133,478	30	3,000	0	0	0	0	202	136,478

**TABLE 5.** Numbers and carrying capacities, in short tons, of vessels (exclusive of longliners and miscellaneous small vessels) operating in the eastern Pacific Ocean by year, flag, gear (PS = purse seiner; BB = baitboat; JB = jigboat), and size class. Each vessel is included in the totals for each flag under which it fished during the year, but is included only once in the fleet total. Therefore the totals for the fleet may not equal the sums of the individual flag entries. The data for 1989 are preliminary.

TABLA 5. Número de barcos que pescaron en el Océano Pacífico oriental por año (sin incluír palangreros y barcos pequeños diversos), y capacidad de acarreo de los mismos, en toneladas cortas, por bandera, arte de pesca, (PS = cerquero; BB = barco de carnada; JB = curricán), y clase de arqueo. Se incluye cada barco en los totales de cada bandera bajo la cual pescó durante el año, pero solamente una vez en el total de la flota. Es posible por lo tanto que los totales de la flota no equivalgan a las sumas de las bandera individuales. Los datos de 1989 son preliminares.

Flag	Gear			Size cla	ass-Clas	se de arqu	eo		Capacity
Bandera	Arte	1	2	3	4	5	6	Total	Capacidad
1988			_		NUMBE	R-NUME	RO		
Ecuador	PS	1	5	11	6	2	6	31	7,995
	BB	8	-	-	-	-	-	8	227
El Salvador	PS	-	-	_	-		2	$^2$	*
Korea	PS	-	-		-	-	1	1	*
México	PS	-	3	1		<b>2</b>	49	55	52,413
	BB	-	5	11	-	-	-	16	1,916
Panamá	PS	-		1	-	-	5	6	5,213
Spain	PS	-	-	-	-	-	1	1	*
ÚSA	PS	_	14	4	1	1	40	60	44,568
	BB	4	6	2	_		-	12	938
	JB	3	-	_	_		-	3	70
Vanuatu	PS		-	_	-	1	5	6	*
Venezuela	PS						25	25	29,685
тепедаета	1.0						20	20	20,000
All flags —	PS	1	22	17	7	6	132	185	
Todas las	BB	12	11	13				36	
banderas	JB	3		-		_	_	3	
	All gear	16	33	30	7	6	132	224	
					~				
A 11 . G	DO	*0		APACITY -			140.100	1.40.005	
All flags—	PS	50	1,769	2,374	1,684	2,242	140,108	148,227	
Todas las	BB	372	896	1,813	•	-	-	3,081	
banderas	JB	70		-	-		-	70	
	All gear	492	2,665	4,187	1,684	2,242	140,108	151,378	
1989					NUMBE	R-NUME	CRO		
Costa Rica	PS	-	-	-	-	-	-	-	*
Ecuador	$_{\mathrm{PS}}$	-	5	10	6	$^2$	8	31	9,070
	$^{\mathrm{BB}}$	5	-	•		-	5	5	132
El Salvador	$_{\mathrm{PS}}$	-	-		-	-	1	1	*
Korea	PS	-	-	-	-	-	1	1	*
México	PS	-	-	$^2$	-	$^2$	48	52	50,753
	BB	-	3	13	-	-	-	16	2,029
Panamá	PS	-	-	-	1	-	6	7	6,240
Spain	PS	-	-	-	-	-	1	1	*
USA	$_{\mathrm{PS}}$	$^2$	13	5	-	1	30	51	33,009
	BB	1	6	2	-	-	-	9	839
Vanuatu	PS	-	-	-	-	1	7	8	*
Venezuela	PS	-	-	-		-	21	21	24,749
All flags —	PS	2	18	17	7	6	122	172	
Todas las	BB	$\overline{6}$	9	15		-		30	
banderas	All gear	8	27	32	7	6	122	202	
			C	APACITY -	_ CAPAC	'IDAD			
All flags—	PS	75	1,562	2,426	1,629	2,242	125,544		
Todas las	BB	162	731	2,107	1,020	2,2-12	120,011		
banderas	All gear	237	2,293	4,533	1,629	2,242	125,544		
	All gear								

<sup>\*</sup> Indicate data pooled to avoid revealing the operations of individual vessels or companies.

<sup>\*</sup> Indican datos combinados para evitar revelar las actividades de barcos o empresas individuales.

**TABLE 6.** Catches per ton of carrying capacity by vessel size group for the EPO purse-seine fleet, by species, in the EPO and in all ocean fishing areas (OFA). The size groups, by capacity in short tons, are as follows: 1, <301; 2, 301-400; 3, 401-600; 4, 601-800; 5, 801-1000; 6, 1001-1200; 7, 1201-1400; 8, >1400. The abbreviations for the species are as follows: YFT, yellowfin; SKJ, skipjack; All, all species reported. The 1989 data are preliminary. **TABLA 6.** Captura por tonelada de capacidad de acarreo y por clase de arqueo de la flota cerquera del OPO, por especie, en el OPO y en todas las áreas pesqueras oceánicas (All OFA). Las clases de arqueo, por capacidad en toneladas cortas, son las siguientes: 1, <301; 2, 301-400; 3, 401-600; 4, 601-800; 5, 801-1000; 6, 1001-1200; 7, 1201-1400; 8, >1400. Las abreviaturas de las especies son: YFT: aleta amarilla; SKJ: barrilete. "All" = todas las especies informadas. Los datos de 1989 son preliminares.

												ch area de cap							
	Species Especie	]	l	2	2	8	3	,	1	ł	5		3	,	7		3	То	tal
		EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA	EPO OPO	All OFA
1979	YFT SKJ All	1.5 1.3 3.2	1.5 1.3 3.2	1.6 0.9 2.8	1.6 0.9 2.8	1.3 0.5 2.0	1.3 0.5 2.0	1.4 0.9 2.4	1.4 0.9 2.4	0.8 0.5 1.4	0.8 0.5 1.4	1.1 0.8 1.9	1.1 0.8 2.1	$\frac{1.2}{0.7}$	1.2 0.7 2.0	0.6 0.5 1.2	0.6 0.6 1.3	1.1 0.7 2.0	1.1 0.8 2.0
1980	YFT SKJ All	0.8 0.5 2.2	$0.8 \\ 0.5 \\ 2.2$	1.1 0.9 2.3	1.1 0.9 2.3	0.9 0.8 1.8	$0.9 \\ 0.8 \\ 1.8$	1.2 1.0 2.2	1.2 $1.0$ $2.2$	0.6 0.4 1.1	0.6 0.4 1.2	0.9 0.8 1.8	1.0 0.8 1.9	$1.1 \\ 0.9 \\ 2.1$	1.1 1.0 2.2	0.8 0.6 1.5	0.9 0.7 1.7	0.9 0.7 1.8	1.0 0.8 1.9
1981	YFT SKJ All	1.1 1.0 3.0	1.1 1.0 3.0	1.2 1.1 2.6	1.2 1.1 2.6	0.9 0.7 1.6	0.9 0.7 1.7	1.3 0.9 2.2	1.3 0.9 2.2	1.0 0.4 1.5	1.0 0.4 1.5	1.2 0.7 1.9	1.2 0.7 2.0	1.0 0.6 1.7	1.2 0.8 2.0	0.6 0.4 1.0	0.7 0.6 1.4	1.1 0.7 1.9	1.1 0.7 2.0
1982	YFT SKJ All	0.8 1.9 3.3	0.8 1.9 3.3	0.8 1.3 2.5	0.8 1.3 2.5	0.7 0.7 1.5	$0.7 \\ 0.7 \\ 1.5$	0.7 0.6 1.3	$0.7 \\ 0.6 \\ 1.3$	$0.6 \\ 0.4 \\ 1.0$	$0.7 \\ 0.5 \\ 1.2$	0.9 0.5 1.5	1.0 0.6 1.7	$0.9 \\ 0.7 \\ 1.6$	0.9 0.7 1.7	$0.7 \\ 0.2 \\ 0.9$	0.9 0.7 1.8	0.8 0.6 1.5	0.9 0.7 1.7
1983	YFT SKJ All	1.2 1.7 3.7	1.2 1.7 3.7	1.0 0.9 2.0	1.0 0.9 2.0	0.7 0.5 1.2	$0.7 \\ 0.5 \\ 1.2$	0.7 0.4 1.1	0.7 0.4 1.1	0.8 0.4 1.3	1.0 0.5 1.5	0.7 0.3 1.0	1.1 1.0 2.1	0.6 0.3 0.9	0.8 0.9 1.7	0.3 0.1 0.3	0.9 0.9 1.8	0.7 0.4 1.2	1.0 0.9 1.9
1984	YFT SKJ All	1.8 1.9 5.0	1.8 1.9 5.0	$1.9 \\ 1.6 \\ 3.9$	1.9 1.6 3.9	$1.2 \\ 0.7 \\ 2.0$	$1.2 \\ 0.7 \\ 2.0$	$1.7 \\ 0.6 \\ 2.3$	$1.7 \\ 0.6 \\ 2.3$	$1.5 \\ 0.5 \\ 2.2$	1.6 0.6 2.3	$\frac{1.4}{0.4}$	$\frac{1.6}{0.8}$ $\frac{2.5}{0.8}$	$1.0 \\ 0.3 \\ 1.3$	1.1 0.6 1.7	0.2 0.3 0.6	$0.6 \\ 0.6 \\ 1.2$	$\frac{1.4}{0.6}$	$\frac{1.5}{0.8}$ $\frac{2.4}{0.8}$
1985	YFT S <b>KJ</b> All	$\frac{1.4}{2.1}$ $\frac{4.7}{4.7}$	$\frac{1.4}{2.2}$ $\frac{4.7}{4.7}$	1.1 1.5 3.0	1.1 1.5 3.0	1.2 0.3 1.9	$1.2 \\ 0.3 \\ 1.9$	$1.6 \\ 0.4 \\ 2.1$	$1.6 \\ 0.4 \\ 2.1$	1.4 0.1 1.5	1.6 0.1 1.8	$\frac{2.1}{0.3}$ $\frac{2.4}{0.3}$	$\frac{2.1}{0.4}$ $\frac{2.6}{0.4}$	$\begin{array}{c} 2.1 \\ 0.1 \\ 2.2 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2.1 \\ 0.1 \\ 2.3 \end{array}$	1.3 1.0 2.4	1.6 1.1 2.7	$1.9 \\ 0.4 \\ 2.4$	1.9 0.5 2.5
1986	YFT SKJ All	2.0 2.4 5.3	2.0 2.4 5.3	1.8 2.0 4.3	1.8 2.0 4.3	1.5 0.6 2.4	1.5 0.6 2.4	2.0 0.5 2.5	2.0 0.5 2.5	$\frac{2.0}{0.5}$ $\frac{2.5}{2.5}$	2.0 0.5 2.5	2.5 0.4 3.0	2.6 0.5 3.1	2.6 0.1 2.8	2.7 0.2 3.0	2.1 0.9 3.0	2.1 0.9 3.0	2.4 0.6 3.0	2.4 0.6 3.1
1987	YFT SKJ All	2.0 2.0 5.0	2.0 2.0 5.0	2.1 3.2 5.4	2.1 3.2 5.4	1.2 1.2 2.4	1.4 1.5 2.9	1.8 0.6 2.4	1.8 0.6 2.4	1.4 0.5 2.0	1.5 0.6 2.1	2.2 0.3 2.5	2.3 0.3 2.6	$\frac{2.4}{0.2}$ $\frac{2.6}{0.2}$	2.4 0.2 2.7	1.1 0.3 1.4	1.4 0.6 2.0	2.1 0.4 2.6	2.1 0.5 2.7
1988	YFT SKJ All	2.8 1.7 5.7	2.8 1.7 5.7	3.3 1.4 5.4	3.3 1.4 5.4	1.9 0.8 2.8	1.9 0.8 2.8	2.2 0.6 3.0	2.2 0.6 3.0	1.5 0.5 2.0	1.5 0.5 2.1	2.1 0.5 2.7	2.2 0.5 2.7	2.1 0.6 2.7	2.1 0.6 2.7	1.1 0.2 1.3	1.2 0.5 1.7	2.1 0.6 2.8	2.1 0.6 2.8
1989	YFT SKJ All	1.7 1.9 4.3	1.7 1.9 4.3	2.4 2.3 5.9	2.4 2.3 5.9	1.9 1.3 3.4	1.9 1.3 3.4	2.0 0.7 3.1	2.0 0.7 3.1	1.5 0.8 2.5	1.5 0.8 2.5	2.5 0.6 3.1	2.5 0.6 3.2	2.6 0.5 3.1	2.6 0.5 3.1	1.4 0.6 2.0	1.7 0.9 2.6	2.3 0.7 3.2	2.3 0.7 3.2

 $\textbf{TABLE 7.} \ \ \textbf{Search classifications.} \ \ \textbf{YF: yellowfin; SJ: skipjack.}$ 

TABLA 7. Clasificaciones de búsqueda. YF: aleta amarilla; SJ: barrilete.

Search classification Clasificación de búsqueda	Set type at the end of the search Tipo de lance al fin de la búsqueda	Previous set type Tipo de lance anterior	Mixed YF+SJ or pure YF at the end of the search YF+SJ mixto o YF puro al fin de la búsqueda
1	schoolfish cardumen	schoolfish cardumen	YF
2	dolphin delfin	dolphin delfin	YF
3	floating object objeto flotante	floating object objeto flotante	YF
4	schoolfish cardumen	schoolfish cardumen	YF + SJ
5	dolphin delfin	dolphin delfîn	YF + SJ
6	floating object objeto flotante	floating object objeto flotante	YF + SJ
7	different from previous set diferente al lance anterior	different from set type at end of search diferente al tipo de lance al fin de la búsqueda	YF or-o YF+SJ

**TABLE 8.** Coefficients of variation (percentages) of 1,000 estimates of the number of fish in each of nine cohorts, using three different sampling methods and different combinations of sample size (m) and number of wells sampled (n).  $p_j$  = the percentage of all wells (25) in which cohort j appears.

**TABLA 8.** Coeficientes de variación (porcentajes) de 1,000 estimaciones del número de peces en cada una de nueve cohortes, usando tres métodos de muestreo distintos y varias combinaciones de tamaño de muestreo (m) y número de bodegas muestreadas (n).  $p_j = \text{porcentaje}$  de todas las bodegas (25) en las cuales aparece la cohorte j.

		Cohorte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
de	tamañ	ge – Rango nos (cm)	34–52	53-72	73–92	93-112	113-127	128-144	145–156	157-167	168–175
		of fish — de peces $p_j$	2,806 56	20,352 92	26,301 100	10,868 100	6,288 100	4,462 92	1,142 80	302 52	52 28
m	n	Method - Método									
15	50	II III	75 81 90	33 35 36	20 20 20	$   \begin{array}{c}     19 \\     20 \\     22   \end{array} $	16 18 19	$   \begin{array}{c}     19 \\     20 \\     22   \end{array} $	32 35 37	51 59 63	$155 \\ 184 \\ 203$
	75	I II III	67 68 82	32 33 36	18 20 20	18 20 22	16 16 18	18 20 20	30 31 35	45 49 60	131 170 187
	100	III II	64 71 83	30 33 36	18 19 20	18 21 21	16 17 18	18 19 21	28 30 33	41 44 52	116 144 185
20	50	III II	50 56 65	22 23 26	12 13 14	13 15 17	12 13 14	13 15 15	22 26 28	41 47 50	137 159 178
	75	III II	46 46 63	20 22 25	12 13 14	12 14 15	11 12 14	12 12 14	22 22 26	35 40 45	112 140 160
	100	I II III	43 46 64	20 22 25	11 13 14	12 14 14	10 12 13	12 13 14	19 21 25	32 34 42	96 120 167
23	50	III II	38 45 56	15 17 20	8 10 11	9 11 13	9 10 12	9 10 12	18 20 24	37 40 46	124 152 168
	75	III II	33 38 52	13 15 19	7 9 10	8 10 12	8 9 11	8 10 11	15 18 21	31 35 41	103 134 153
	100	II II	30 33 51	13 14 19	$\begin{array}{c} 7 \\ 9 \\ 10 \end{array}$	7 10 12	7 9 10	8 9 10	14 16 20	26 21 37	89 118 148
25	50	III II	29 37 49	10 12 17	5 7 8	6 9 11	7 9 10	7 8 10	15 18 20	34 39 44	124 144 151
	75	I II III	24 28 46	8 10 15	4 6 7	5 8 10	6 7 9	5 7 8	12 15 18	28 32 38	102 121 143
	100	I II III	20 23 43	6 9 15	3 6 7	$\begin{array}{c} 4\\7\\10\end{array}$	5 6 8	4 6 8	11 12 16	24 27 35	89 106 148

**TABLE 9.** Percent bias of the mean of 1,000 estimates of the number of fish in each of nine cohorts, using three different sampling methods and different combinations of sample size (m) and number of wells sampled (n).  $p_j$  = the percentage of all wells (25) in which cohort j appears.

**TABLA 9.** Porcentaje de sesgo del promedio de 1,000 estimaciones del número de pecees en cada una de nueve cohortes, usando tres métodos de muestreo distintos y varias combinaciones de tamaño de muestreo (m) y número de bodegas muestreadas (n).  $p_j =$  porcentaje de todas las bodegas (25) en las cuales aparece la cohorte j.

		Cohorte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rai	_	tamaños (cm)	34–52	53-72	73–92	93–112	113–127	128-144	145–156	157–167	168–175
		of fish — le peces $p_j$	2,806 56	20,352 92	26,301 100	10,868 100	6,288 100	4,462 92	1,142 80	302 52	52 28
m 15	n 50	Method — Método I II III	- 3 - 4 14	$-1 \\ 0 \\ 9$	0 3 3	1 0 0	1 1 0	0 0 - 2	0 - 5 - 7	- 4 - 7 - 8	-10 -17 -26
	75	II III	2 4 12	$\begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 8 \end{array}$	1 3 3	1 -1 -2	-1 -1 0	- 1 - 1 - 2	- 2 - 3 - 6	- 4 - 2 - 8	- 12 - 16 - 19
	100	I II III	5 - 7 12	2 -1 6	0 3 2	-1 0 0	0 0 0	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -2 \end{array}$	- 2 - 4 - 4	- 2 - 2 - 7	$   \begin{array}{r}     -9 \\     -7 \\     -22   \end{array} $
20	50	III II	4 3 18	3 3 9	3 3 2	0 0 0	- 1 0 0	- 1 - 2 - 3	- 1 - 4 - 7	- 4 - 5 - 8	-14 - 9 -24
	75	II II	1 3 9	$\begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 7 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 4 \end{array}$	0 0 0	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -1 \end{array}$	- 1 - 1 - 2	- 1 - 5 - 7	- 4 - 5 -10	$     \begin{array}{r}       -11 \\       -6 \\       -19     \end{array} $
	100	I II III	- 3 - 12	$\begin{array}{c} 2 \\ 0 \\ 7 \end{array}$	$\begin{matrix} 0 \\ 3 \\ 2 \end{matrix}$	0 -1 0	0 0 0	0 - 1 - 2	0 - 4 - 6	- 2 - 2 - 9	- 4 - 5 -18
23	50	III III	3 2 21	2 3 9	1 3 3	0 -1 0	- 1 0 0	0 - 1 - 2	- 1 - 5 - 8	- 5 - 5 -10	- 4 - 5 -19
	75	I II III	3 - 1 14	$\begin{array}{c}2\\2\\7\end{array}$	$\begin{matrix} 0\\4\\2\end{matrix}$	0 0 0	$\begin{array}{c} 0 \\ -1 \\ 0 \end{array}$	0 - 2 - 2	- 1 - 5 - 5	- 3 - 2 -10	$   \begin{array}{r}     -8 \\     -9 \\     -19   \end{array} $
	100	I II III	3 - 1 14	2 1 7	1 3 3	0 0 0	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -1 \end{array}$	- 1 - 1 - 2	- 1 - 5 - 6	- 2 - 2 - 6	-10 -11 -15
25	50	I II III	3 2 17	2 4 8	1 3 3	0 0 0	0 0 0	- 1 - 1 - 2	- 2 - 6 - 7	- 3 - 6 - 9	-12 -15 -25
	75	I II III	$\begin{array}{c} 4 \\ 0 \\ 12 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2 \\ 1 \\ 7 \end{array}$	1 3 3	0 0 0	0 0 -1	0 - 1 - 2	- 2 - 5 - 6	- 3 - 1 - 7	$   \begin{array}{r}     -7 \\     -6 \\     -21   \end{array} $
	100	I II III	- 3 - 9	1 0 7	1 2 3	0 -1 0	0 0 0	0 0 - 2	- 1 - 4 - 6	- 2 - 1 - 6	-10 $1$ $-20$

**TABLE 10.** Recruitment estimates at the beginning of their first quarter for completely-fished cohorts and coefficients of variation (CV) for recruitment and for quarterly estimates of cohort size.

TABLA 10. Estimaciones del reclutamiento, al comienzo de su primer trimestre, de cohortes completamente pescadas y coeficientes de variación (CV) del reclutamiento y de las estimaciones trimestrales del tamaño de la cohorte.

Cohort- Cohorte		X81	Y82	X82	Y83	X83	Y84	X84
Recruits— Reclutas (x10 <sup>-3</sup> )		27,002	20,453	22,160	30,385	30,165	34,662	34,662
CVs for recruitment- CV del reclutamiento		7	4	4	3	3	3	8
	CVs for cohe	ort size-C	V del tar	naño de l	a cohort	e		
Age group Grupo de edad	Quarter Trimestre							
- I	1	9	18	9	8	8	6	13
	2	6	11	7	4	5	15	4
	3	9	6	7	6	4	8	5
	4	11	6	24	5	8	9	7
II	5	19	26	32	16	12	8	25
	6	20	22	17	16	22	6	11
	7	33	16	23	11	21	8	10
	8	34	14	16	14	10	9	12
III	9	26	23	22	23	10	9	9
	10	20	16	15	10	9	13	11
	11	17	30	21	11	12	9	11
	12	17	15	11	14	10	13	13
IV	13	28	22	11	16	15	16	15
	14	17	14	22	13	13	21	17
	15	20	15	20	15	21	16	15
	16	18	27	20	18	20	21	91
V	17		103		38		28	

**TABLE 11.** Quarterly coefficients of variation for different cohorts, or age groups, for the 1988 landings of yellowfin, based on a sample size of 50 fish and different numbers of sampled vessels, n. The overall percentage of wells that a cohort appeared in during 1988 is represented by  $p_c$ .

**TABLA 11.** Coeficientes de variación trimestrales de distintas cohortes, o grupos de edad, de los descargues de aleta amarilla de 1988, basados en muestras de 50 peces y varios números de barcos muestreados, n. El porcentage general de bodegas en el cual apareció una cohorte en 1988 es representado por  $p_c$ .

Cohort: $p_c$ :	X-0 1	Y-0 6	X-I 47	Y-1 74	X-II 61	Y-II 47	X-III 41	Y-III 31	X-IV 21	Y-IV 9	X-V 2
n							_				
125	143	44	20	10	18	22	23	23	28	43	83
150	129	40	18	9	16	20	20	21	25	39	76
175	118	36	17	8	15	18	19	19	23	36	70
200	108	33	15	7	14	17	17	17	21	33	65
225	101	31	14	7	13	15	16	16	20	31	61
250	94	29	13	6	12	14	15	15	18	29	58
275	88	27	12	6	11	14	14	14	17	27	55
300	83	26	12	6	11	13	13	13	16	26	53

**TABLE 12.** Estimated numbers of bluefin, in thousands, caught in the western and eastern Pacific Oceans. **TABLA 12.** Número estimado de aletas azules, en millares, capturados en el Océano Pacífico occidental y oriental.

		tern Pacific O o Pacífico occ		Eastern Pacific Ocean Océano Pacífico oriental		
Year class Generación anual	Age 0 Edad 0	Age 1 Edad 1	Age 2 Edad 2	Age 1 Edad 1	Age 2 Edad 2	
1958	_	_	_	17	47	
1959	_	_		24	298	
1960	_		_	577	450	
1961	_	_	-	990	529	
1962	-	_	-	501	202	
1963		_	_	982	288	
1964	_	_	91	333	715	
1965		266	3	622	308	
1966	1270	461	1	97	155	
1967	3607	964	78	416	311	
1968	2300	371	48	290	256	
1969	2970	378	2	13	556	
1970	1938	443	15	366	_	
1971	3316	682	20	_	458	
1972	498	124	28	810	407	
1973	4875	1403	46	163	529	
1974	3953	676	96	439	173	
1975	1277	222	61	483	211	
1976	1784	698	151	50	94	
1977	2542	478	98	473	457	
1978	5091	1452	119	161	225	
1979	2088	611	180	118	60	
1980	2810	605	200	6	88	
1981	1975	785	139	281	69	
1982	665	213	44	28	42	
1983	1362	421	49	35	272	
1984	2417	757	61	117	369	
1985	2046	760	_	40	62	
1986	1470		_	16	47	

**TABLE 13.** Correlations for various combinations of catches of bluefin. WPO and EPO stand for western and eastern Pacific Ocean, respectively.

TABLE 13. Correlaciones para varias combinaciones de capturas de aleta azul. WPO = Océano Pacífico occidental; EPO = Océano Pacífico oriental.

	Correlation Correlación	Degrees of freedom Grados de libertad	r
1.	WPO, age 0, versus EPO, age 1	18	-0.069
2.	WPO, age 0, versus EPO, age 2	18	0.386
3.	WPO, age 1, versus EPO, age 1	18	-0.306
4.	WPO, age 1, versus EPO, age 2	18	0.078
5.	WPO, age 2, versus EPO, age 1	18	-0.278
6.	WPO, age 2, versus EPO, age 2	18	-0.463*
7.	EPO, age 1, versus EPO, age 2	25	0.418*
8.	WPO, age 0, versus WPO, age 1	18	0.843**
9.	WPO, age 0, versus WPO, age 2	17	0.174
10.	WPO, age 1, versus WPO, age 2	18	0.344
11.	EPO, age 2, versus WPO, age 0, and WPO, age 2	15	0.746**

TABLE 14. Results of trials using 100 mg/L MS 222 as an anaesthetic for sierra (SIE), black skipjack (BSJ), and frigate and/or bullet tunas (FRZ). S.E. stands for standard error. TABLA 14. Resultados de pruebas usando 100 mg/L de MS 222 para anestetizar sierras (SIE), barriletes negros (BSJ), y melvas (FRZ). e.e. = error estándar.

Trial Date Fecha	Numbers and species Cantidad y especie	Mean standard length (S.E.) (mm) Longitud estándar media (e.e.) (mm)	Standard length range (mm) Rango de longitud estándar (mm)	Mean induction time (S.E.) (sec) Inmersión media (e.e.) (seg)	Mean handling time (S.E.) (sec) Duración media del traslado (e.e.) (seg)	Mean recovery time (S.E.) (sec) Tiempo de recuperación medio (e.e.) (seg)
Nov. 10, 1989	19 SIE 1 FRZ	21.9 (0.12) 14.2	16.2–30.9	27.3 (0.13) 24.0	$14.3 (0.16)^{1}$	$31.7 (0.26)^2$ $120.0$
Nov. 28, 1989	3  BSJ	17.8 (0.46)	15.6 - 19.1	23.7(0.65)	13.7(0.41)	43.0 (0.94)
Nov. 30, 1989	14 BSJ 1 FRZ	13.9 (0.10) 14.1	11.7–19.4	$23.1\ (0.14)$ $24.0$	19.1 (0.14) 15.0	$39.1\ (0.33)$ $70.0$
Dec. 8, 1989 <sup>3</sup>	3  BSJ	28.6 (0.24)	28.1 - 29.1	19.3 (0.36)	12.3 (0.53)	44.7 (1.56)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>The handling time was recorded for 11 of the 19 fish anaesthetized.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Se registró la duración del traslado para 11 de los 19 peces anestetizados.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>The recovery time was recorded for 18 of the 19 fish anaesthetized.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Se registró la duración de la recuperación para 18 de los 19 peces anestetizados.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Three black skipjack from the November 30 trial were anaesthetized and measured again after 8 days in captivity.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Tres de los barriletes negros del experimento del 30 de noviembre fueron anestetizados y medidos de nuevo al cabo de 8 días en cautiverio.

**TABLE 15.** Tuna-dolphin program's sampling coverage during 1989 of trips by vessels of capacity > 400 short tons, and of yellowfin captured by sampled vessels. TABLA 15. Cobertura por el programa atún-delfín en 1989 de viajes realizados por barcos con capacidad > 400 toneladas cortas, y de aleta amarilla capturado por los barcos muestreados.

		Number of trip	5	Numb	er of trips with dol	phin sets <sup>1</sup>	Estimated percent sampling of tons of		
	Total	Sampled	Percent	Total	Sampled	Percent	yellowfin caught in dolphin sets <sup>2</sup>		
		Número de viajes			ajes con lances sob	re delfines1	Muestreo estimado (%) del tonelaje de aleta amarilla capturado en lances sobre		
	Total	Muestreados	Porcentaje	Total	Muestreados	Porcentaje	delfines <sup>2</sup>		
U.S. vessels sampled by									
Barcos de EE.UU. muestreados por									
NMFS		75			69				
IATTC-CIAT		47			46				
Total	131	122	93.1	116	115	99.1	97.4		
Non-U.S. vessels (sampled by IATTC)									
Barcos de otros países (muestreados por l	la CIAT)								
Costa Rica	1	0	0.0	0	0	0.0			
Ecuador <sup>3</sup>	55	19	34.5	35	13	37.1			
El Salvador	1	0	0.0	1	0	0.0			
Korea	1	0	0.0	1	0	0.0			
México	$25\overline{4}$	90	35.4	208	78	37.5			
Panamá	22	10	45.5	16	7	43.8			
Vanuatu	34	12	35.3	33	11	33.3			
Venezuela	96	34	35.4	86	$\overline{32}$	37.2			
Undetermined—Indeterminado <sup>4</sup>	1	0	0.0	1	0	0.0			
Total	465	165	35.5	381	141	37.0	36.5		
All countries—Todos los países	596	$287^{5}$	48.2	497	$256^{6}$	51.5	55.6		

Adjusted estimates based on IATTC logbook coverage of vessel trips of each country in the eastern Pacific.

Estimaciones ajustadas, basadas en bitácoras de barcos de cada país en el Pacífico oriental recopiladas por la CIAT.

2 Using adjusted estimates of total catch of yellowfin in dolphin sets, based on IATTC logbook coverage of trips of the U.S. and non-U.S. fleets.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Usando estimaciones ajustadas de la captura total de aleta amarilla en lances sobre delfines, basadas en bitácoras de barcos de EE.UU. y otros países recopiladas por la CIAT.

<sup>3</sup> Includes one Spanish vessel based in Ecuador.
3 Incluye un barco de bandera española basado en el Ecuador.

Incluye un barco de bandera espanola basado en el Ecuador.
 Reflects one trip made by a vessel without registry.
 Refleja un viaje hecho por un barco sin registro.
 One set of data was lost in a vessel sinking and two were rejected because of deficiencies in the data collection procedures, resulting in 284 trips in the data base.
 Un juego de datos fue perdido al hundirse un barco, y dos fueron rechazados por deficiencias en la toma de los datos, resultando así en 284 viajes en la base de datos.
 One set of data was lost in a vessel sinking and two were rejected because of deficiencies in the data collection procedures; all three trips included dolphin sets, resulting in 253 trips with dolphin sets in the data base.

<sup>6</sup> Un juego de datos fue perdido al hundirse un barco, y dos fueron rechazados por deficiencias en la toma de los datos; ocurrieron lances sobre delfines en los tres viajes, resultando así en 253 viajes con lances sobre delfines en la base

TABLE 16. IATTC dolphin mortality workshops held during 1989 for fishermen of non-U.S. fleets.

TABLA 16. Seminarios sobre la mortalidad de delfines auspiciados por la CIAT en 1989 para pescadores de las flotas no estadounidences.

Date Fecha	Location Lugar	Number of attendees Número de asistentes	Certificates issued Certificados emitidos
April 23–24	Cartagena, Columbia	17	12
June 15-16	La Jolla, California	1	1
July 6	Ensenada, México	17	14
July 20	Ensenada, México	19	18
September 1-2	Manta, Ecuador	9	6
September 9–10	Cumaná, Venezuela	20	9
September 21	Ensenada, México	27	19
September 29	San Diego, California	6	6
October 2	Ensenada, México	13	12
October 10	San Diego, California	6	6
October 24	Ensenada, México	22	21
Total	11 workshops—seminarios	157	$127^{1}$

 $<sup>^{\</sup>rm 1}\,$  Includes three fishermen who were issued certificates after attending the IATTC Tuna-Dolphin Workshop in

San José, Costa Rica, on March 16–18, 1989.

<sup>1</sup> Incluye tres certificados presentados a capitanes que asistieron al Taller Atún-Delfin organizado por la CIAT en San José, Costa Rica, del 16 al 18 de marzo de 1989.

TABLE 17. Discussion topics during IATTC dolphin mortality-reduction workshops.

TABLA 17. Temas tratados en los seminarios de la CIAT sobre la reducción de la mortalidad de los delfines.

Activities of the IATTC international tuna-dolphin program	Actividades del programa internacional atún-delfín de la CIAT
Historical review of the purse-seine fishery in the EPO	Repaso histórico de la pesca cerquera en el OPO
Historical review of dolphin mortality in the purse-seine fishery for tunas in the EPO; fleet sampling and mortality estimation	Repaso histórico de la mortalidad de los delfines en las pesca atunera con red de cerco en el OPO; muestreo de la flota y estimación de la mortalidad
The international controversy over the tuna-dolphin problem; videotape of news broadcasts	La controversia internacional sobre la problemática atún-delfín; video de no- ticiarios aparecidos en la televisión
Factors affecting dolphin mortality; responsibilities of the fishing captain and vessel owner	Factores que afectan la mortalidad de los delfines; las responsabilidades del capitán y armador del barco
Review of yellowfin tuna trade regulations; current and future requirements	Repaso de los reglamentos que rigen el comercio del atún aleta amarilla; normas actuales y futuras
U.S. and national fleets: comparison of dolphin mortality rates	La flota de los Estados Unidos y la nacional: comparación de las tasas de mortalidad de delfines $$
IATTC gear program and services (safety panel alignments and gear inspections), and recent gear innovations	El programa de artes de pesca de la CIAT y los servicios asociados (alineación del paño de protección y revisiones del equipo), y novedades en las artes de pesca
Review of recommended dolphin safety gear	Repaso del equipo de protección de delfines recomendado
Individual meetings with attending vessel captains to discuss performance	Reuniones individuales con capitanes presentes para comentar su desempeño

# **TABLE 18.** IATTC dolphin safety panel alignment and gear inspection service.

TABLA 18. Servicio de alineación del paño de protección y de revisión del equipo, brindado por la CIAT.

#### Purpose:

To determine if vessel's dolphin safety gear meets minimum standards, and to determine if the dolphin safety panel is properly aligned in the backdown channel for efficient dolphin release.

### Dolphin safety panel alignment:

Backdown maneuver performed during a trial set. In-water observations to locate or verify proper tie-down points for backdown. Type, dimensions, and condition of dolphin safety panel determined.

### Safety gear inspection:

The presence and condition of the following equipment is verified during the trial set:

- · Inflatable raft
- · High-intensity floodlight
- · Speedboats with stern-towing bridles and towlines
- · Masks and snorkels

### Report to vessel owner:

- · Summary of net and safety panel dimensions
- · Results of panel alignment
- Comments on deficiencies in gear, if any, and recommendations
- · Diagram of vessel's dolphin safety panel

# Objetivo:

Determinar si el equipo de protección de delfines a bordo cumple con las normas mínimas, y si el paño de protección está correctamente alineado en el canal de retroceso para la liberación eficaz de los delfines

## Alineación del paño de protección:

En un lance de prueba se realiza un retroceso simulado. Un ténico entra al agua para ubicar o verificar los puntos de amarre correctos para el retroceso. Se determinan el tipo, dimensiones, y condición del paño de protección.

### Revisión del equipo de protección:

Durante el lance de prueba se verifica la presencia y condición del equipo siguiente:

- · Balsa inflable
- · Reflector de alta intensidad
- · Lanchas con bridas y cabos de remolque
- Máscaras de buceo y esnórquels

### Informe al armador:

- · Resumen de las dimensiones de la red y el paño de protección
- · Resultados de la alineación del paño de protección
- · Comentarios sobre fallas en el equipo en caso necesario, y recomendaciones
- · Diagrama del paño de protección

**TABLE 19.** Estimates of the incidental mortalities of dolphins in 1989. MPS: mortality per set; MPT: mortality per ton; S.E.: standard error.

TABLA 19. Estimaciones de la mortalidad incidental de delfines en 1988. MPL: mortalidad por lance; MPT: mortalidad por tonelada; e.e. error estándar.

	Using MPS -	Usando MPL	Using MPT-1	Usando MPT
Species and stock Especie y stock	Estimate Estimación	S.E. e.e.	Estimate Estimación	S.E. e.e.
Offshore spotted-Manchado de alta mar				
Northern-Norteño	52093	(4411)	54657	(4136)
Southern-Sureño	3863	(600)	3553	(603)
Eastern spinner-Tornillo oriental	15199	(1674)	15803	(1637)
Unidentified—No identificados <sup>1</sup>	46	(10)	48	(10)
Whitebelly spinner—Tornillo panza blanca	:			
Northern-Norteño	5980	(842)	6387	(793)
Unidentified - No identificados1	464	(161)	480	(165)
Southern-Sureño	1858	(212)	1818	(222)
Common—común				
Northern-Norteño	1066	(325)	1162	(352)
Central	12711	(4168)	13786	(4754)
Southern-Sureño	576	(295)	456	(276)
Striped and other—Listado y otros	3123	(430)	3134	(439)
Totals—totales	96979	(6415)	101284	(6622)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Unidentified spinner dolphins are prorated to their eastern or northern whitebelly stocks.

**TABLE 20.** Searching effort (E) and number of sightings (N) in 1988. The areas are measured in thousands of square nautical miles and the effort in thousands of nautical miles navigated while searching.

**TABLA 20.** Esfuerzo de búsqueda (E) y número de avistamientos (N) en 1988. Se miden las áreas en millares de millas náuticas cuadradas y el esfuerzo en millares de millas náuticas navegadas en búsqueda.

	N N	Area of stock Area del stock	E E	Effective width of strip Ancho efectivo de la banda	Area effectively searched Area efectivamente buscada
Offshore spotted —					
Manchado de alta mar:					
Northern - Norteño	2259	3798	268	3.145	1686
Southern — Sureño	23	937	13	3.667	96
Spinner - Tornillo:					
Eastern — Oriental Northern whitebelly —	1084	2276	269	3.287	1768
Panza blanca norteño Southern whitebelly —	202	3030	149	3.088	920
Panza blanca sureño	22	1165	20	2.959	118
Common Común:					
Northern - Norteño	167	615	89	1.663	296
Central	237	2188	187	1.684	630
Southern - Sureño	66	842	26	2.966	154

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Los delfines tornillo no identificados son prorrateados a los stocks oriental o panza blanca norteño.

**TABLE 21.** Searching (E) effort and number of sightings (N) in 1989. The areas are measured in thousands of square nautical miles and the effort in thousands of nautical miles navigated while searching.

**TABLA 21.** Esfuerzo de búsqueda (E) y número de avistamientos (N) en 1989. Se miden las áreas en millares de millas náuticas cuadradas y el esfuerzo en millares de millas náuticas navegadas en búsqueda.

	N N	Area of stock Area del stock	E E	Effective width of strip Ancho efectivo de la banda	Area effectively searched Area efectivamente buscada
Offshore spotted —					
Manchado de alta mar:					
Northern - Norteño	3569	3798	392	3.420	1453
${\bf Southern-Sure\~no}$	95	937	20	3.348	30
Spinner — Tornillo:					
Eastern — Oriental Northern whitebelly —	1257	2273	358	3.106	1319
Panza blanca norteño Southern whitebelly—	466	3030	251	3.385	900
Panza blanca sureño	64	1165	25	3.367	53
Common — Común:					
Northern - Norteño	108	615	70	1.923	215
Central	284	2188	322	2.344	761
Southern - Sureño	58	842	29	2.388	86

ANNUAL REPORT 1989

**TABLE 22.** Relative abundance indices for 1988. The asterisks indicate estimates prorated for unidentified spinner dolphins. The standard errors are enclosed in parentheses. **TABLA 22.** Indices de abundancia relativa para 1988. Los asteriscos señalan estimaciones prorateadas para delfines tornillos no identificados. Las cifras en paréntesis son los errores estándar.

Species or stock	Effective half-width of strip	Encounter rate	Average herd size	Number of herds	Thousands of dolphins	Thousands of dolphins
Especie o stock	Medio ancho efectivo de la banda	Tasa de encuentro	Tamaño medio de manada	Número de manadas	Millares de delfines	Millares de delfines
Offshore spotted—Manchado de alta mar: Northern—Norteño	3.15 (0.16)	8.10 (0.62)	550 (35)	4893 (452)	2689 (326)	
Southern-Sureño	3.67 (1.08)	1.72 (0.40)	358 (48)	220 (82)	79 (30)	
Spinner—Tornillo Eastern, northern whitebelly, and unidentified—						
Oriental, panza blanca norteño, y no identificado	3.07 (0.19)	5.36 $(0.45)$	351 (29)	3420 (357)	1201 (139)	
Eastern—Oriental	3.29 (0.25)	$\frac{3.18}{(0.28)}$	550 (56)	1101 (128)	605 (94)	717* (110)
Northern whitebelly— Panza blanca norteño	3.09 (0.33)	2.83 (0.49)	294 (37)	1390 (267)	409 (81)	484* (92)
Southern whitebelly— Panza blanca sureño	$2.96 \ (0.67)$	$\frac{1.11}{(0.29)}$	404 (23)	218 (76)	88 (31)	
Common—Común: Northern—Norteño	1.66 (0.30)	1.88 (0.42)	929 (112)	347 (95)	323 (93)	
Central	1.68 $(0.42)$	$0.76 \\ (0.07)$	490 (71)	$491 \\ (125)$	241 (50)	
Southern—Sureño	2.97 (0.53)	$2.50 \\ (1.23)$	711 (159)	355 (178)	253 (100)	

**TABLE 23.** Relative abundance indices for 1989. The asterisks indicate estimates prorated between eastern and northern whitebelly spinner dolphins. The standard errors, obtained by the bootstrap method, are enclosed in parentheses.

TABLA 23. Indices de abundancia relativa para 1989. Los asteriscos señalan estimaciones prorateadas para delfines tornillos orientales y panza blanca no identificados. Las cifras en paréntesis representan los errores estándar, obtenidos con el método de "bootstrap."

Species or stock	Effective half-width of strip	Encounter rate	Average herd size	Number of herds	Thousands of dolphins	Thousands of dolphins	
Especie o stock	Medio ancho efectivo de la banda	Tasa de encuentro	Tamaño medio de manada	Número de manadas	Millares de delfines	Millares de delfines	
Offshore spotted—Manchado de alta mar: Northern—Norteño	3.42 (0.18)	8.39 (0.30)	624 (40)	4662 (316)	2910 (275)		
Southern-Sureño	$3.35 \\ (0.65)$	$4.71 \\ (0.53)$	849 (123)	659 (134)	560 (140)		
Spinner—Tornillo Eastern, northern whitebelly, and unidentified— Oriental, panza blanca norteño, y no identificado	3.25 (0.14)	5.31 (0.24)	284 (22)	3192 (217)	905 (104)		
Eastern—Oriental	3.11 (0.27)	$\frac{2.94}{(0.23)}$	300 (20)	1077 (137)	323 (47)	389* (71)	
Northern whitebelly— Panza blanca norteño	3.39 $(0.29)$	3.13 (0.26)	305 (40)	1403 (156)	428 (77)	515* (78)	
Southern whitebelly— Panza blanca sureño	3.37 (0.63)	$2.59 \\ (0.52)$	423 (73)	$448 \atop (132)$	190 (69)		
Common—Común: Northern—Norteño	1.97 (0.38)	$\frac{1.53}{(0.34)}$	1016 (289)	239 (77)	243 (107)		
Central	$\frac{2.34}{(0.31)}$	$0.56 \\ (0.07)$	477 (74)	263 (41)	$125 \\ (24)$		
Southern-Sureño	2.39 $(0.43)$	1.97 $(0.42)$	515 (60)	347 (87)	179 (47)		

ANNUAL REPORT 1989

**TABLE 24.** Test for linear trends in abundance by 5-year periods. The tabulated values are the values of p. Plus and minus signs indicate positive and negative trends, respectively. An asterisk indicates that the trends were estimated excluding the data for 1983. Dashes indicate there were too few data points for linear trends.

TABLA 24. Pruebas de tendencias lineales en la abundancia por períodos de 5 años. Los valores en la tabla son valores de p. Los signos de + y - señalan tendencias positivas y negativas, respectivamente. Un asterisco señala que se excluyeron los datos de 1983 al estimar las tendencias. Los guiones señalan que no habían suficientes datos para determinar una tendencia lineal.

Species and stock	Five-year period – Período de 5 años										
Especie y stock	75-79	76–80	77–81	78-82	79-83	80-84	81–85	82–86	83-87	84–88	85–89
Spotted – Manchados:											
Northern offshore – Alta mar norteño	.02 -	.17	.09	.13	.03 -	.25	.69	.09	.04 +	.48	.49
Northern offshore* - Alta mar norteño*	.02 –	.17	.09	.13	.31	.12	.76	.26	.25	.48	.49
Southern offshore - Alta mar sureño	.41	.32	.05 -	.73	.69	.69	.94	.02 –	.08	.02 -	.76
Spinner – Tornillo:											
Eastern - Oriental	.03 –	.36	.26	.09	.52	.83	.08	.03 +	.80	.36	.47
Northern whitebelly — Panza blanca norteño	.70	.06	.27	.56	.38	.32	.76	.36	.06	.28	.64
Southern whitebelly — Panza blanca sureño	.63	.77	.99	.26	.60	.22	.03 +	.01 +	.08	.29	.58
Common — Común:											
Northern — Norteño	.06	.47	.91	.33	.09	.16	_		.56	.62	.19
Central	.47	.71	.01 –	.16	.31	.33	.75	.44	.45	.86	.64
Southern - Sureño	.61	.58	.53	.62	.62	.62	.71		_	_	.42

TABLE 25. Relative abundance indices for 1988, excluding cruises with radar sightings. The estimates in parentheses include unidentified spinner dolphins prorated between eastern and northern whitebelly spinners. TABLA 25. Indices de abundancia relativa de 1988, excluyendo los viajes con avistamientos hechos por radar. Las estimaciones en paréntesis incluyen delfines tornillo no identificados prorrateados entre los stocks oriental y panza blanca norteño.

Species and stock	Effective half-width of strip	Encounter rate herd size Tamaño Tasa de encuentro medio de		Number of herds	Thousands of dolphins	Percentage of trips excluded Porcentaje de viajes excluídos	
Especie y stock	Medio ancho efectivo de la banda			Número de manadas	Millares de delfines		
Offshore spotted-Mancha	ido de alta mar:						
Northern - Norteño	3.13	7.65	597	4646	2773	11	
Southern-Sureño	_	_		_	_	17	
Spinner-Tornillo							
Eastern—Oriental Northern whitebelly—	3.47	3.19	602	1048	631 (698)	9	
Panza blanca norteño Southern whitebelly—	2.80	2.90	317	1572	498 (550)	4	
Panza blanca sureño	2.90	1.30	404	261	105	10	
Common-Común:							
Northern-Norteño	1.72	1.98	950	355	338	2	
Central	1.80	0.75	490	458	224	3	
Southern-Sureño	2.97	2.81	711	399	283	3	

TABLE 26. Relative abundance indices for 1989, excluding cruises with radar sightings. The estimates in parentheses include unidentified spinner dolphins prorated between eastern and northern whitebelly spinners. TABLA 26. Indices de abundancia relativa de 1989, excluyendo los viajes con avistamientos hechos por radar. Las estimaciones en paréntesis incluyen delfines tornillo no identificados prorrateados entre los stocks oriental y panza blanca norteño.

Species and stock	Effective half-width of strip	Encounter rate	Average herd size	Number of herds	Thousands of dolphins	Percentage of trips excluded Porcentaje de viajes excluídos	
Especie y stock	Medio ancho efectivo de la banda	Tasa de encuentro	Tamaño medio de manada	Número de manadas	Millares de delfines		
Offshore spotted-Mancha	ido de alta mar:						
Northern-Norteño	3.53	7.46	713	4020	2866	52	
Southern-Sureño	3.19	7.51	844	1104	932	81	
Spinner-Tornillo							
Eastern—Oriental Northern whitebelly—	3.39	2.83	327	949	310 (337)	34	
Panza blanca norteño Southern whitebelly—	2.78	2.87	306	1565	479 (522)	38	
Panza blanca sureño	2.65	4.11	351	904	317	56	
Common-Común:							
Northern-Norteño	1.97	1.55	1029	243	250	6	
Central	2.14	0.49	521	253	132	7	
Southern-Sureño	2.47	1.84	556	313	174	11	

TABLE 27. Estimated recruitment, in thousands of fish, of the X and Y cohorts, and of the X and Y cohorts combined. The initial estimates correspond to the numbers of fish at the beginning of the first month in the first year that they reach a length of 30 cm (November for the X group and May for the Y group). The average estimates correspond to the average numbers of fish alive during that first month; these numbers are the same as those in Table 28.

TABLA 27. Reclutamiento estimado, en miles de peces, de las cohortes X e Y, y de las cohortes X e Y combinadas. Las estimaciones iniciales corresponden al número de peces al principio del primer mes del primer año en el cual alcanzaron una talla de 30 cm (noviembre para el grupo X y mayo para el grupo Y). Las estimaciones medias corresponden al número medio vivo durante ese primer mes; estas cantidades son idénticas a aquellas en la Tabla 28.

	I	nitial – Inic	ial	Average-Promedio				
Year-Año	X	Y	X + Y	X	Y	$\overline{X + Y}$		
1967	21791	38600	60391	21081	37341	58422		
1968	24363	26157	50520	23568	25304	48872		
1969	27952	27959	55911	27041	27047	54088		
1970	35737	27524	63261	34572	26627	61199		
1971	20404	28325	48729	19739	27402	47141		
1972	17177	37946	55123	16617	36708	53325		
1973	48117	70879	118996	46548	68568	115116		
1974	37618	29887	67505	36388	28913	65301		
1975	17999	38158	56157	17412	36914	54326		
1976	19305	29442	48747	18656	28482	47138		
1977	35427	71908	107335	34272	69564	103836		
1978	40846	44163	85009	39511	42647	82158		
1979	31119	41355	72474	30104	39983	70087		
1980	22739	44021	66760	21997	42579	64576		
1981	24711	32152	56863	23899	31099	54998		
1982	32317	40202	72519	31253	38886	70139		
1983	41092	42834	83926	39752	41428	81180		
1984	42749	39997	82746	41355	38674	80029		
1985	47174	35624	82798	45636	34462	80098		
1986	50618	43590	94208	48943	42169	91112		
1987	42104	64651	106755	40731	62542	103273		
1988	40711	56879	97590	39380	55012	94392		
1989	46525	47324	93849	45008	45781	90789		
erage-Promedio	33417	41721	75138	32324	40354	72678		

 $\textbf{TABLE 28.} \ \ Estimated average numbers of yellow fin in the eastern Pacific Ocean, in thousands, for the X and Y cohorts during the 1967 through 1989 seasons.$ 

**TABLA 28.** Estimaciones del número promedio de aletas amarillas en el Océano Pacífico oriental, en millares de peces, para las cohortes X e Y entre 1967 y 1989.

Year	Quarter	X COHORT-COHORTE X							Y COHORT-COHORTE Y						
Año	Trimestre	0	I	II	III	IV	v	VI	0	I	II	III	IV	v	VI
1967	1	0	14437	8315	1200	401	106	50	0	17991	2795	759	200	67	34
	2	0	11820	5742	923	276	83	41	37341		1719	523	142	54	27
	3	0	8996	3998	712	196	66	34	30572	8167	1343	364	108	44	22
	4	21081	7217	3167	521	142	53	27	25029	6486	1064	250	84	36	18
1968	1	0	17259	5696	2379	369	108	43	0	20459	5057	810	175	67	29
	2	0	14124	3884	1218	243	84	35	25304	15220	3459	556	123	54	24
	3	0	11518	2838	872	169	67	29	20718	9635	2450	375	93	44	20
	4	23568	9214	2262	636	124	54	24	16942	7589	1947	259	73	36	16
1969	1		19296	7053	1797	423	93	44		13643	5408	1293	175	58	29
	2		15693	4949	1403	248	72	36	27047	9005	3226	631	121	47	24
	3		12476	3887	1083	170	58	29	22145	6245	2457	396	92	38	20
	4	27041	9358	3079	752	122	47	24	18128	4637	1883	242	72	31	16
1970	1	0	22139	6265	2206	478	93	38	0	14561	2975	1314	158	57	25
	2		18119	3727	1310	233	72	31		10425	1719	768	102	46	20
	3		14692	2816	917	151	58	25	21800	7091	1326	475	77	38	17
	4	34572	11365	2132	595	105	46	21	17832	5255	1010	289	60	31	14
1971	1	0	28302	8231	1562	375	79	38	0	14297	3774	679	153	48	25
	2		22996	5654	1186	232	60	31	27402	9885	2283	427	103	39	21
	3		18455	4411	871	159	48	25	22435	7351	1706	280	78	31	17
	4	19739	14168	3481	547	109	39	21	18365	5790	1271	152	61	26	14
1972	1	0	16160	10615	2196	314	78	32	0	14530	4023	694	80	48	21
	2		13213	6550	1070	175	59	26		10739	2811	324	46	38	17
	3		10727	4878	744	83	48	21	30054	7769	2136	161	31	31	14
	4	16617	8632	3485	466	44	38	17	24603	6127	1592	71	24	25	11
1973	1	0	13605	6882	2419	227	31	31	0	19366	4202	1082	41	19	21
	2		10847	5147	1321	106	24	25	68568	9279	2549	592	26	15	17
	3	0	8733	4097	942	56	19	21	56139	5202	1893	263	17	13	14
	4	46548	6953	3203	466	30	16	17	45629	3624	1456	84	13	10	11
1974	1		38110	5313	1982	238	17	13		33755	2518	990	23	10	8
	2		30958	4029	1131	142	13	10		18225	1705	646	13	8	7
	3		24779	3242	783	55	10	8		10006	1301	316	9	6	6
	4		19319	2517	463	22	8	7	18476	7139	976	148	7	5	5
1975	1		29780		1709	278	11	7		14517	5028	683	79	5	4
	2		23695	8546	1002	135	7	6		10683	3484	387	28	4	3
	3		17789	6092	618	49	5	5	30134	8027	2371	197	11	3	3
	4		13237	4516	356	19	4	4	24059	6428	1588	85	6	3	2
1976	1		14251	9798	2930	212	11	3		16120	4938	1111	33	5	2
	2		11537	5824	1988	91	6	3	28482	9309	3722	640	13	4	2
	3 4	0 18656		4110 3133	$\frac{1265}{702}$	31 15	5	$\frac{2}{2}$	23285 $18572$	$\frac{5616}{3802}$	2327	243	9	3 2	1
	-						4				1445	78	6		1
1977	1		15194	4864	2266	266	8	3		13899	2675	1056	35	5	2
	2		12028	3194	1504	155	6	3	69564	7988	1871	714	23	4	2
	3 4	$\frac{0}{34272}$		2219	680	58	5 4	$\frac{2}{2}$	56610	4594	1087	258	12 7	3	1
	4	34272	0079	1561	312	15	4	Z	43514	3197	780	76	- (	ა	1

TABLE 28. (continued)
TABLA 28. (continuación)

Year	Quarter		X (	COHOR	T-CO	HORTE	X			YC	OHOR	T-CO	HORTE	Y	
	Trimestre	0	I	II _	III	īV	v	VI	0	I	II	III	ſV	v	VI
1978	1	- 0	27913	4875	1179	180	9	3	0	28988	2324	570	32	5	2
	2	0	19549	3313	767	115	6	3	42647	13602	1574	388	18	4	2
	3	0	12173	2464	528	55	5	2	34214	7955	1169	231	10	3	1
	4	39511	8890	1760	298	14	4	2	25833	5742	855	80	4	3	1
1979	1		32319	5938	1268	157	7	3		16779	4014	534	39	2	2
	2		24285	3918	770	89	5	3	39983	9765	2224	347	23	2	2
	$\frac{3}{4}$	0 30104	16476	$\frac{3003}{2246}$	$\frac{504}{322}$	35 22	4	$\frac{2}{2}$	$31792 \\ 20479$	$6057 \\ 4164$	$1525 \\ 1047$	181 116	13 9	2 1	1 1
1000			9376					_						6	
1980	$\frac{1}{2}$		24140 16850	6211 3176	$\frac{1619}{1205}$	165 76	9	$\frac{2}{2}$	42579	13553 7343	3109 2319	603 383	52 16	2	1 1
	3	0	9968	2255	848	32	2	2	34400	4628	1599	189	7	1	1
	4	21997	6650	1659	563	16	2	1	26573	3376	1135	102	4	1	1
1981	1	0	17731	4726	1162	309	10	1	0	19186	2571	838	51	2	1
	2		12690	3039	817	136	4	1		11151	1797	544	14	2	1
	3	0	7698	2039	549	64	3	1	25163	5716	1295	235	8	1	0
	4	23899	4121	1359	320	42	3	1	19207	3360	828	142	5	1	0
1982	1		19146	2537	968	180	10	2		12952	2121	571	40	3	1
	$\frac{2}{2}$		12545	1720	669	102	5	2	38886	8156	946	380	20	3	1
	3 4	0 31253	7612 5313	$\frac{1307}{1022}$	$\frac{446}{254}$	$\frac{50}{24}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{2}{1}$	$30700 \\ 21003$	5114 3951	678 448	$\frac{185}{94}$	$\begin{array}{c} 12 \\ 7 \end{array}$	$\frac{2}{2}$	1
1983	1		25405	4021	802	79	6	2		14884	3201	275	20	2	1
1309	$\frac{1}{2}$		19329	2933	612	28	3	1		10188	2478	152	7	2	1
	3		13295	2232	411	13	2	1	33766	7542	1741	83	5	1	1
	4	39752	9868	1710	270	8	1	1	26865	6016	976	43	3	1	1
1984	1	0	32240	7960	1315	126	5	1	0	21168	4739	597	19	2	1
	2		25281	6059	985	56	3	1		16308	3272	351	8	2	1
	3	_	17805	4770	666	18	2	1		12568	2299	151	2	1	1
	4		12279	3587	360	6	2	1	25586	9439	1507	59	1	1	0
1985	1		33858	9417	2628	143	2	1		20839	7013	933	20	1	1
	$\frac{2}{3}$	_	27078 21756	7310 5277	$1759 \\ 1075$	57 17	1 1	1 1	34462	12736	$4780 \\ 3127$	$\frac{456}{174}$	7 2	1 1	1 1
	4	45636		3998	589	4	1	1	22743	9976	2038	56	1	1	0
1986	1		37175		2927	301	2	1		17305	7584	1279	25	1	0
1000	$\overset{1}{2}$	0		7317	1827	96	1	0		13302	5003	602	7	î	ő
	3		23962	5848	1042	21	1	0	34321	9650	3266	169	3	1	0
	4	48943	18666	4629	544	7	1	0	26159	6334	2206	55	2	0	0
1987	1		39804		3494	288	4	1		19754	4657	1463	16	1	0
	$\frac{2}{3}$		31679		2141	158	2	1		14358	2996	856	5	1	0
	4	40731	23753 15641	7548 5091	1222 633	58 19	1 1	0	40875	$11067 \\ 8705$	2039 $1427$	$\frac{327}{145}$	$\frac{2}{1}$	1 1	0
1988	1		33236		3762	336	5	1		30323	6665	1023	44	1	0
1300	2		25862	7488	2729	119	2	1	55012		4945	604	6	1	0
	3		17448	5365	1925	38	1	0	44877		3711	309	1	1	0
	4	39380		3651	1266	14	1	0	35771	7258	2513	154	0	1	0
1989	1	0	32214	8054	2593	776	5	1	0	26364	4774	1753	73	0	0
	2		24681	4839	1568	439	2	1		19377	3015	1067	25	0	0
	3		18275	2675	940	253	1	0	37398		1751	525	16	0	0
	4	45008	12751	1487	502	159	1	0	29920	11153	980	267	11	0	0

TABLE 29. Average weights of yellowfin during each quarter, beginning with the quarter they are recruited into the fishery.

TABLA 29. Peso promedio del aleta amarilla en cada trimestre, a partir del trimestre en el cual fueron reclutados a la pesqueria.

	Average weight Peso promedio			age weight promedio		Average weight Peso promedio				
Quarter Trimestre	lbs.	kg.	Quarter Trimestre	lbs.	kg.	Quarter Trimestre	lbs.	kg.		
1	0.84	0.38	10	61.24	27.80	19	224.11	101.75		
2	1.80	0.82	11	77.19	35.04	20	240.35	109.12		
3	3.52	1.60	12	94.54	42.92	21	255.52	116.01		
4	6.33	2.87	13	112.89	51.25	22	269.60	122.40		
5	10.58	4.80	14	131.86	59.86	23	282.55	128.28		
6	16.60	7.54	15	151.07	68.59	24	294.40	133.66		
7	24.62	11.18	16	170.17	77.26	25	305.18	138.55		
8	34.76	15.78	17	188.86	85.74	26	314.95	142.99		
9	47.01	21.34	18	206.90	93.93	27	323.75	146.98		

TABLE 30. Quotas, catches, and CPDFs (Class-6 purse-seiners) for yellowfin in the eastern Pacific Ocean. The quotas and catches are in thousands of short tons and the CPDFs in short tons per day. The quotas were for the CYRA only. The catches include all those taken by both surface and longline fishing in the eastern Pacific Ocean. TABLA 30. Cuotas, capturas, y CPDP (cerqueros de la Clase 6) de aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental. Se expresan las cuotas y capturas en millares de toneladas cortas, y las CPDP en toneladas cortas por día. Las cuotas son para el ARCAA solamente. Las capturas incluyen todo el pescado capturado con artes de superficie y palangreras en el Océano Pacífico oriental.

Year-Año	Quota-Cuota	Catch-Captura	CPDF-CPDP
1967	84.5	99.9	6.80
1968	93.0	129.8	16.30
1969	120.0	161.6	17.10
1970	120.0	186.6	14.00
1971	$140.0 + (2 \times 10)^{1}$	143.5	10.20
1972	$120.0 + (2 \times 10)$	212.3	14.50
1973	$130.0 + (3 \times 10)$	239.8	12.60
1974	$175.0 + (2 \times 10)$	242.3	10.10
1975	$175.0 + (2 \times 10)$	236.7	9.10
1976	$175.0 + (2 \times 10)$	277.2	10.10
1977	175.0 + (20 + 15)	231.6	8.00
1978	175.0 + (20 + 15)	209.4	6.80
1979	175.0 + (20 + 15)	219.7	6.00
1980	none-ninguna	187.1	5.40
1981	none—ninguna	208.6	6.20
1982	none-ninguna	147.4	5.30
1983	none—ninguna	113.6	5.70
1984	none—ninguna	170.0	10.00
1985	none—ninguna	250.3	13.60
1986	none—ninguna	314.9	17.50
1987	none-ninguna	314.4	14.10
$1988^{2}$	none—ninguna	332.6	13.50
$1989^{2}$	none—ninguna	326.3	14.40

<sup>1</sup> indicates two increments of 10 thousand tons each, to be added at the discretion of the Director.

<sup>1</sup> señala dos incrementos, cada uno de 10 mil toneladas cortas, que pueden ser añadidas a la cuota a discreción del Director

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> preliminary estimates

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> estimaciones preliminares

TABLE 31. Releases and recaptures of bluefin tagged in the eastern Pacific Ocean during 1958–1980. The 1962–1968 experiments were carried out by the U.S. National Marine Fisheries Service, the California Department of Fish and Game, and the Mission Bay Research Foundation.

TABLA 31. Liberaciones y recapturas de aletas azules marcados en el Océano Pacífico oriental durante 1958–1980. Los experimentos de 1962–1968 fueron llevados a cabo por el National Marine Fisheries Service de los EE.UU., el California Department of Fish and Game, y el Mission Bay Research Foundation.

-	elease eración									pture ptura							
Year Año	Number Cantidad		ar 0 ño 0		ar 1 io 1		ar 2 10 2		ar 3 io 3		ar 4 10 4		ar 5 10 5		nown nocido		otal otal
		East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste	East Este	West Oeste
1958	122	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	1
1962	960	86	0	83	0	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	170	5
1963	643	79	0	30	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115	0
1964	959	107	0	75	0	17	1	0	0	0	2	0	0	0	0	199	3
1966	237	63	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0
1968	35	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
1979	300	35	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	39	1
1980	114	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	0
Total	3,370	387	0	196	0	24	4	0	3	0	2	0	1	2	0	609	10

TABLE 32. Releases and recaptures of bluefin tagged off Japan during 1980–1988. The abbreviations are as follows: W, western Pacific; C, central Pacific (between 160°E and 130°W); E, eastern Pacific; FSFRL, Far Seas Fisheries Research Laboratory.

TABLA 32. Liberaciones y recapturas de atunes aleta azul marcados frente al Japón durante 1980–1988. Se usan las abreviaturas siguientes: O, Pacífico occidental; C, Pacífico central (entre 160°E y 130°W); E, Pacífico oriental; IATTC, Comisión Interamericana del Atún Tropical; FSFRL, Far Seas Fisheries Research Laboratory.

	Release-Li	beración								Rec	apture	-Recap	tura							
Year class			Y	ear 0		Y	ear 1		Y	ear 2	2	Y	ear 3		Y	ear 4		Total		
Generación	Organization Organización	Number Cantidad	W	CC	E E	W	C	E E	W	C	E E	W	C C	E E	W	C C	E E	W	C C	E E
1979	IATTC	739	-	-	-	157	0	0	33	0	24	9	1	0	3	0	0	202	1	24
1980	LATTC FSFRL	106 802	10 64	0	0	1 46	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array}$	0	1 8	0 0	$_{4}^{0}$	$_{2}^{0}$	$0 \\ 0$	0	$0 \\ 0$	$0 \\ 0$	$0 \\ 0$	12 120	0	$_{4}^{0}$
1981	IATTC FSFRL	3,297 $1,653$	$\frac{264}{127}$	$_{0}^{0}$	$_{0}^{0}$	48 67	$\frac{2}{3}$	$\begin{array}{c} 24 \\ 21 \end{array}$	5 17	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array}$	$\frac{1}{3}$	$_{2}^{0}$	$0 \\ 0$	0 0	0	$0 \\ 0$	$_{0}^{0}$	$\begin{array}{c} 317 \\ 213 \end{array}$	$\frac{2}{3}$	$\begin{array}{c} 25 \\ 24 \end{array}$
1982	IATTC FSFRL	$\begin{array}{c} 237 \\ 614 \end{array}$	$\begin{array}{c} 24 \\ 2 \end{array}$	0 0	$0 \\ 0$	5 25	$0 \\ 0$	$0 \\ 0$	0 3	$\begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array}$	0 1	$0\\2$	0 0	0 1	0	$0 \\ 0$	$0 \\ 0$	29 32	$0 \\ 0$	$_{2}^{0}$
1983	FSFRL	788	8	0	0	111	0	1	9	0	19	1	0	0	0	0	0	129	0	20
1984	FSFRL	1,944	109	0	0	54	0	2	3	0	26	0	0	0	0	0	0	166	0	28
1985	FSFRL	993	1	0	0	84	0	0	10	0	4	1	0	0	-	-	-	96	0	4
1986	FSFRL	863	45	0	0	37	0	0	0	0	1	-	-	-	-	-	-	82	0	1
1987	FSFRL	729	35	0	0	10	0	1	_	_	_	-	-	_	_	-	***	45	0	1
1988	FSFRL	588	14	0	0	_			_	_	_	_	-	_	-	_	-	14	0	0
Total		13,353	703	0	0	645	5	49	89	0	83	17	1	1	3	0	0	1,457	6	133

TABLE 33. Input for yield-per-recruit analysis of bluefin.
TABLA 33. Datos utilizados en el análisis del rendimiento por recluta del aleta azul.

Date	Length	Weight	Nat. mort.	Fish. mort.	(annual)	Date	Length	Weight	Nat. mort.	Fish. mort.	(annual)
	(cm)	(kg)	(annual)	1st-year migrants	2nd-year migrants		(cm)	(kg)	(annual)	1st-year migrants	2nd-year migrants
Fecha	Longitud	Peso	Mort. nat.	Mort. por pes	sca (anual)	Fecha	Longitud	Peso	Mort.	Mort. por pes	sca (anual)
	(cm)	(kg)	(anual)	Migrantes 1er año	Migrantes 2º año		(cm)	(kg)	Nat. (anual)	Migrantes 1 <sup>er</sup> año	Migrantes 2º año
Mar. 1	0.00					May 1	80.36	10.00	0.6		
Apr. 1	3.81					Jun. 1	82.77	12.86 12.99	0.6	0.5	0.5
May 1	7.57					Jul. 1	85.15		0.6	1.0	1.0
Jun. 1	11.26					Aug. 1	87.48	14.03			
Jul. 1	14.87					Sep. 1	89.77	15.10	0.6	1.0	1.0
	18.43	0.07	0.6	0.5	0.5	Oct. 1	92.03	16.20	0.6	1.0	1.0
Aug. 1		0.13	0.6	1.0	1.0			17.33	0.6	0.5	0.5
Sep. 1	21.93	0.22	0.6	1.0	1.0	Nov. 1	94.24	18.49	0.6		
Oct. 1	25.36	0.35	0.6	1.0	1.0	Dec. 1	96.41	19.67	0.6		
Nov. 1	28.74	0.52	0.6	1.0	1.0	Jan. 1	98.55	20.89	0.6		
Dec. 1	32.05	0.73	0.6	0.5	1.0	Feb. 1	100.65	22.12	0.6		
Jan. 1	35.31	1.00	0.6	0.0	1.0	Mar. 1	102.71	23.38	0.6		
Feb. 1	38.51					Apr. 1	104.74				
Mar. 1	41.66	1.32	0.6		1.0	May 1	106.73	24.66	0.6		
Apr. 1	44.75	1.70	0.6		1.0	Jun. 1	108.69	25.97	0.6		
May 1	47.79	2.15	0.6		1.0	Jul. 1	110.61	27.29	0.6	0.5	0.5
Jun. 1	50.77	2.68	0.6		1.0			28.63	0.6	1.0	1.0
		3.05	0.6	0.1	1.0	Aug. 1	112.50	30.14	0.6	1.0	1.0
Jul. 1	53.70	3.63	0.6	1.0	1.0	Sep. 1	114.36	31.36	0.6	1.0	1.0
Aug. 1	56.58	4.27	0.6	1.0	0.5	Oct. 1	116.18	32.74	0.6	0.5	0.5
Sep. 1	59.42	4.98	0.6	1.0		Nov. 1	117.97	34.14	0.6		
Oct. 1	62.20	5.75	0.6	0.5		Dec. 1	119.73	35.55	0.6		
Nov. 1	64.93	6.58	0.6			Jan. 1	121.46	36.97	0.6		
Dec. 1	67.62	7.47	0.6			Feb. 1	123.16	38.41	0.6		
Jan. 1	70.25					Mar. 1	124.83				
Feb. 1	72.85	8.42	0.6			Apr. 1	126.47	39.85	0.6		
Mar. 1	75.39	9.44	0.6			May 1	128.09	41.30	0.6		
Apr. 1	77.90	10.52	0.6			Jun. 1	129.67	42.72	0.6		
		11.66	0.6			Jul. 1	131,22	44.22	0.6	0.5	0.5

 $\textbf{TABLE 34.} \ \ \textbf{Growth and weight-length data used for estimation of yields per recruit of blue fin.}$ 

TABLA 34. Datos de crecimiento y peso-longitud usados para estimar el rendimiento por recluta del aleta azul.

Age in years Edad en años	Equation Ecuación	Units of measurement Unidades de medición	Source Fuente
Growth-Crecimiento			
0.25 - 1.00	$L_{t_0}^{\lambda} = L_{\infty}^{\lambda} + (L_{t_1}^{\lambda} - L_{\infty}^{\lambda}) e^{-K(t_2 - t_1)}$	mm, days	IATTC, unpublished data
1.00-5.00	$L_t = 564 + 0.709\Delta t$	mm, days	lATTC, unpublished data
5.00 - 15.00	$L_t = 320.5(1 - e^{-0.1035(t + 0.7034)})$	cm, years	Nankai Reg. Fish Res. Lab., Rep., 25: 1-18
Weight-length - Peso-long	gitud		
0.25-1.00	$w = (1.82335 \times 10^{-9})l^{3.39759}$	mm, kg	IATTC, Quarterly Report, Jan.–Mar. 1990: Table 11
1.00-15.00	$w = (2.01711 \times 10^{-7})l^{2.79130}$	mm, lbs	IATTC, Quarterly Report, Jan.–Mar. 1990: Table 11

**TABLE 35.** Annual catches of bigeye, in short tons, by all gear in the Pacific Ocean and by surface and longline gear in the eastern Pacific Ocean. The 1989 data are preliminary.

**TABLA 35.** Capturas anuales de patudo, en toneladas cortas, obtenidas por todas las artes en el Océano Pacífico y por pesca epipelágica y palangreros en el Océano Pacífico oriental. Los datos de 1989 son preliminares.

Year	Eastern Paci	fic Ocean	Total Pacific Ocean, all gear
icui .	Surface	Longline	un gour
Año	Océano Pacífi	co oriental	Total Océano Pacífico, todas las artes
	De superficie	Palangre	
1954	303	2,187	
1955	129	2,459	
1956	44	3,271	
1957	75	13,175	
1958	256	14,389	
1959	165	16,231	
1960	202	25,562	
1961	235	72,942	
1962	361	63,503	
1963	83	89,677	
1964	75	56,889	92,900
1965	130	37,346	75,700
1966	294	42,175	85,000
1967	1,834	43,716	87,900
1968	2,820	43,072	73,900
1969	635	63,631	87,900
1970	1,469	40,519	83,800
1971	2,829	34,902	74,700
1972	2,467	43,006	98,000
1973	2,181	61,170	98,400
1974	981	48,669	98,533
1975	4,104	54,762	112,895
1976	11,228	61,348	139,500
1977	7,777	81,333	158,718
1978	12,912	82,015	129,986
1979	8,303	75,098	138,908
1980	16,999	78,928	133,931
1981	11,124	54,951	111,445
1982	4,522	50,632	119,919
1983	3,593	63,775	122,169
1984	6,539	50,285	113,136
1985	4,996	62,874	136,605
1986	2,137	84,487	165,568
1987	850	99,049	165,853
1988	1,164	,	120,102
1989	2,012		- <b>-</b> - <b>,</b>

TABLE 36. Data on tagged bigeye at liberty long periods of time (from IATTC Special Report, 2: page 259). The lengths are given in centimeters and the distances in nautical miles. TABLE 36. Datos sobre patudos marcados que permanecieron en libertad durante períodos largos (del Informe Especial No 2 de la CIAT: página 259). Las tallas se miden en centímentros y las distancias en millas náuticas.

	Release			Recapture			Days		
Area	Date	Length	Area	Date	Length	Distance	free	Direction	Reference
	Liberación			Recaptura			Días en		
Area	Fecha	Talla	Area	Fecha	Talla	Distancia	libertad	Dirección	Referencia
30°59′N- 171°14′W	Jan. 31, 1955	122.3	32°41′N- 155°57′W	Nov. 24, 1955	126.8	785	298	82	1
30°59′N- 171°14′W	Jan. 31, 1955	109.0	29°50′N- 117°50′W	Feb. 2, 1956	127.5	348	368	259	2
32°59′N- 143°19′W	May 31, 1958	82	29°15′N- 133°45′E	Nov. 11, 1959	110–115	540	530	255	2
32°59′N- 143°19′E	May 31, 1958	81	35°27′N- 141°10′E	Jan. 17, 1960	119	182	597	324	2
3°18′N- 90°50′W	May 6, 1967	80	2°12′S 81°01′W	Jan. 13, 1968	?	664	253	117	IATTC unpublished
3°18′N- 90°50′W	May 12, 1967	50	4°32′N 107°50′W	Jun. 18, 1969	128.0	1,020	769	274	3

Pacif. Sci., 10 (2): 236.
 Nankai Reg. Fish. Res. Lab., Rep., 25: 75–80.
 IATTC, Ann. Rep., 1969: 28.

# INFORME ANUAL DE LA COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL, 1989

### INTRODUCCION

La Comisión Interamericana del Atún Tropical funciona bajo la autoridad y dirección de un convenio suscrito originalmente por Costa Rica y los Estados Unidos de América. El convenio, vigente desde 1950, está abierto a la afiliación de cualquier país cuyos ciudadanos pesquen atunes tropicales en el Océano Pacífico oriental. Bajo esta estipulación, la República de Panamá se afilió en 1953, Ecuador en 1961, México en 1964, Canadá en 1968, Japón en 1970, y Francia y Nicaragua en 1973. Ecuador se retiró de la Comisión en 1968, México en 1978, Costa Rica en 1979, y Canadá en 1984. Costa Rica se adhirió de nuevo al Convenio en 1989.

Las obligaciones principales de la Comisión bajo el Convenio son (1) estudiar la biología de los atunes y especies afines en el Océano Pacífico oriental para determinar los efectos 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.

En 1976 se ampliaron las obligaciones de la Comisión al incluír los problemas ocasionados por la relación atún-delfin en el Océano Pacífico oriental. Los objetivos acordados en torno a esta cuestión son: "[1] mantener la producción atunera a un alto nivel; [2] mantener las poblaciones de delfines a niveles o sobre niveles que garanticen su supervivencia a perpetuidad; [3] trabajar en cuanto sea posible para evitar la muerte innecesaria o por descuido de los delfines en las maniobras de pesca". Los puntos específicos de participación son: (1) vigilar la magnitud de las poblaciones y la mortalidad incidental a la pesca, mediante la toma de datos a bordo de embarcaciones atuneras de cerco; (2) realizar reconocimientos aéreos y marcado de delfines; (3) analizar los índices de abundancia de los delfines; y (4) proceder al entrenamiento e investigación sobre las artes de pesca y el comportamiento de los delfines.

Para cumplir con estos objetivos, la Comisión debe efectuar un amplio programa de estudios en el mar, en los puertos donde se desembarca el atún, y en el laboratorio. Dichos estudios son llevados a cabo por un equipo internacional permanente de investigadores y técnicos (Anexo 1), contratados por el Director, quién responde directamente ante la Comisión.

El programa científico se encuentra en su trigésimonoveno año. Los resultados de las investigaciones son publicados en inglés y español, los dos idiomas oficiales, en la serie de Boletines de la Comisión. En un Informe Anual, asimismo bilingüe, se describen las actividades realizadas en el año en cuestión. Se publican otros estudios en la serie de Informes Especiales de la Comisión, en libros, revistas científicas externas, y en publicaciones comerciales.

### REUNION DE LA COMISION

La Comisión celebró su XLVI Reunión en París (Francia) del 10 al 12 de mayo de 1989, bajo la presidencia del Sr. Dominique Piney. Asistieron a la reunión representantes de todos los cinco gobiernos miembros, así como observadores de Costa Rica, Ecuador, El Salvador, España, México, Perú, las Islas Seychelles, Taiwan, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Vanuatu, Venezuela, la Comunidad Económica Europea, Greenpeace, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico.

Se aprobó la agenda siguiente:

- 1. Apertura de la reunión
- 2. Aprobación de la agenda
- 3. Examen de la investigación atunera actual
- 4. El año pesquero 1988
- 5. La condición de los stocks de atunes
- 6. Examen del programa atún-delfín
- 7. Recomendaciones para 1989
- 8. Programa de investigación y presupuesto recomendado para el AF 1990-1991
- 9. Actualización de las labores referentes a las disposiciones para la administración de los túnidos en el Pacífico oriental
- 10. Sede y fecha de la próxima reunión
- 11. Nombramiento de funcionarios
- 12. Otros asuntos
- 13. Clausura

La Comisión tomó las medidas siguientes:

(1) El personal de la Comisión recomendó una cuota de captura de aleta amarilla de 220,000 toneladas cortas para el año pesquero 1989, con la opción de aumentar este límite por dos incrementos de 30,000 toneladas cada uno, para así acomodar la posibilidad de que se hubiera subestimado la abundancia del stock. En el Documento Fundamental  $N^{\circ}$  2 de la reunión se presentan las razones por esta recomendación; dicho documento puede ser obtenido de la Comisión a petición. La Comisión aprobó la resolución siguiente sobre un programa de conservación del aleta amarilla para 1989:

La Comisión Interamericana del Atún Tropical, siendo responsable de la administración de túnidos y especies afines en el Océano Pacífico oriental, y habiendo mantenido desde 1950 un programa científico ininterrumpido dedicado al estudio de dichas especies,

Observa que el atún aleta amarilla del Pacífico oriental constituye un recurso que sostiene a una de las pesquerías atuneras de superficie más importantes del mundo, y

*Reconoce*, con base en la experiencia previa en esta pesquería, que existe la posibilidad de reducir la producción potencial del recurso si el esfuerzo de pesca es excesivo;

Tiene presente que el cumplimiento satisfactorio del programa de conservación entre 1966 y 1979 mantuvo los stocks de aleta amarilla a un elevado nivel de abundancia, y

Observa que de 1980 a 1986, y también en 1988, a pesar de no haberse establecido un programa de conservación, los investigadores de la Comisión recomendaron medidas de conservación a los Delegados, quienes a su vez transmitieron estas recomendaciones a sus gobiernos respectivos, y

Observa que, a niveles actuales de abundancia y de capacidad de la flota, sería posible sobreexplotar los stocks de aleta amarilla, y

Concluye que se debería limitar la captura del aleta amarilla en el año pesquero 1989.

La Comisión Interamericana del Atún Tropical, por lo tanto, recomienda a las Altas Partes Contratantes que al adoptarse un programa de conservación del aleta amarilla para 1989, se establezca una cuota anual para el año civil 1989 de 220,000 toneladas cortas para la captura total

del atún aleta amarilla en el ARCAA, definido en la resolución aprobada por la Comisión el 17 de mayo de 1962, y

Recomienda además que se autorice al Director aumentar este límite por un máximo de dos incrementos de 30,000 toneladas cortas cada uno, si un análisis de los datos disponibles le lleva a la conclusión que un tal incremento no perjudicaría el stock de forma sustancial, y

Recomienda finalmente que todas las naciones miembros y demás naciones interesadas hagan lo posible por lograr el cumplimiento de un tal programa de conservación del aleta amarilla en 1989.

- (2) La Comisión aprobó un presupuesto de \$US 3,706,020 para el año financiero 1990–1991.
- (3) La Comisión acordó celebrar su próxima reunión en Washington, EE.UU., en fecha a decidir posteriormente.
- (4) La Comisión eligió a un Comisionado de los Estados Unidos y a la Lic. Dalva Arosemena M. de Panamá como Presidente y Secretaria, respectivamente, de la Comisión en 1989. Se decidiría posteriormente cuál Comisionado de los Estados Unidos actuaría de Presidente.

# ADMINISTRACION

# **PRESUPUESTO**

En la XLIV Reunión, celebrada del 5 al 7 de mayo de 1987 en Panamá, R.P., la Comisión aprobó unánimamente el presupuesto de \$US 3,525,454 presentado por el Director para el año fiscal 1988—1989. Sin embargo, la cantidad aportada por las naciones afiliadas en ese año fiscal fue \$US 2,846,010, una reducción de \$US 679,444 respecto de la suma recomendada y aprobada. A consecuencia de ésto, se tuvieron que reducir algunos proyectos programados.

#### INFORME FINANCIERO

El estado de cuentas de la Comisión para el año fiscal 1988–1989 fue comprobado por Peat, Marwick, Mitchell and Co. En el Anexo 2 del presente informe se presentan las tablas compendiadas del informe de los mismos.

#### COLABORACION ENTRE ENTIDADES AFINES

Durante 1989 el equipo de investigadores continuó desarrollando vínculos estrechos con organizaciones e instituciones investigativas universitarias, gubernamentales, y privadas a nivel local, nacional, e internacional. Esta reciprocidad permite que los investigadores se mantengan al corriente de los avances y el desarrollo actual en la investigación pesquera y oceanográfica mundial. A continuación se describen algunos aspectos de dichas relaciones.

Las oficinas principales de la Comisión se encuentran en los terrenos de Scripps Institution of Oceanography en La Jolla, California, uno de los principales centros mundiales de ciencias marinas y sede de varias agencias federales y estatales de pesca, oceanografía, y ciencias auxiliares. Esta ubicación fomenta el contacto frecuente entre los investigadores de la CIAT y los científicos de estas entidades.

Durante muchos años se han mantenido relaciones cordiales y productivas con la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (CICAA), la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA), la South Pacific Commission (SPC), y otros organismos internacionales. En 1989, por ejemplo, dos miembros del personal de la CIAT asistieron a una reunión preliminar de la Asesoría Experta sobre las Interac-

ciones de las Pesquerías Atuneras del Océano Pacífico, promovida por la FAO en Noumea, Nueva Caledonia. Uno de ellos está actuando como Presidente de los grupos de trabajo sobre el aleta amarilla del Pacífico oriental y el barrilete del mismo área, y el otro como Presidente del grupo de trabajo sobre el aleta azul del norte.

Durante 1989 la Comisión continuó su estrecha colaboración con agencias pesqueras de naciones afiliadas a la CIAT y con organismos similares de diversos países no afiliados. Desde 1977 los investigadores de la CIAT han entrenado técnicos científicos para la toma de datos, a bordo de barcos atuneros, sobre la abundancia, la mortalidad, y otros aspectos de la biología de los delfines. Diversas organizaciones gubernamentales e instituciones educativas, así como representantes del sector industrial, han colaborado activamente en el entrenamiento y embarque de estos técnicos. A través de los años, científicos y estudiantes de muchos países han visitado la oficina principal de la Comisión, permaneciendo durante varias semanas o meses, aprendiendo nuevos métodos de investigación o utilizando los datos de la CIAT para sus estudios. En la sección titulada CIENTIFICOS Y ESTUDIANTES EN VISITA se enumeran aquellos cuyas visitas duraron más de 2 semanas. Asimismo, científicos de la CIAT que viajan a otros países por razones profesionales con frecuencia ayudan a los científicos de aquellos países con sus investigaciones relacionadas a la pesca del atún, y de vez en cuando viajan al extranjero con el propósito específico de prestar ayuda en tales programas investigativos. En 1989, por ejemplo, un científico de la CIAT presentó una serie de ponencias en el École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, en Rennes, Francia, y otro empleado de la CIAT participó en la planificación y realización de un curso sobre el modelado de los recursos naturales realizado en el Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores en Ensenada, México, abierto a estudiantes de todos los países latinoamericanos.

El laboratorio de investigación de la CIAT en la República de Panamá, descrito en la sección titulada **OFICINAS REGIONALES**, permite una colaboración más estrecha entre los investigadores de la CIAT y el personal de las agencias pesqueras panameñas. Los científicos de la Comisión en dicho laboratorio han ayudado a científicos locales con proyectos de investigación fuera del campo de los túnidos, sobre los pargos, por ejemplo. Se han logrado importantes avances en este tema, que se analizan en la sección titulada **Estudios de los recursos de pargo**.

# CIENTIFICOS Y ESTUDIANTES EN VISITA

EL Sr. Yoshio Ishizuka, del Far Seas Fisheries Research Laboratory (ahora el National Research Institute of Far Seas Fisheries) en Shimizu (Japón), pasó el período del 2 de septiembre de 1988 al 20 de enero de 1989 en La Jolla, colaborando con científicos de la CIAT en un estudio del atún aleta azul.

Los Lics. Mauricio Lima y Enrique Paez, biólogos de la Industria Lobera y Pesquera del Estado de Uruguay, estuvieron en La Jolla del 1 al 18 de agosto de 1989, consultando con científicos de la CIAT sobre los métodos de análisis de las tendencias poblacionales de las focas peleteras.

El Dr. Bruce S. Miller y el Sr. John Stadler, profesor y estudiante respectivamente en la Universidad de Washington, pasaron una temporada en el Laboratorio de Achotines entre marzo y junio de 1989, dedicándose principalmente a la identificación de los peces del área, la determinación de sus asociaciones con el hábitat, y la estimación de su abundancia relativa.

# OFICINAS REGIONALES

La Comisión mantiene oficinas regionales en Manta (Ecuador); Terminal Island, California, y Mayaguez, Puerto Rico, (EE.UU); Ensenada (México); Panamá (República de Panamá); Coishco (Perú); y Cumaná (Venezuela). Los científicos y técnicos allí radicados obtienen estadísticas de los

desembarcos, recopilan las bitácoras de los barcos atuneros para obtener datos de captura y esfuerzo, toman medidas y demás datos biológicos de los peces, y colaboran en el entrenamiento y embarque de los técnicos científicos que acompañan a los barcos que participan en el programa atún-delfin de la Comisión. Este trabajo no sólo se lleva a cabo en los puertos arriba nombrados, sino que también se efectúa en otros puertos de Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Panamá, Perú, Puerto Rico, y Venezuela, visitados periódicamente por el personal de las oficinas regionales. Sin embargo, dicho personal no desempeña todas estas labores en todos los países arriba enumerados: por ejemplo, en 1989 las actividades relacionadas con el programa atún-delfín se llevaron a cabo solamente en Ecuador, México, Panamá, y Venezuela.

La Comisión mantiene además un laboratorio en la República de Panamá, situado en la Bahía de Achotines, al oeste de Punta Mala en la Península de Azuero. Dicho laboratorio se emplea principalmente para estudios de las primeras etapas del ciclo vital de los atunes. Estos estudios son muy importantes, ya que información sobre el ciclo vital de los atunes antes de su reclutamiento a la pesquería servirá para eliminar, en gran medida, la incertidumbre en las evaluaciones de la condición de los diversos stocks de túnidos. La Comisión piensa ampliar las instalaciones del laboratorio para poder acomodar a investigadores de otras agencias, como por ejemplo personal de la Dirección General de Recursos Marinos de Panamá, la Universidad de Panamá, etc.

# PUBLICACIONES E INFORMES

La publicación pronta y completa de los resultados de la investigación es uno de los elementos más importantes del programa científico de la Comisión. Por este medio los gobiernos miembros, la comunidad científica, y el público en general se mantienen informados de los resultados de las investigaciones realizadas por los científicos de la CIAT. La publicación de datos básicos, métodos de análisis, y las conclusiones resultantes permiten que otros investigadores evalúen y critiquen los estudios, lo que sirve para verificar la validez de los resultados logrados por el personal de la CIAT y al mismo tiempo despertar el interés de otros investigadores en dicha labor. A fines de 1989 el personal de la CIAT había publicado 128 Boletines, 38 Informes anuales, 6 Informes Especiales, 5 libros, y 348 capítulos y artículos en libros y revistas externas. En el Anexo 3 del presente informe se enumeran las contribuciones del equipo de investigadores publicadas durante 1989.

# LA PESQUERIA

# ESTADISTICAS DE CAPTURAS Y DESEMBARCOS

El área de interés principal para el personal de la CIAT es el Océano Pacífico oriental (OPO), definido como la zona entre el litoral de las Américas y 150°W.

Los datos estadísticos de las oficinas regionales de la Comisión se recopilan y procesan en forma ininterrumpida. Se dispone por lo tanto de estimaciones de estadísticas pesqueras de diversos grados de exactitud y precisión. Se puede tardar un año o más en obtener cierta información definitiva, y se ha estado actualizando los datos de años anteriores; por lo tanto las estadísticas anuales aquí presentadas son las más actuales, y reemplazan a aquellas publicadas anteriormente. Los tonelajes se expresan en toneladas cortas.

En la Tabla 1 se presentan estimaciones anuales de la captura de distintas especies de atunes y especies afines desembarcadas por la flota atunera del Pacífico oriental (ver sección siguiente). Se incluyen solamente las capturas con artes de superficie, más las capturas de aleta amarilla, *Thunnus albacares*, logradas por la flota palangrera japonesa en el Area de Regulación de la Comisión para el Aleta Amarilla (ARCAA) (Figura 1). Los datos de captura del aleta amarilla en el

ARCAA y del barrilete, *Katsuwonus pelamis*, y aleta azul, *Thunnus thynnus*, en el OPO son casi completos, salvo las cantidades mínimas de las tres especies capturadas por barcos de pesca deportiva y artesanal, y las capturas insignificativas de barrilete y aleta azul logradas por la pesca palangrera. Los datos de captura del Océano Pacífico occidental y el Océano Atlántico señalados en la Tabla 1 no son estimaciones de la captura total en dichas zonas puesto que no incluyen datos de embarcaciones que no pescaron en el OPO durante el año en cuestión. La Tabla 1 no incluye las capturas sustanciales de aleta amarilla logradas con palangre en el OPO fuera del ARCAA, ni tampoco las grandes cantidades de patudo, *Thunnus obesus*, capturado por la pesca palangrera en el OPO; se incluyen esas capturas en las Tablas 30 y 35.

No se impusieron restricciones sobre la pesca de atunes en el OPO entre 1979 y 1988, y por lo tanto se comparan las estadísticas de 1989 con aquellas de 1979–1988. Durante este período ocurrió un importante evento de El Niño, que comenzó hacia fines de 1982 y persistió hasta fines de 1983. Las tasas de captura en el OPO fueron bajas durante este Niño, lo cual causó un traslado del esfuerzo de pesca del Pacífico oriental al occidental, y el esfuerzo permaneció bastante bajo durante 1984–1986.

La captura media de aleta amarilla en el ARCAA en el período 1979–1988 fue 189.7 mil toneladas (rango: 91.4 a 296.0). La estimación preliminar de la captura de aleta amarilla en el ARCAA en 1989 es de 267.6 mil toneladas. Durante 1979–1988 la captura media de aleta amarilla en el área entre el límite del ARCAA y 150°W fue 24.4 mil toneladas (rango: 13.5 a 44.3). La estimación preliminar de la captura de aleta amarilla en este área en 1989 es de 50.3 mil toneladas. La mayor captura de este área fue 50.8 mil toneladas en 1976. La captura estimada de aleta amarilla en el OPO en 1989, 317.9 mil toneladas, es inferior solamente a la captura de 1988, 318.9 mil toneladas.

En la Figura 2 se presenta la distribución anual media de las capturas cerqueras registradas de aleta amarilla en el OPO durante 1979–1988, y en la Figura 3 una estimación preliminar para 1989. A medida que cambian las condiciones de pesca a lo largo del año, cambian las zonas de capturas mayores. Durante el primer trimestre de 1989, la captura de aleta amarilla fue limitada generalmente a zonas dentro del ARCAA, principalmente en las zonas costeras; las capturas en estas zonas continuaron en el segundo trimestre, con areas de capturas grandes observadas cerca de la costa entre 10°N y 23°N. Durante el segundo trimestre aumentaron las capturas de alta mar entre 6°N y 12°N desde 120°W hasta 140°W. Las capturas del tercer trimestre estuvieron distribuidas de forma bastante uniforme entre 6°N y 15°N desde 84°W hasta 130°W, con zonas de capturas altas cerca del litoral. También se incrementaron las capturas frente a la costa de América del Sur en la zona entre 4°S y 1°N al este de 90°W. Durante el cuarto trimestre se lograron las mayores capturas entre 5°N y 12°N desde 80°W hasta 110°W.

Entre 1979 y 1988 la captura media de barrilete en el OPO fue 94.8 mil toneladas (rango: 54.5 a 145.5). La estimación preliminar de la captura de barrilete en el OPO en 1989 es 100.4 mil toneladas, la mayor cantidad capturada desde 1982, pero inferior a las capturas de 1979–1982.

En la Figura 4 se presenta la distribución media anual de las capturas cerqueras de barrilete en el OPO en 1979–1988, y en la Figura 5 una estimación preliminar de 1989. En 1989 las capturas de barrilete estuvieron concentradas en dos áreas: entre  $2^{\circ}$ N y  $10^{\circ}$ N entre la costa y  $100^{\circ}$ W y cerca del litoral mexicano entre  $20^{\circ}$ N y  $28^{\circ}$ N.

El aleta amarilla y barrilete forman la mayor parte de la captura total del OPO, pero el aleta azul, patudo, albacora (*Thunnus alalunga*), barrilete negro (*Euthynnus lineatus*), bonito (*Sarda orientalis*), y otras especies contribuyen también. La captura total de estas otras especies en el OPO fue de unas 20.0 mil toneladas en 1989, comparado con el promedio de 1979–1988 de 17.4 mil toneladas (rango: 9.2 a 32.7). La captura estimada de todas especies en el OPO en 1989 fue de unas 438.4 mil toneladas, cantidad que bate el récord anterior, 434.6, establecido en 1976.

Los barcos atuneros que pescan en el OPO pescan de vez en cuando en otras zonas en el mismo año. En 1989 varios barcos que formaban parte de la flota del Pacífico oriental pescaron también en el Pacífico occidental y/o en el Atlántico y Caribe. En 1979–1988 la captura mediana lograda por estos barcos en el Pacífico occidental fue unas 8.0 mil toneladas (rango: 3.3 a 83.6), y en el Atlántico y Caribe unas 9.6 mil toneladas (rango 0.5 a 17.3). Las capturas máximas logradas en otras zonas por barcos de la flota del Pacífico oriental fueron logradas en 1983, año en el cual se registró la captura más baja en el OPO (180.4 mil toneladas) desde 1960 (173.6 mil toneladas). Las estimaciones preliminares indican que las capturas totales de 1989 en esas zonas por barcos de la flota del Pacífico oriental se cifraron en unas 0.3 mil toneladas en el Pacífico occidental y 4.9 mil toneladas en el Atlántico y Caribe.

En las Tablas 2 y 3 se presentan las estimaciones de las capturas, clasificadas por bandera, y de los descargues, clasificados por país, de atunes en el OPO. Los descargues representan pescado descargado en el año civil, sin tener en cuenta el año en que fue capturado. El país de descargue es aquel en el cual se descargó el pescado del barco, o en el caso de trasbordos, el país que recibió el pescado trasbordado.

De la captura total de aleta amarilla del OPO en 1988 (318.9 mil toneladas) el 93% provino del ARCAA; barcos mexicanos, estadounidenses, venezolanos, y ecuatorianos tomaron el 37%, 31%, 14%, y 9% de la captura, respectivamente. En 1989 se logró el 84% de la captura total de aleta amarilla del OPO, 317.9 mil toneladas, dentro del ARCAA. Barcos mexicanos, estadounidenses, venezolanos, y ecuatorianos fueron responsables del 41%, 27%, 16%, y 6%, respectivamente, de la captura del OPO.

Se descargan más atunes capturados por la flota del Pacífico oriental en los Estados Unidos que en cualquier otro país. De las 429.4 mil toneladas descargadas en 1989 (Tabla 3), 170.0 mil toneladas (40%) fueron descargadas allí, seguido por México (92 mil toneladas; 21%) y Ecuador (53.6 mil toneladas; 13%). Otros países con descargues significativos de atunes capturados en el OPO incluyeron Italia, Japón, y Venezuela. Una vez se disponga de información final, es posible que se asignen algunos descargues a diferentes países, debido a la exportación de pescado almacenado a plantas procesadores en otros países.

Bajo las estipulaciones del Convenio que estableció la Comisión Interamericana del Atún Tropical, el objetivo principal de las investigaciones de la Comisión es vigilar la condición de los stocks de atunes y otras especies capturadas por la pesca atunera del OPO. Tomando en cuenta las migraciones de los atunes, la movilidad de los barcos de las flotas atuneras de los distintos países, y el carácter internacional del comercio del atún, las estadísticas de captura y esfuerzo del Pacífico oriental deben ser vistas en la luz de las estadísticas mundiales. El personal de la CIAT estima rutinariamente las capturas mundiales de los atunes y especies afines. En el Informe Interno  $N^{\circ}$  11 de la CIAT se describe la metodología utilizada para obtener estas estimaciones. En las Figuras 6 y 7 se presentan las capturas mundiales estimadas de atunes y especies afines en 1988, el año más reciente para el cual se dispone de datos. En la Figura 8 se ilustran las capturas de las principales especies comerciales de atunes en 1975–1988, por océano.

# LA FLOTA ATUNERA DEL PACIFICO ORIENTAL

El personal de la CIAT mantiene registros del arte de pesca, bandera, y capacidad de acarreo de la mayoría de los barcos que pescan atunes aleta amarilla, barrilete, o aleta azul en el OPO. No se mantienen registros de los barcos palangreros de bandera de países de Lejano Oriente, ni de barcos de pesca deportiva ni embarcaciones pequeñas tales como canoas y lanchas. La flota del Pacífico oriental aquí descrita incluye barcos que pescaron aleta amarilla, barrilete, o aleta azul en el OPO durante el año entero o parte del mismo.

Se usan las estimaciones de capacidad del armador o astillero del barco a menos de que los registros de descargue indiquen que sea apropiado revisarlas. Para los registros se dividen los barcos por capacidad de acarreo en las siguientes clases de capacidad: Clase 1, menos de 51 toneladas cortas; Clase 2, 51–100 toneladas; Clase 3, 101–200 toneladas; Clase 4, 201–300 toneladas; Clase 5, 301–400

toneladas; y Clase 6, más de 400 toneladas. (No se deben confundir éstas clases con los ocho grupos de tamaño usados para calcular la captura por tonelada de capacidad de acarreo en la sección titulada *Captura por tonelada de capacidad de acarreo*.) Con la excepción de los palangreros y las embarcaciones pequeñas misceláneas descritas en el párrafo anterior, se incluyen todos los barcos que pescaron en el OPO durante el año en las estimaciones anuales del tamaño de la flota de superficie.

Hasta 1960 predominaron en la pesca de atunes en el OPO los barcos de carnada, que operaban en las zonas costeras y cerca de islas de altamar. Hacia fines de los años 50 y a principios de los 60, se convirtió la mayoría de los barcos de carnada grandes a cerqueros, y en 1961 formaban éstos la mayor parte de la flota epipelágica del OPO. Entre 1961 y 1989 el número de barcos de carnada se redujo de unos 100 a 30, y la capacidad disminuyó de unas 10 mil a unas 3 mil toneladas. En el mismo período el número de cerqueros aumentó de unos 125 a 180, y la capacidad subió de unas 30 mil a casi 140 mil toneladas. Tanto el número como la capacidad alcanzaron un máximo durante 1978–1981, cuando el número de barcos osciló entre 247 y 268, y la capacidad entre 181 y 185 mil toneladas (Tabla 4).

La construcción de nuevos cerqueros de mayor tamaño, que comenzó a mediados de los años 60, resultó en un aumento en la capacidad de la flota de 46.3 mil toneladas en 1966 a 184.6 mil toneladas en 1976. Entre 1977 y 1981 la capacidad permaneció bastante estable, aumentando en tan sólo unas 1.6 mil toneladas. Se prosiguió la construcción de barcos nuevos durante este período, pero la capacidad adicional se vió compensada por pérdidas ocasionadas por barcos que se hundieron o que abandonaron la pesquería. En 1982 ocurrió una reducción de 16.2 mil toneladas en la capacidad de la flota, debido al retiro de barcos o a su traslado a otras zonas de pesca, principalmente el Pacífico occidental. Esta tendencia continuó en 1983 a medida que disminuyeron las tasas de captura en el OPO, principalmente a raíz de las condiciones oceánicas anómalas de 1982-1983. En 1983 la capacidad de la flota se redujo en 28.8 mil toneladas, y en 1984 se redujo en 25.4 mil toneladas más; en aquel año alcanzó el nivel más bajo desde 1971, unas 116.5 mil toneladas. No obstante, en 1985 aumentó a unas 129.7 mil toneladas, debido principalmente al regreso de barcos del Pacífico occidental, pero en 1986 se redujo de nuevo a unas 124.5 mil toneladas. Durante 1987 se reactivaron varios barcos, y otros regresaron del Pacífico occidental al OPO a pescar, lo cual resultó en un aumento en la capacidad de la flota a unas 146.0 mil toneladas. Esta tendencia continuó en 1988, resultando en una capacidad estimada de la flota de 151.4 mil toneladas, la mayor observada desde 1982 (Tabla 4). La capacidad de la flota en 1989 fue de unas 136.5 mil toneladas.

En la Tabla 5 se presentan los datos finales de 1988 y preliminares de 1989 del número y capacidad de acarreo de barcos de arte de superficie en la flota del OPO. Predominaron en ambos años barcos de bandera mexicana, estadounidense, y venezolana, que juntos formaron un 85% de la capacidad total de la flota. La flota mayor fue la mexicana, con el 36% de la capacidad total en 1988 y el 39% en 1989, seguida por la estadounidense (30% y 25%, respectivamente) y la venezolana (20%, ambos años). La mayoría de la capacidad total de la flota del OPO consiste de embarcaciones cerqueras de más de 400 toneladas de capacidad de acarreo. En 1988 y 1989 el 92% de la capacidad total que operó en el OPO en 1988 consistió de barcos de este tipo.

En la Figura 9 se presentan los valores medios, mínimos, y máximos mensuales del tonelaje de capacidad en el mar (CEM) en el OPO durante 1979–1989, junto con los de 1989. Los valores mensuales son los promedios de los valores de las estimaciones de la CEM incluídas en el informe semanal. Se escogieron los valores de 1979–1988 para comparar con los de 1989 porque los años anteriores, en los cuales regían reglamentaciones, muestran distribuciones temporales del esfuerzo algo diferentes, a raíz de la restricción de la pesca del aleta amarilla en el ARCAA. Los valores de la CEM de 1989 no son significativamente diferentes a los valores medios de 1979–1988. La CEM máxima de 1989 ocurrió en noviembre (97.2 mil toneladas), y la mínima en septiembre (74.0 mil toneladas).

# REGLAMENTACION DE LA PESQUERIA

En años anteriores, los investigadores de la CIAT han recomendado el establecimiento de cuotas de captura del atún aleta amarilla en el ARCAA, las que han sido aprobadas en las resoluciones de la Comisión y puestas en práctica por las naciones que participan en la pesquería. Entre 1966 y 1979 se aprobaron y pusieron en vigor cuotas anuales, pero se llegó a un acuerdo sobre una cuota para 1979 tan tarde que ésta no tuvo efecto. En la VII Reunión de la CIAT, celebrada en octubre de 1979, no se llegó a un acuerdo sobre el programa de conservación del atún aleta amarilla para 1980. Posteriormente se acordó una cuota de 165,000 toneladas cortas, con una cláusula que autorizaba un aumento a discreción del Director de la CIAT; sin embargo, la cuota no entró en vigencia. En las próximas seis reuniones, el personal de la CIAT recomendó cuotas de 160,000 toneladas en 1981 y 1982, 170,000 toneladas en 1983, 162,000 toneladas en 1984, 174,000 toneladas en 1985, y 175,000 toneladas en 1986, con incrementos facultativos a discreción del Director, con base en los resultados de los análisis de la condición del stock efectuados por los investigadores. Dichas cuotas fueron aprobadas pero no entraron en vigencia. En la XLIV Reunión no se recomendó una cuota para 1987, debido a circunstancias especiales que resultaron en una abundancia extraordinariamente elevada de aleta amarilla en el Pacífico oriental, pero se hizo hincapié en que una cuota de captura sería muy probablemente necesaria en el futuro. En la XLV Reunión, celebrada en marzo de 1988, se recomendó una cuota de 190 mil toneladas, con dos incrementos facultativos de 30 mil toneladas cada uno. Se aprobó esta cuota, pero no se puso en vigor. En la XLVI Reunión, celebrada en mayo de 1989, el personal científico recomendó una cuota 220,000, con la opción de sobrepasar este límite por dos incrementos de 30,000 cada uno. De nuevo, se aprobó la resolución (ver texto en la páginas 190-191), pero no se puso en vigor.

No se ha demostrado, hasta la fecha, la necesidad de aplicar medidas de conservación a otras especies de túnidos explotados por la pesca en el OPO.

#### LA INVESTIGACION

# BIOLOGIA DE LOS TUNIDOS

#### Tendencias anuales en la captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

Los investigadores de la Comisión emplean la captura por día de pesca (CPDP) y la captura por día estándar de pesca (CPDEP) como índices de abundancia aparente y también como una medida general del éxito de la pesca. Los datos se obtienen de los registros de bitácora de la mayoría de las embarcaciones que pescan atún en el Océano Pacífico oriental (OPO). Los datos que no se ajustan a ciertos criterios de exactitud y composición de las especies se eliminan del análisis antes de realizar los cálculos. Durante los años 50, cuando la mayor parte de la captura era lograda por barcos de carnada, los datos de captura y de la CPDP de los barcos de carnada de diferentes clases de arqueo se estandardizaban para calcular la CPDEP para barcos de carnada de la Clase 4 de arqueo (embarcaciones con capacidad de 201-300 toneladas cortas de atún congelado). Posteriormente, cuando la mayor parte de las embarcaciones fueron adaptadas a la pesca con red de cerco, los datos de captura y de CPDP de los barcos cerqueros se estandardizaron para calcular la CPDEP para cerqueros de la clase 3 de arqueo (embarcaciones de 101 a 200 toneladas cortas de capacidad). A medida que se reemplazaban los barcos pequeños por embarcaciones más grandes, se comenzó a calcular la CPDEP para cerqueros de la clase 6 de arqueo (embarcaciones con más de 400 toneladas cortas de capacidad) y finalmente se calculó la CPDP para cerqueros de la clase 6 de arqueo, omitiendo datos correspondientes a barcos más pequeños. La CPDP y la CPDEP pueden verse afectadas por ciertos factores, tales como los cambios temporales y geográficos en la estrategia

pesquera, la distribución del esfuerzo, y la vulnerabilidad de los peces con respecto a la captura. Algunos de estos cambios pueden calcularse, haciendo los ajustes correspondientes, suponiendo que otros, tales como los provocados por condiciones ambientales, se compensan a la larga.

Los datos combinados de la CPUE de aleta amarilla y barrilete durante el período 1959–1989 se señalan en el recuadro superior de la Figura 10. Los datos del período 1968–1989 son datos de la CPDEP de barcos cerqueros de la clase 6 de arqueo. Los del período 1959–1967 son datos de la CPDEP de barcos de carnada de la clase 4 de arqueo, multiplicados por 2.82; este ajuste es una compensación por el hecho de que los cerqueros de la clase 6 de arqueo son aproximadamente 2.82 veces más eficientes que los barcos de carnada de la clase 4 de arqueo. El factor de ajuste de 2.82 se calculó a partir de datos combinados de la CPDP de aleta amarilla y barrilete de cerqueros de la clase 6 de arqueo y barcos de carnada de la clase 4 de arqueo que pescaron en el mismo estrato de tiempo y zona entre 1965 y 1974, período en que una cantidad suficiente de ambos tipos de barcos se dedicaron a esta pesquería. Puesto que los datos del período 1968–1989 corresponden a la clase 6 de arqueo y los del período 1959–1967 fueron ajustados al equivalente de la CPDP para embarcaciones de la clase 6 de arqueo, de ahora en adelante se denominarán datos de la CPDP.

Para estimar el esfuerzo total en días cerqueros de embarcaciones de la clase 6 de arqueo, las capturas totales y combinadas de aleta amarilla y barrilete obtenidas al este de 150°W en viajes no regulados durante cada año se dividieron por la CPDP de ambas especies obtenidas en viajes no regulados. A continuación se dividieron las capturas totales de aleta amarilla y de barrilete por estas estimaciones del esfuerzo total para obtener la CPDP de cada especie. Los datos correspondientes se señalan en el recuadro central y en el recuadro inferior de la Figura 10.

# Aleta amarilla

El valor preliminar de la CPDP en 1989, 13.8 toneladas/día, es inferior tan sólo a los de 1960, 1968, y 1986 (14.2, 14.3, y 16.3 toneladas/día, respectivamente). Durante el período 1959–1972 la CPDP osciló entre 9 y 14 toneladas/día, alcanzando valores mínimos en 1959, 1962, y 1971, y máximos en 1960, 1968, y 1969. A partir de 1973 la CPDP comenzó a disminuír, llegando a un valor mínimo de 4.9 toneladas en 1982, momento a partir del cual comenzó a recuperarse notablemente. Sin embargo, la pesquería ha cambiado mucho desde los años 60, por lo que se debe proceder con cautela al comparar datos de años precedentes con los de años más recientes. El problema principal se debe a que la pesca con carnada se realiza relativamente cerca de la costa y casi exclusivamente al norte de 15°N, mientras que la pesca cerquera es tanto costera como de altura y opera hasta aproximadamente 20°S. Los valores de la Figura 10 son ligeramente diferentes a aquellos de la Tabla 30 porque los valores de la figura se obtuvieron a partir de datos de capturas totales de aleta amarilla y barrilete, mientras que los datos de la tabla corresponden a datos de captura de aleta amarilla solamente.

#### Barrilete

Durante el período 1959–1968 la CPDP media del barrilete fue de aproximadamente 10.0 toneladas diarias, con un máximo de 16.0 toneladas en 1967 y un mínimo de 5.5 toneladas en 1960 (Figura 10). A fines de la década de 1960 muchos cerqueros pequeños fueron reemplazados por otros más grandes, para los cuales era más rentable pescar en zonas de mayor abundancia de aleta amarilla y menor abundancia de barrilete, produciéndose así valores de CPDP de barrilete reducidos. Durante el período 1969–1989, la CPDP media fue de unas 4 toneladas diarias, con un máximo de 7.6 toneladas en 1971 y mínimos de 2.4 toneladas en 1972 y 1973. Al igual que en el caso del aleta amarilla, se debe proceder con cautela al comparar datos más antiguos con datos más recientes. Además del probable sesgo causado por el hecho de que, en años recientes, el esfuerzo se dirigió en mayor medida a la pesca de aleta amarilla y en menor medida a la del barrilete, se debe considerar el

problema creado por al alcance restringido de la pesca con carnada, señalado en la sección sobre aleta amarilla.

# Captura por tonelada de capacidad de acarreo

La captura por tonelada de capacidad de acarreo (CPTCA) de la flota en el OPO proporciona un índice de las tendencias en el ingreso anual bruto relativo correspondiente a las varias clases de arqueo. Para lograr más detalle en este índice de lo que proporcionan las seis clases de arqueo usadas tradicionalmente por la Comisión para clasificar los barcos, se identificaron las clases de arqueo siguientes: 1 < 301 toneladas; 2 < 301-400 toneladas; 3 < 401-600 toneladas; 4 < 601-800 toneladas; 5 < 801-1000 toneladas; 6 < 601-1000 toneladas; 6 < 601

En la Tabla 6 se presentan las estimaciones del CPTCA para el OPO y para todas las áreas oceánicas de pesca en las cuales barcos de la flota del OPO capturaron pescado, por clase de arqueo, área, y especie. La CPTCA de los barcos mayores consiste principalmente de aleta amarilla y barrilete, mientras que otras especies, entre ellas otros atunes y peces misceláneos, forman una parte importante de la CPTCA de los barcos más pequeños en muchos años. En años anteriores, y en aquellos años cuando la mayoría de la flota del OPO ejerce la mayoría de su esfuerzo pesquero dentro del OPO, las CPTCA del OPO y de todas las áreas oceánicas de pesca son casi iguales. Durante el período de 1979–1988, el promedio de la CPTCA combinada de todos barcos y todas especies en el OPO fue de 2.1 toneladas de pescado por tonelada de capacidad de acarreo (rango: 1.2 a 3.0); para el aleta amarilla, el promedio fue 1.4 toneladas (rango: 0.7 a 2.4), y para el barrilete, 0.6 toneladas (rango: 0.4 a 0.7). Las estimaciones preliminares para 1989 son 3.2, 2.3, y 0.7 toneladas para todas las especies, aleta amarilla, y barrilete, respectivamente.

# Estandardización de las tasas de captura del aleta amarilla

En el Boletín de la CIAT, Vol. 19,  $N^\circ 3$  se describe una alternativa a la captura por día de pesca como índice de la abundancia anual relativa del aleta amarilla. Con el índice alternativo se define cada observación de la tasa de captura como el tonelaje capturado en un lance dividido por las horas de búsqueda desde el lance anterior. Para estimar la abundancia media para el año entero y el Océano Pacífico oriental (OPO) entero se ponderan los datos de tal forma que cada cuadrángulo de 5°-mes recibe una ponderación proporcional al área superficial de océano que contiene y cada hora de búsqueda recibe igual ponderación dentro de un cuadrángulo de 5°-mes. Se utiliza entonces un modelo lineal generalizado para estimar la variación anual en las tasas de captura independiente de las tendencias en la eficacia del barco, las condiciones ambientales, y los métodos de pesca.

Existen datos sobre muchos factores que pudieran posiblemente influir sobre las tasas de captura del aleta amarilla. Se investigaron los factores siguientes, utilizando datos de 1970–1985: la capacidad y velocidad del barco, si el barco llevaba o no un helicóptero, si llevaba o no equipo sonar, la longitud y profundidad de la red, el capitán, la temperatura de la superficie del mar, la velocidad y dirección del viento, el lugar y hora de la pesca, el tipo de lance (cardumen puro, delfín, u objeto flotante), y si se capturó también barrilete. Una vez eliminados aquellos factores que no ejercían un efecto importante, el modelo incluía los efectos de año, velocidad del barco, clasificación de la búsqueda, temporada-área, y la interacción entre clasificación de búsqueda y temporada-área. La clasificación de búsqueda (Tabla 7) es una combinación de los efectos del tipo de lance y del barrilete. En la Figura 11 se describe temporada-área. Los efectos de año son las diferencias anuales en las tasas de captura no atribuibles a las demás variables en el modelo. Sirven de índices de abundancia estandardizados por las demás variables.

Tal como se muestra en la Figura 12, la tendencia de los índices es al mismo tiempo diferente y similar a la CPDP. Los índices del modelo lineal no muestran las grandes fluctuaciones de 1970–1974 que muestra la CPDP; sin embargo, ambos muestran una reducción precipitada en 1975 y una

recuperación marcada en 1976. La reducción en 1976–1982 y el aumento de 1983–1986 son más paulatinos en los índices del modelo lineal. Parece que cuando se cambia de lances sobre delfines a lances sobre objetos flotantes, tal como hizo la flota en 1974–1982, la CPDP subestima la abundancia del aleta amarilla, mientras que la sobreestima cuando vuelva a cambiar a lances sobre delfines, tal como ocurrió durante 1984–1989.

A partir de principios de 1988, se ha instalado en muchas embarcaciones cerqueras un "radar de pájaros" (banda S). Con este aparato es posible detectar bandadas de aves, y por consiguiente los peces asociados, con una precisión y a distancias mucho mayores que anteriormente. Esto pudiera sesgar por exceso las estimaciones de la abundancia del aleta amarilla en 1988 y 1989. Por lo tanto, el personal de la ClAT está recolectando datos sobre este tipo de radar para permitir evaluar sus efectos sobre las tasas de captura, y ajustar por ellos en el futuro.

Una de las limitaciones principales del uso de estimaciones de abundancia total es que, aún cuando son correctas, no proporcionan ninguna información sobre la estructura de edades. Ya que la condición de la población depende de dicha estructura, es útil analizar las tasas de captura por grupos de talla o edad.

Se prepararon estimaciones mensuales de la abundancia aparente del aleta amarilla, clasificado por grupo de edad y región dentro del OPO durante 1970–1988 a partir de los datos de las tasas de captura de barcos cerqueros y las frecuencias de talla de los peces capturados por esos barcos. Se estimó el número de individuos de cada grupo de edad capturado en cada lance cerquero registrado a partir del tonelaje en el lance en cuestión y la distribución de frecuencia de talla de los peces de la muestra o las muestras de frecuencia de talla "más cercana(s)." "Más cercana" significa la muestra o las muestras de frecuencia de talla más parecida(s) al lance en cuestión en cuanto a hora, distancia, tipo de lance, y si también se capturó barrilete, elegida(s) con la técnica descrita en el Informe Anual de la ClAT de 1988, páginas 216–217. Se definieron inicialmente las tasas de captura como el número estimado de individuos del grupo de edad capturado por hora de búsqueda. A continuación, para eliminar los efectos del tipo de lance y la velocidad del barco, se estandardizaron las tasas, usando un modelo lineal generalizado ponderado distinto para cada grupo. Se estimó la tasa de captura estandardizada al centro de cada cuadrángulo-mes de 2.5°, aplicando regresiones de cuadrados mínimos ponderadas localmente a la latitud, longitud, y hora, y a continuación se combinaron estas tasas en las regiones mayores ilustradas en la Figura 11. Las tasas de captura dentro de estas regiones fueron convertidas en números de peces, usando la composición media por edad de los análisis de cohortes (Figura 13). Las varianzas de las estimaciones de abundancia dentro de las regiones son grandes para los peces de 0, 1, y 5 años de edad, pero pequeñas para los 1.5 a 4 años de edad, excepto durante períodos de baja actividad pesquera. Las estimaciones de las tasas de captura medias anuales para el OPO entero, para los grupos de edad de entre 1.5 y 4 años, están correlacionadas positivamente de forma significativa con las estimaciones de abundancia media a partir de los análisis de cohortes. Se espera que los índices de abundancia basados en las tasas de captura por edad sean útiles, en combinación con los datos de la biología reproductora, para la estimación de la producción total de huevos dentro de las regiones. Las estimaciones pudieran también ser útiles para obtener un concocimiento mejor de las variaciones geográficas y temporales de la disponibilidad específica para cada edad a las artes de pesca cerqueras, así como de los movimientos específicos para cada edad.

Los resultados del análisis de las tasas de captura por edad y región son tan cuantiosos que no sería práctico mostrarlos enteramente. Para ésto sería necesario una representación en seis dimensiones de las tasas de captura de todas las cohortes por latitud, longitud, y mes, con intervalos de confianza, y por lo tanto se presentan solamente ejemplos de los resultados. Los ejemplos seleccionados representan la abundancia aparente relativa de cuatro cohortes durante su estancia en la pesquería en las seis regiones delineadas en la Figura 11. (La cohorte 1980X ingresó a la pesquería por primera vez en pequeñas cantidades hacia fines de 1980 y contribuyó a ella de forma

significativa durante 1981. La cohorte 1980Y ingresó a la pesquería por primera vez en pequeñas cantidades a mediados de 1980 y contribuyó a ella de forma significativa hacia fines de 1980.) No se presentan ejemplos de la década de los 70 a raíz de la dificultad de estimar y presentar datos de las temporadas en las cuales la pesca del aleta amarilla estaba reglamentada. Ya que puede ser grande la variación en el número estimado de aletas amarillas de la cohorte i en la región r en el mes  $m, N_{irm}$ es ventajoso presentar los resultados en unidades de  $\ln(\hat{N}_{irm})$ . En la Figura 13 se presentan las abundancias aparentes de las cohortes en relación al mes de primer reclutamiento, es decir,  $\hat{R}_{irm}$  =  $\ln(\hat{N}_{irm}) - (\hat{N}_{iF0})$ , donde  $\hat{R}_{irm}$  es el logaritmo de la abundancia aparente relativa, y  $\hat{N}_{iF0}$  es la abundancia aparente de la i-gésima cohorte, en la región F, a una edad correspondiente a una talla de 30 cm (aproximadamente 6 meses). Se debe notar que si la cohorte no se ha reclutado todavía a la región F a los 30 cm,  $\ln(\hat{N}_{iF0})$  es asignado un valor mínimo detectable de -1. Se truncan los valores a -6 y +6 porque los intervalos de confianza pueden ser muy grandes durante períodos de datos escasos. Por ejemplo, durante el primer y quinto año de vida de una cohorte son escasas las observaciones y grandes los intervalos de confianza. Además, en las regiones A y E hay pocas observaciones durante sus inviernos respectivos debido al mal tiempo, y las varianzas son por lo tanto grandes.

Tal como es de esperar, la abundancia aparente de cada cohorte disminuye a lo largo de su existencia, pero la disminución no es siempre continua. Los aumentos ocasionales en la abundancia aparente pudieran ser debidos a cambios temporales en la vulnerabilidad a la captura o a migraciones de una región a otra. A veces es posible especular sobre las causas de las interrupciones en la disminución de la abundancia aparente. Por ejemplo, la abundancia aparente de las cohortes 1980X y 1980Y aumentó al fin del Niño de 1982–1983. Esto se debe probablemente a la vulnerabilidad reducida durante el evento de El Niño (ver Informe Anual de la CIAT de 1983: 165–166). Además, los peces suelen hacerse progresivamente más vulnerables a la captura durante su primer año en la pesquería, lo cual resulta en una abundancia aparente creciente durante dicho período.

Proyectos futuros para mejorar las estimaciones de la abundancia específica por edad por región incluyen primero interpolar los valores ausentes de datos ambientales tal como la temperatura superficial del mar, la profundidad de la termoclina, y datos de vientos, y a continuación examinar las relaciones entre estos factores y las tasas de captura. Se pueden estandardizar dichas tasas por aquellos factores ambientales para los cuales las relaciones sean significativas, y así lograr una mayor comprensión de la vulnerabilidad específica por edad. En segundo lugar, se explorarán los intervalos de retardación en las variables ambientales, lo cual pudiera ampliar todavía más la comprensión de la vulnerabilidad específica por edad y/o los movimientos. Finalmente, cuando no se puedan mejorar más las estimaciones de la abundancia, se usarán los datos ambientales en combinación con las estimaciones de la producción de huevos y el reclutamiento para evaluar los efectos del ambiente sobre la supervivencia de huevos a reclutas.

# Composición de talla de la captura

Las muestras de frecuencia de talla son la fuente básica de datos usados para estimar la composición por talla y edad de las distintas especies de peces en los descargues. Esta información es necesaria para obtener estimaciones estructuradas por edad de las poblaciones, que se usan para varios propósitos, entre ellos el modelado de las poblaciones con estructura de edades. Los resultados de dicho modelado pueden ser usados para estimar el reclutamiento, que puede ser comparado con la biomasa reproductora y las condiciones oceanográficas. Además, las estimaciones de mortalidad obtenidas a partir de dicho modelado pueden ser usadas, en conjunto con las estimaciones del crecimiento, para el modelado del rendimiento por recluta. Los resultados de estudios de este tipo han sido descritos en diversos Boletines de la CIAT y en todos los Informes Anuales desde 1954.

#### Toma rutinaria de datos

Las muestras de frecuencia de talla de aleta amarilla, barrilete, patudo, aleta azul, y barrilete negro capturados por barcos cerqueros y de carnada en el Océano Pacífico oriental (OPO) son tomadas por personal de la CIAT en puertos de desembarco en Ecuador, los Estados Unidos (California y Puerto Rico), México, Panamá, Perú, y Venezuela. El muestreo de las capturas de aleta amarilla y barrilete por personal de la CIAT fue iniciado en 1954, y continua actualmente.

De la captura de 1989 se tomaron y procesaron 631 muestras de aleta amarilla, 305 de barrilete, 21 de aleta azul, 15 de patudo, y 15 de barrilete negro. La mayoría de éstas muestras fueron de 50 peces. Las muestras de frecuencia de talla de aleta amarilla y barrilete se estratifican por zonas de medición (Figura 14), mes, y arte de pesca. El muestreo de cada estrato se hace en dos etapas: en la primera, se toman muestras de una "unidad" del barco (generalmente una o dos bodegas), y en la segunda se muestrean ejemplares individuales. Las unidades dentro de cada estrato se muestrean al azar, y se mide individualmente cada pez elegido al azar de cada unidad muestrada. Para estimar el total de peces de cada grupo de talla en la unidad muestreada se divide el peso total de la captura en la unidad por el peso promedio de los peces muestreados en la unidad; a continuación se multiplica este cociente por la fracción de peces muestreados en ese grupo de talla. Los totales de cada estrato, expresados en número de peces, para cada grupo de talla se obtienen mediante la suma de los totales de cada unidad muestreada, cantidad que se multiplica por la razón del peso de la captura registrada en ese estrato y el total del peso de las unidades muestreadas. Los totales trimestrales y anuales se obtienen sumando los datos de todos los estratos muestreados en el trimeste o año en cuestión. El peso promedio anual y trimestral se obtiene al dividir la suma del peso de las capturas de todos los estratos muestreados por la suma de todos los grupos de talla en las estimaciones trimestrales o anuales.

En la Figura 15 se presentan histogramas del tonelaje estimado de aleta amarilla capturado en 1989, basados en datos de capturas registradas, en las áreas de medición del ARCAA (Figura 1). En la figura, las áreas se presentan en un orden aproximado de norte (arriba) a sur (abajo). En las Areas 1, 8, 4, 6 las modas mayores ocurren por debajo de los 110 cm, mientras que en las Areas 7 y 13 ocurre lo contrario. En el Area 5 hay modas mayores por encima y debajo de los 110 cm. Casi todos los peces capturados midieron entre 40 y 160 cm en todas las áreas, y en las Areas 1 y 8 no se capturaron muchos peces mayores de 120 cm.

En la Figura 16 se presentan histogramas del tonelaje estimado de aleta amarilla capturado, basados en las capturas registradas en el ARCAA entero durante cada año del período 1984–1989.

En la Figura 17 se presentan histogramas del tonelaje estimado de aleta amarilla capturado, basados en las capturas registradas en el OPO entre el límite del ARCAA y los 150°W en cada año del período 1984–1989. En 1989, al igual que en años anteriores, el peso medio de dicha especie fue mayor fuera del ARCAA que dentro de él. El peso medio de 1989 en el ARCAA fue 11.4 kg (25.2 libras), comparado con 27.4 kg (60.3 libras) en el área exterior. Dentro del ARCAA un 50% de la captura, por peso, midió menos de 100 cm, en comparación con un 13% en el OPO fuera del ARCAA.

En la Figura 18 se presentan histogramas del tonelaje estimado de barrilete capturado, basados en las capturas registradas en las áreas de medición en el OPO durante 1989. Un 87% de la captura, por peso, fue logrado en las Areas 1, 5, 6, y 7. En todas las áreas la mayoría de los peces capturados midió entre unos 40 y 70 cm. En el Area 1 hay una moda prominente alrededor de los 52 cm, y en el Area 5 una moda mayor a los 61–64 cm. En el Area 6 la moda mayor se centra en los 55 cm, con indicaciones de modas menores a los 45–50 cm y los 65–70 cm. En el Area 7 la moda más prominente se centra en los 64–67 cm.

En la Figura 19 se presentan histogramas del tonelaje estimado de barrilete capturado, basados en las capturas registradas en el Océano Pacífico oriental durante el período 1984–1989. La

estimación del peso promedio de 1989, 3.7 kg (8.1 libras), es 0.8 kg (1.7 libras) superior al valor comparable de 1988, pero inferior al valor de 1985, 4.2 kg (9.2 libras).

El aleta azul del norte es capturado frente a California y Baja California entre 23°N y 35°N, aproximadamente, principalmente entre mayo y octubre. En 1989 la captura entera provino del norte de 30°N, y un 70% de ella fue lograda en agosto. En la Figura 20 se presentan histogramas del tonelaje estimado de aleta azul capturado en el Océano Pacífico oriental en cada año del período 1984–1989, basadas en las capturas registradas. La distribución de 1989 muestra modas a los 72 cm y 90 cm, y es parecida a aquella de 1988, excepto que la captura de ejemplares de talla mayor a los 120 cm fue menor.

La captura de superficie de patudo es incidental a la de aleta amarilla y barrilete (Tabla 1), por lo que la cantidad de muestras de frecuencia de talla es muy inferior a las del aleta amarilla y barrilete. Con frecuencia se carece de estimaciones adecuadas del peso del patudo en las unidades de muestreo; por consiguiente, no se ha ponderado cada muestra según el número estimado de peces en la unidad muestreada. En la Figura 21 se presentan histogramas del tonelaje estimado de patudo capturado por la pesca de superficie en el OPO en cada año del período 1984–1989.

En la Figura 22 se presentan las distribuciones anuales de frecuencia de talla de barriletes negros capturados en el OPO durante 1984–1989. La captura de barriletes negros es incidental a aquella del aleta amarilla y barrilete, y gran parte de ella es desechada o vendida a procesadores aparte del comercio usual, y por lo tanto no se ha intentado estimar la captura por intervalos de talla.

### Evaluación de los métodos de muestreo de frecuencia de talla

Dada la importancia de que las estimaciones de la composición por edad sean lo más exactas y correctas posible, se ha iniciado un estudio para investigar los efectos de ciertas variables en el plan de muestreo sobre la confiabilidad de las estimaciones y determinar cuáles cambios serían necesarios para mejorar el diseño del muestreo.

El programa de la CIAT de muestreo de frecuencias de talla fue iniciado en 1954, y al mismo tiempo se realizó un análisis para determinar los métodos más eficaces para muestrear el pescado y estimar la abundancia de los distintos grupos de edad o cohortes en la captura (Boletín de la CIAT, Vol. 2, Nº 5). Los métodos de muestreo han sido esencialmente los mismos desde entonces, pero se han mejorado los métodos para calcular las estimaciones. El sistema de cálculo actual es descrito en el Boletín de la CIAT, Vol. 16, Nº 2.

El diseño actualmente en uso es un modelo de dos etapas, en el cual la unidad principal es aquella porción de la captura del barco asociada con una cierta especie, mes, y área, y la secundaria la talla del pez medido. Por consiguiente, dos de las variables que pueden afectar la confiabilidad de (por ejemplo) una estimación de la abundancia relativa de los peces de una cierta cohorte son el número de barcos muestreados (n) y el tamaño de la muestra (m). Ya que el modelo supone que los peces son muestreados al azar, los métodos de muestreo introducen una tercer variable si no se adhieren a este supuesto. En la práctica, las medidas son tomadas durante un período bastante breve y de una secuencia de peces que pudiera estar relacionada, aunque no estrechamente, al orden en el cual se les saca de la bodega del barco. Este procedimiento resulta de consideraciones prácticas vinculadas a la asignación del tiempo del muestreador, la necesidad de no estorbar el descargue, y las dificultades fisicas que dificultarían seriamente la toma de una muestra aleatoria.

Para estudiar la interacción entre n, m, y varios métodos de muestreo, se midieron secuencialmente durante el descargue los aletas amarillas en seis bodegas de barcos cerqueros. Se usaron distintas técnicas con estos datos para generar el contenido de 25 bodegas típicas que incluían pescado capturado en lances sobre atunes no asociados, en lances sobre delfines (con distribuciones de talla uni- y bimodales), y mixto (proveniente de ambos tipos de lance). Las distribuciones de 24 de las 25 bodegas eran estadísticamente diferentes. Junto con con distintos valores de n y m, se aplicaron tres métodos de muestreo diferentes a las bodegas durante un descargue simulado para

determinar la precisión con la cual se estimó el número de peces en nueve cohortes y si estas estimaciones eran sesgadas. Los tres métodos son: aleatorio (I); extendido (II), en el cual se mide sistemáticamente cada k-ésimo pez en la secuencia del descargue, y se distribuye el muestreo por entre el 7% y el 24% del pescado en la bodega; y consecutivo (III) en el cual se toman peces consecutivos (sin interrupción) de la secuencia del descargue. Se simuló cada combinación de n, m, y método de muestreo 1000 veces para obtener una distribución de estimaciones independientes. Estas distribuciones fueron asimétricas, en distinto grado para cada cohorte, y por lo tanto en la discusión que sigue las comparaciones de los coeficientes de variación (CV) y los sesgos son válidas dentro de las cohortes, pero no tienen gran significado entre cohortes.

En la Tabla 8 se presentan los CV de las estimaciones de la abundancia de las cohortes individuales. La magnitud del CV es predeterminado por, y está correlacionado inversamente con, el porcentage de las bodegas en el cual aparece la cohorte  $(p_a)$ . Además de n, m, y método de muestreo,  $p_c$  parece ser una nueva variable que ejerce un efecto fuerte sobre la precisión de una estimación. Sin embargo, para una cohorte dada, sin tener en cuenta el método de muestreo, un aumento en el número de barcos muestreados es bastante más efectivo para reducir los CV que un aumento en el tamaño de la muestra. Por lo tanto, para las cohortes que ocurren infrecuentemente en la captura, o para aquellas con valores bajos de  $p_c$ , aumentar n es probablemente el método más eficaz para reducir la varianza de una estimación. La elección del método de muestreo ejerce un efecto menor en este respecto. Para cada fila de cohortes asociada con una combinación de n y m en la Tabla 8, se puede demostrar que la proporcionalidad de los coeficientes para los tres métodos es más o menos igual, aún cuando la magnitud general de los CV de las cohortes es bien diferente. A medida que aumenta n, sin embargo, los resultados del método II (muestreo extendido) permanecen parecidos a aquellos del muestreo aleatorio, mientras que el método III, muestreo consecutivo, se hace más y más ineficaz. En contraste a estas observaciones, los sesgos de los valores medios de las estimaciones están afectadas por el método de muestreo y  $p_c$ , y parecen ser independientes de n y m (Tabla 9). En general, para todos los métodos y para  $p_a \ge 80\%$ , la magnitud absoluta de los sesgos es bien pequeña (0-6%) a pesar de que individualmente los sesgos de los métodos II y III son dos y cuatro veces más grandes que aquellos del Método I. A medida que disminuye  $p_c$ , se mantiene este orden relativo, pero la magnitud de los sesgos se hace marcadamente mayor, concretamente de 9 a 21%. Por consiguiente, mientras que el método III produce los resultados más sesgados en general, los resultados del método II son razonablemente cercanos a aquellos del muestreo aleatorio excepto cuando la cohorte aparece infrecuentemente en la captura.

Para obtener una idea de la magnitud de los CV asociados con datos reales, a diferencia de los simulados, se calcularon los CV a partir de la varianza trimestral y las estimaciones del tamaño de las cohortes preparadas por el personal de la CIAT. Se aplicó también un análisis de cohortes a los datos para estimar el reclutamiento y los CV de algunas cohortes completamente pescadas (Tabla 10). Tomando en cuenta que la mayoría de las muestras tomadas en el campo fueron obtenidas con técnicas similares a los métodos II y III, los CV de los reclutas fueron bastante pequeños (3–8%). Sin embargo, la mayor parte de los coeficientes de las estimaciones trimestrales de las cohortes cayeron entre el 15% y el 21%. Con base en los valores similares en la Tabla 8, se pueden identificar dos factores que pudieran ayudar a mantener a los CV dentro de este rango: (1) una gran proporción de los barcos está siendo muestreada, o (menos probable) (2) cada cohorte aparece frecuentemente en la mayoría de las muestras, es decir, valores de pc elevados. Para ayudar a resolver esta cuestión, se estimaron las varianzas de las cohortes para las muestras tomadas en 1988.

El modelo de dos etapas usado para estimar la varianza de una cohorte es resumido por la ecuación:

$$V\left(\hat{Y}_{c}\right) = \left(\frac{\hat{N}^{2}}{n-1}\right) \left(1-f_{1}\right) \left[\frac{\sum_{i} \hat{M}_{i}^{2} \left(\hat{y}_{i} - \frac{\hat{\mathbf{Q}}_{c}}{\hat{Y}_{c}}\right)^{2}}{n}\right]_{a} + \left(\frac{\hat{N}}{m-1}\right) \left[\frac{\sum_{i} \hat{M}_{i}^{2} \left(1-f_{2}\right) \hat{y}_{i} \left(1-\hat{y}_{i}\right)}{n}\right]_{w}$$

donde  $\mathbf{v}(\hat{Y}_c)$  es la varianza de la estimación del tamaño de la cohorte  $\hat{Y}_c, \hat{N}$  es una estimación de razón del número total de embarcaciones que contienen peces de la cohorte c en un cierto estrato de mesárea,  $f_1$  es la fracción de muestreo  $n/\hat{N}, \hat{M}_i$  es una estimación de razón del número total de peces del cual se tomó la muestra  $m, \overline{y}_i$  es la proporción media de la cohorte en la muestra y en  $\hat{M}_i, \hat{\bar{Y}}_c$  es la proporción total de la cohorte en todos los barcos muestreados, y  $f_2$  es la fracción de muestra  $m/\hat{M}_i$ .

Los valores en paréntesis, con los subíndices a y w, representan un tipo de suma de cuadrados media para una cohorte entre y dentro de barcos, respectivamente. Para obtener promedios significativos basados en al menos 25 a 40 muestras, se incluyeron en los cálculos muestras tomadas durante el año entero, compensando por el crecimiento de los peces con el tiempo. El promedio de cada una de las 13 áreas de medición (Figura 14) fue combinado con ponderación para producir promedios generales. Si se introducen estos valores en las paréntesis, se puede construir una tabla de dos entradas que demuestra la interacción entre n y m. Sin embargo, cálculos preliminares demostraron que un cambio en el tamaño de la muestra de 25 a 100 peces reduce el CV de una estimación del tamaño de la cohorte en solamente un 1%, por lo cual los coeficientes en la Tabla 11 están basados en 50 peces, el tamaño de muestra actualmente usado por el personal de la CIAT. Para demostrar el efecto de n sobre el CV, se usó un valor inicial de n=125, cantidad inferior a 171, el valor trimestral medio de n en 1988.

En cierto grado el uso de coeficientes trimestrales medios en la Tabla 11 oculta la mayor variabilidad que existiría si los valores trimestrales fueran calculados individualmente, tal como se hizo en la Tabla 10. No obstante, una conclusión posible es que un aumento de n tendría su mayor efecto sobre los peces más grandes y más pequeños. Esta observación concuerda generalmente con los resultados del estudio de simulación. Sin embargo, cuando n=175, cerca de la tasa media trimestral de muestreo de 1988, es incierto que un aumento de n sea la forma más rentable de reducir los coeficientes de las cohortes escasas. Pudiera ser más beneficioso reducir el tamaño de la muestra en cierto grado, y adoptar alguna variación del método II como técnica consistente de muestreo. La investigación en el futuro será dirigida hacia este enfoque, y buscará también soluciones a otras preguntas que quedan sin resolver. Por ejemplo, uno de los problemas más importantes es estimar la magnitud y signo de los sesgos de los tamaños de las cohortes y determinar cómo son afectadas por  $p_c$ . Es asimismo aparente que los CV de las cohortes en la Tabla 11 son inferiores a lo esperado, con base en sus valores de p<sub>c</sub> respectivos y los resultados de la simulación. Una razón pudiera ser que el número de muestras tomadas en 1988 formó un porcentaje elevado (17%) del total estimado, N. De otra parte, hay razones por creer que la fracción de las muestras con distribuciones similares pudiera ser mayor que en las simulaciones, es decir, más de 2/25, situación que reduciría las varianzas medias independientemente de  $p_c$ . Se debería estudiar más a fondo la relación entre  $p_c$  y la frecuencia de distribuciones similares, para determinar su efecto sobre los coeficientes.

### Modelado

En el Informe Anual de la CIAT de 1988 se describió una hipótesis sobre la variación sistemática de la dispersión de los atunes. En breve, se propuso que los atunes pudieran mejorar sus posibilidades de encontrarse en una región productiva si cambiaran de dirección más frecuentemente en aguas que les parecen ser propicias y siguieran un rumbo más recto si sienten tensión o incomodidad fisiológica. Esta hipótesis sugiere un mecanismo por el cual la distribución de una población de atunes pudiera aproximar la distribución de los recursos de los cuales depende.

Un análisis preliminar señala que el mismo mecanismo pudiera servir para mantener a una población dentro de los límites impuestos por el ambiente y para seguir los cambios estacionales en dichos límites. Se está desarrollando un modelo espacial de la dinámica poblacional del atún aleta amarilla en el OPO que usa las estadísticas de captura y esfuerzo compiladas por el personal de la CIAT. Se está realizando un modelado de producción para muchas áreas individuales, pero se

permite el intercambio de peces entre áreas. Se usará este modelo para investigar más a fondo la hipótesis de difusión variable, y se usará también para investigar los efectos de la heterogeneidad espacial sobre los modelos de pesquería.

# Proporción de sexos del aleta amarilla

Se recopilaron datos sobre la proporción de sexos del aleta amarilla en el OPO para la pesquería de superficie en 1953–1962 y 1970–1973 y para la pesca palangrera en 1958–1962. Tradicionalmente se han usado las pruebas de ji cuadrado para comprobar si la proporción de sexos se desvía del 1:1 en un intervalo de talla dado. Sin embargo, para que sea válida una prueba de ji cuadrado las muestras deben provenir de una población homogénea. Es por lo tanto necesario determinar si el arte de pesca (de superficie o palangre), área, año, y temporada son homogéneos con respecto a la proporción de sexos para saber cuáles categorías se deben agrupar y cuáles separar antes de realizar las pruebas de ji cuadrado.

Este es un problema multivariable en el cual muchos de los factores están confundidos. Por ejemplo, la captura palangrera contiene un mayor porcentaje de machos que la captura de superficie. ¿Se debe ésto solamente a que con palangre se capturan aletas amarillas de mayor tamaño, que suelen ser machos, o existe un efecto del arte además de aquel del tamaño? Las artes, áreas, años, y tamaños están similarmente confundidos. Se utilizó por lo tanto un procedimiento por pasos para construir un modelo lineal generalizado (MLG) que comprueba el significado de cada factor sobre la proporción de sexos sin tomar en cuenta los demás factores.

Normalmente, un MLG usa una estadística de F para comprobar si un factor es significativo. Una prueba de F requiere que la variable dependiente esté distribuída normalmente; por lo tanto, se usó el arcoseno(raíz cuadrada(hembras/total)) como la variable dependiente. Ya que pruebas preliminares en algunos subconjuntos de datos indicaron que las muestras individuales no eran homogéneas con respecto a la proporción de sexos, se ponderaron las muestras igualmente, y no por el tamaño de la muestra. Se usó un intervalo de 10 cm dentro de la muestra como unidad de observación. Los resultados preliminares indican que no se deberían agrupar años y áreas, pero sí los trimestres; no es claro todavía si se deberían agrupar las artes.

# Biología reproductora del aleta amarilla

Un conocimiento de la biología reproductora del atún aleta amarilla es importante para la comprensión de la dinámica poblacional de esta especie. Se ignoran todavía varios aspectos de dicha biología, entre ellos las horas y lugares del desove, la talla y la edad de madurez sexual, y la frecuencia del desove. Es también necesario determinar si existe una diversidad con respecto a las características reproductoras de peces de distintas partes del Pacífico oriental. Es probable que la investigación de la biología reproductora del aleta amarilla contribuya a una comprensión del vínculo entre el desove y el reclutamiento, y haga posible la evaluación del efecto de la pesca sobre el potencial reproductor de la población.

En septiembre de 1987 se inició un programa de muestreo a fin de obtener información sobre las características reproductoras del aleta amarilla específicas por talla en el Pacífico oriental entero. Los objetivos específicos son: (1) clasificar por estado reproductor los aletas amarillas de ambos sexos y de todas tallas, en todas épocas del año en todas áreas, para determinar con precisión la duración, intensidad máxima, y lugar del desove; (2) determinar la talla y edad de maduración sexual de los aletas amarillas, y establecer ecuaciones predictoras de regresión para las proporciones maduras dentro de áreas; (3) determinar la fecundidad de aletas amarillas de distintas tallas dentro de áreas; (4) determinar la frecuencia de desove de aletas amarillas de ambos sexos, y estimar la fecundidad anual dentro de áreas; (5) establecer las relaciones entre el momento de desove de los aletas amarillas y los fenómenos climáticos y oceánicos, por área. Se están cumpliendo estos objetivos

mediante la colección de muestras de gónadas (ovarios y testículos) de aleta amarilla en el mar y en plantas enlatadoras, por estratos de clase de talla-mes-área. Los intervalos de clase de talla van de 50 a 150 cm, por intervalos de 10 cm, y las áreas utilizadas son al norte de 20°N, 10°N–20°N, 0°–10°N, y al sur de 0°. Durante el cuarto trimestre de 1989 se completó la toma de muestras en el mar; en total se obtuvieron muestras de 15,336 peces en 150 viajes de pesca.

Ya que no se esperaba obtener muchas muestras de peces del área del norte del muestreo en el mar, el personal de la CIAT en Ensenada (México) y Terminal Island (California) obtuvo gónadas de peces capturados al norte de 17°N de plantas enlatadoras. Al fin de 1989 no se había completado este muestreo, ya que pescado capturado durante el período del estudio está todavía en los congeladores de dichas plantas. Al fin del año se habían tomado muestras de 5,335 peces.

Las muestras tomadas en el mar son conservadas en formol neutro al 10% y procesadas para una examinación histológica; al fin del año se habían preparado 10,232 secciones. Se están examinando éstas con microscopio para identificar la etapa de ovogénesis en hembras o espermatogénesis en machos, para establecer con precisión el estado reproductor de cada pez. Se procesaron además 4,307 de las muestras tomadas en las enlatadoras: el estado reproductor de estas peces será evaluado mediante un índice gonosomático (proporción de peso de la gónada al peso estimado del pez) para ambos sexos y mediciones del diámetro de los ovocitos para las hembras. Se usarán criterios histológicos para verificar los índices gonosomáticos.

Además, como parte de la investigación de la biología reproductora del aleta amarilla, se están obteniendo de plantas enlatadoras los otolitos de peces de dicha especie capturados en dos estratos de área-tiempo. Los estratos son de 20°N a 30°N y 110°W a 120°W desde agosto hasta octubre, y de 0°N a 10°N y 80°W a 90°W desde enero hasta marzo. La intención es de obtener otolitos de 15 hembras en cada intervalo de 10 cm de talla entre 50 y 150 cm de cada estrato. Se utilizarán estos otolitos para estimar la edad correspondiente a la talla a la cual el 50% de los peces son maduros en cada estrato. La mayoría de los otolitos de los peces del primer estrato fueron obtenidos durante 1989.

# Bioenergética del aleta amarilla

Durante el cuarto trimestre de 1989 se lograron avances en la construcción de un modelo poblacional para el aleta amarilla basado en la bioenergética. El objetivo del estudio es examinar la dinámica intra- e interanual de la relación predador-presa que afecta la población de atunes aleta amarilla en el OPO. Un conocimiento de los efectos de los predadores sobre las poblaciones que forman su presa puede contribuir de forma importante a una mayor comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y del grado en el cual los predadores se ven limitados por la abundancia y/o disponibilidad de la presa. Se ha demostrado que la predación por peces piscívoros es una fuerza dominante en la estructuración de ecosistemas enteros, a raíz de sus efectos sucesivos sobre las poblaciones planctívoras, herbívoras, y fitoplactónicas. Mediante el estudio de conjuntos de especies al nivel de comunidad, se hace posible evaluar el efecto de peces predadores y de la explotación de éstos por el hombre sobre la dinámica de producción en los ecosistemas. Como primer paso en el OPO, es necesario medir las interacciones predador-presa para comprender la dinámica trófica que subyace la producción de atunes.

El estudio de estos procesos requiere estimaciones de las tasas de predación de las poblaciones predadoras. Métodos directos, basados en la medición de la cantidad de alimento en el estómago de peces capturados en el mar ajustada para las tasas de evacuación gástrica determinadas por experimentos en el laboratorio, requieren mucho trabajo y producen solamente estimaciones de punto infrecuentes de la predación. En muchos casos, es posible obtener estimaciones confiables del consumo con menos esfuerzo usando modelos de bioenergética. El modelo utilizado por el personal de la Comisión se basa en la suposición que el crecimiento es un integrador del consumo del alimento con el tiempo, y que puede tener lugar solamente cuando el consumo de energía supera la suma de

gastos de mantenimiento y pérdidas por desechos. El crecimiento representa por lo tanto energía sobrante, y es la variable del presupuesto energético más sensible a cambios en condiciones abióticas y disponibilidad de alimento. El balance de peso o energía,

$$C = R + SDA + F + U + \Delta B.$$

supone que la toma de energía mediante el alimento del animal  $(C, \operatorname{consumo})$  tiene que ser usada  $(R, \operatorname{metabolismo}; SDA, \operatorname{acción} \operatorname{dinámica} \operatorname{específica})$ , perdida  $(F, \operatorname{egestión}; U, \operatorname{excreción})$ , o acumulada  $(\Delta B, \operatorname{crecimiento})$ . El modelo utiliza tasas de crecimiento observadas a lo largo de cualquier período deseado para recrear el consumo. El crecimiento gonadal está incluído en  $\Delta B$ . Gametos perdidos son considerados como peso ganado anteriormente por consumo adicional. El modelo responde a varias variables, entre ellas tamaño del cuerpo, actividad, diferencias estacionales y ontogénicas en la densidad calórica del predador y la presa, digestibilidad diferencial de la presa, y cambios en la composición de la dieta del predador.

Los parámetros del modelo bioenergético del aleta amarilla fueron adaptados de estudios anteriores. Las estimaciones del metabolismo del aleta amarilla se basan en las mediciones de C.H. Boggs (1984, Bioenergética e hidrodinámica de los atunes, tesis doctoral, Universidad de Wisconsin, Madison, EE.UU.) de las pérdidas totales de energía del cuerpo en atunes nadando libremente en cautiverio, a partir de pérdidas de peso y cambios en la densidad energética durante la inanición. Gastos energéticos metabólicos  $(R, {\rm vatios/g})$  fueron separados en términos aditivos de metabolismo estándar y locomoción:

$$R = 0.000445M^0 + 0.000159V^{1.64}L^{-1.28},$$

donde M es el peso húmedo (g), V es la velocidad de natación (cm/s), y L es la talla (del punto del hocico a la furca caudal, en cm). Se multiplicó R por 14.4 para convertir a g/g/d, suponiendo una densidad calórica de 1440 calorías/g para aletas amarillas en el mar. Se desarrolló un modelo que describe la relación entre la talla del pez y la velocidad de natación, usando patrones compuestos de actividad en un ciclo de 24 horas medidos durante experimentos de telemetría ultrasónica con atunes en el mar. Datos de cuatro aletas amarillas rastreados por un científico del Instituto Oceanográfico de Woods Hole y científicos de la Comisión y cinco aletas amarillas rastreados por el U.S. National Marine Fisheries Service en Honolulu y científicos del Hawaii Institute of Marine Biology proporcionaron información en la cual se basó el cálculo de las velocidades medias de natación, ponderadas por la duración de cada observación de la velocidad. Se estimó V (cm/s) para aletas amarillas de varias tallas con una función de potencia ajustada a los datos de rastreo:

$$V = 3.22L^{0.77}$$
.

Una función de potencia es consistente con la teoría de hidrodinámica y representaciones de investigaciones anteriores de la relación entre las velocidades contínuas y óptimas y la talla.

La tasa máxima de consumo específico para cada peso  $(C_{max})$  impone un límite superior en el potencial de crecimiento de un pez.  $C_{max}(g/g/d)$  es representado por una función de potencia negativa del peso del cuerpo:

$$C_{max} = 1.07 M^{-0.18}.$$

Se derivó esta relación ajustando una transformación logarítmica de datos de  $C_{max}$  del atún barrilete medidos en el laboratorio, usando un coeficiente de dependencia de peso de otros piscívoros grandes. La intersección de la ecuación de  $C_{max}$  indica que la tasa máxima de consumo de un aleta amarilla de 1 g aproxima al 107% del peso por día. Este valor parece elevado, pero en realidad es inferior a las tasas máximas de alimentación de barriletes negros  $Euthynnus\ lineatus$ ) juveniles de talla comparable en cautiverio. En el Laboratorio de Achotines de la Comisión, barriletes negros de 50 mm (aprox. 1 g) comen un 150% del peso del cuerpo si se les alimenta hasta saciarles 3 ó 4 veces al día en agua a unos 27°C.

La acción dinámica específica (SDA) incluye generalmente los requerimientos energéticos mecánicos y bioquímicos de la absorpción, digestión, transportación, y deposición del alimento. SDA (g/g/d) está modelado como proporción constante del alimento asimilado (C-F),

$$SDA = 0.207(C - F).$$

No se ha medido SDA para atunes, pero un valor de 0.207 es consistente con una estimación del componente bioquímico de SDA en el aleta amarilla usado por otro investigador, basándose en datos experimentales de otros peces. Una porción del alimento consumido es perdido en forma de desechos. La egestión (F, g/g/d) incluye la energía perdida por las feces, principalmente en forma de alimento sin digerir. La excreción nitrógena (U, g/g/d) es principalmente pérdida de amoníaco y urea por las branquias. La egestión fue modelada como proporción constante de la tasa de consumo específica para el peso (C):

$$F = 0.15C$$

La excreción, al igual que SDA, fue modelado como proporción constante del alimento asimilado,

$$U = 0.059(C - F.$$

Dada la falta de información definitiva sobre F y U en atunes, se adoptaron los valores de 15% y 5.9% como primeras aproximaciones para el aleta amarilla, con base en estudios de otros peces.

En la Figura 23 se presenta el efecto alométrico de los componentes específicos para cada peso del presupuesto energético a ración máxima. Con la excepción del nietabolismo, las tasas disminuyen rápidamente para peces de hasta unos 20 kg, y más lentamente para peces de mayor tamaño. Las tasas metabólicas a velocidades de natación medias son casi independientes del peso. El potencial de crecimiento (Figura 23, sombreado), la diferencia entre la porción de  $C_{max}$  disponible para el crecimiento y el costo del metabolismo de mantenimiento, es mayor para peces pequeños que para los grandes porque las funciones  $C_{max}$  y R convergen con mayor tamaño.

El modelo bioenergético ha sido insplementado para una cohorte de 1 millón de aletas amarillas, comenzando a los 30 cm de talla, el tamaño de ingreso a la pesquería de superficie del OPO, y terminando al cabo de siete años de crecimiento. Se calculó el tamaño de la población al comienzo de cada trimestre usando una tasa instantánea de mortalidad natural anual de 0.8, y asignando sexos con base en las proporciones de sexo de peces capturados con red de cerco y medidos por científicos de la Comisión. Se hizo caso omiso de la mortalidad por pesca en estas pruebas iniciales del modelo para facilitar la evaluación del desempeño del modelo y las implicaciones del crecimiento sexualmente dimórfico. Se calcularon la talla y peso de machos y hembras al comienzo de cada trimestre con las ecuaciones en el Boletín de la CIAT, Vol. 18, Nº 6. El crecimiento del macho y hembra individual medio en el OPO fue simulado mediante un ajuste iterativo de C a una proporción de  $C_{max}$  hasta llegar hasta  $\pm 0.05\%$  del peso final en un trimestre en particular (el peso al comienzo del trimestre siguiente). El consumo total diario calculado por el modelo para la población por sexo se presenta en la Figura 24. Se están añadiendo al modelo parámetros para la estimación de los gastos energéticos del desove. Ensayos futuros incorporarán datos de la dieta específica para cada edad (contenido del estómago ajustado por tasas diferenciales deevacuación gástrica) para 1970, 1971, y 1972, para producir estimaciones para la población entera de las tasas de predación de las categorías principales de presas, basadas en el tamaño real de la población en aquellos años proporcionados por los análisis de la biomasa con estructura de edades realizados por el personal de la Comisión.

### La asociación de los atunes con objetos flotantes

Durante 1989 se prosiguió un proyecto de investigación iniciado en 1987 para estudiar la asociación de los atunes con objetos flotantes. Se está recopilando información detallada sobre las características (tipo, forma, tamaño, epibiota, etc.) de los objetos flotantes, con y sin atunes asociados, para llegar a un conocimiento mejor de dicha asociación, y de allí explorar las posibilidades del uso de dispositivos artificiales para agregar peces (conocidos como Fish-Aggregating Devices, o FADs).

Los resultados preliminares señalan que aproximadamente dos tercios de los objetos flotantes registrados son árboles o partes de árboles. Se han registrado palmeras, plátanos, bambú, y manglares, pero la mayoría son probablemente árboles tropicales de madera dura, difíciles de identificar desde un barco. El tercio restante consiste de proporciones aproximadamente iguales de objetos de madera (tablas, cajas, tarimas, etc.) y otros desperdicios (llantas, anillos salvavidas, sogas, equipo de pesca, carretes, etc.). Hay también una proporción pequeña de otros objetos, como por ejemplo animales marinos muertos, algas aglomeradas, y boyas de investigación.

La mitad, aproximadamente, de los árboles observados tenían todavía ramas pequeñas y/o raíces, pero se vieron pocos ejemplares con corteza y/o hojas, lo cual sugiere que ya llevaban algún tiempo en el agua. La mayoría de los árboles parecían haber llegado al océano sin intervención humana, pero una proporción elevada (más del 40%) de los árboles mostraban marcas de machetes o hachas o habían pasado por un aserradero. Esto indica que la probabilidad de que los árboles lleguen al océano ha aumentado en las últimas décadas debido a actividades como la agricultura y la explotación forestal. Si se agregan estos árboles cortados a los objetos flotantes artificiales, la proporción de objetos flotantes que se encuentran en el OPO debido a la actividad humana representa un poco más de la mitad del total.

Como es de esperar del gran número de árboles y partes de árboles registrado, más del 80% de los objetos son de madera, ya sea árboles o desperdicios como cajas y tablas. La duración media de un objeto de madera pequeño en la superficie es probablemente corta, debido a que se saturan con agua; la mayoría de los árboles observados estaban tan saturados que su mayor parte estaba por debajo de la superficie del agua. Sin embargo, más del 15% de los objetos eran de plástico y/o metal, materiales que presuntamente permanecerán mayor tiempo en la superficie.

El tamaño típico de un objeto flotante es entre 1 y 4 m, pero ocurren con frecuencia objetos de más de 9 m, y se han registrado árboles de hasta 18 m. La forma más común (dos tercios del total) es más o menos cilíndrica (árboles, tambores), pero se observan frecuentemente formas polígonas o cúbicas (cajas, hojas de madera laminada), irregulares (algas, sogas), redondas (boyas, carretes), y agregadas (varios objetos enredados o atados). La mayoría de los objetos cilíndricos estaban flotando horizontales o a un ángulo pequeño relativo a la superficie del agua, pero algunos flotaban verticales, o casi verticales.

A pesar de que la mitad de los objetos parecían haber estado en el agua durante un período no muy largo, en más de un tercio de los objetos avistados había epibiota. Los más comunes son balanos y algas verdes, pero se han registrado también percebes, cangrejos, lapas, y otros tipos de algas. En algunos casos la presencia de guano señala uso intensivo por aves.

Los conjuntos de fauna debajo de los objetos flotantes parecen ser un complejo de especies altamente dinámico, abarcando varios niveles tróficos y tasas altas de renovación de especies. Además de aletas amarillas y barriletes, las especies registradas con mayor frecuencia son tiburones (en más del 65% de las observaciones de objetos flotantes), incluyendo, entre otros grupos de tiburones oceánicos (probablemente *Carcharhinus* spp.), tiburones de punta blanca (*Carcharhinus longimanus*), de punta negra (*C. limbatus*), y cornudas (*Sphyrna* spp.). Los dorados (*Coryphaena* spp.) son asimismo un componente importante, observados en casi el 60%, a veces en concentraciones muy grandes. Fueron observadas varias especies de cochis (Familia Balistidae) y peces de carnada (a

menudo especies de sardinas o anchoas) cerca de más de un tercio de los objetos flotantes. Otros grupos importantes en estos conjuntos de fauna mixta incluyeron jureles aleta amarilla (Seriola spp.) y arcos iris (Elagatis bipinulatus), que figuran en más del 25% de los registros; de importancia menor son las melvas (Auxis spp.), el barrilete negro (Euthynnus lineatus), el peto (Acanthocybium solandri), los marlines (Makaira spp.) y otros picudos, y tortugas marinas, observados cerca de un 20% de los objetos flotantes. Muchas otras especies fueron vistas ocasionalmente, entre ellas cabrillas (Familia Serranidae), peces voladores (Familia Excocoetidae), varias especies de delfines, e invertebrados tales como los calamares.

Estos datos preliminares indican que los objetos flotantes pudieran desempeñar un papel ecológico importante en la zona epipelágica del OPO. Parecen servir como punto focal para la concentración de muchas especies. Estos conjuntos de aves, epibiota, y peces forman unas agrupaciones complejas en las cuales el reclutamiento y las tasas de renovación pudieran ser bastante elevadas (véase el Informe Anual de la CIAT, pág. 181, donde se describe un ejemplo con aletas amarillas y otros atunes). Los atunes, que frecuentemente contribuyen la mayor biomasa, son probablemente uno de los componentes claves de este complejo de especies.

Estudios previos de las distribuciones de frecuencia de talla de los atunes (aleta amarilla, barrilete, y patudo) asociados con objetos flotantes mostraron que los atunes pequeños (<80 cm) predominan en la captura, mientras que la pesca de atunes asociados con delfines produce aletas amarillas mayores (generalmente >90 cm). Una pesquería dirigida hacia peces pequeños resulta en una sobreexplotación del recurso del punto de vista del rendimiento por recluta, y capturas reducidas, tal como se explica en la sección titulada CONDICION DE LOS STOCKS DE ATUNES EN 1989 Y PERSPECTIVAS PARA 1990 del presente informe. Estudios más recientes, basados exclusivamente en el atún aleta amarilla, indican alguna posibilidad de capturar peces más grandes en asociación con objetos flotantes en dos áreas bien definidas del OPO (Figura 25: flechas). Se logran capturas de aletas amarillas grandes asociados con objetos flotantes en al área cerca de la costa entre noviembre y enero y en el área de alta mar en junio y julio. En ambos casos el tamaño de la muestra es insuficiente como para permitir conclusiones firmes, pero se justifica una investigación más detallada y tal vez algunos estudios de campo. Si resulta ser posible definir áreas y períodos en los cuales se puede atraer a los aletas amarillas grandes a objetos flotantes, entonces sería quizás posible desarrollar un FAD que eliminaría los dos problemas arriba mencionados y crear una alternativa a la pesca de atunes asociados con delfines.

Recientemente se completó un modelo de las derivas en el OPO que permite predecir la trayectoria de un objeto en deriva, dado su punto y tiempo de origen. El modelado consistió de dos pasos. Primero, se estimaron los vectores de circulación y la profundidad de la capa mixta, usando una adaptación de un modelo preparado para el Pacífico ecuatorial por científicos del Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science de la Universidad de Miami. El producto de este modelo propulsado por el viento fueron vectores de circulación mensuales desde 1962 hasta 1987, por área de 1°, año, y mes; éstos, junto con datos de vientos analizados objetivamente, fueron usados como datos básicos para la segunda etapa del modelo. Usando funciones prescritas de tiempo y espacio, se rastrearon de forma Lagrangeana los objetos flotantes desde las áreas de ingreso principales frente a Sur- y Centroamérica hasta que desparecieron del sistema al hundirse o vararse en la costa. Los resultados indican que los objetos flotantes pueden derivar en giros en el Golfo de Panamá durante períodos considerables, terminando finalmente en áreas productivas a lo largo del litoral de Centroamérica y en la zona de pesca que se extiende por el paralelo de 10°N. Este enfoque de simulación pudiera ser útil para el estudio de problemas ecológicos relacionados al transporte y dispersión de otros organismos, como por ejemplo las tortugas marinas, los dorados, y otra fauna asociada con objetos flotantes que regresan a las aguas costeras para reproducirse. Estos datos serían esenciales para decidir dónde ubicar los FAD si se llevaran a cabo los experimentos. La información en la base de datos de la CIAT sobre las características de los objetos flotantes será utilizada en el diseño de los FAD.

### Análisis de los microconstituyentes de los otolitos

Hacia fines de los años 70 y a principios de los 80 el personal de la CIAT realizó investigaciones sobre la composición química de las partes duras de los atunes, usando PIXE (proton-induced X-ray emission spectroscopy, o espectroscopia por emisión de rayos X inducida por protones), para estimar el grado de mezcla entre peces de distintas áreas. La investigación se basa en el supuesto de que distintas áreas del océano poseen características físicas, químicas, y biológicas distintas, que afectan la composición química de las partes duras de los peces que viven en el área. Los resultados de estos estudios fueron publicados en los Informes Anuales de la CIAT y en el Volumen Colectivo de Trabajos Científicos de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico, Vol. 24. Desgraciadamente el análisis de la estructura de los stocks usando este método es caro y presenta dificultades técnicas. Además, la interpretación de los resultados es difícil porque no se entienden bien los procesos que gobiernan la composición elemental de las partes duras.

La CIAT, en colaboración con científicos de la Universidad de Washington, está apoyando actualmente un estudio de un método alternativo de detectar marcas naturales en los otolitos de los atunes. Dicho método, que emplea un detector de rayos X dispersantes de energía (EDS) conectado a un microscopio electrónico de barrida, no es destructivo, y es por lo tanto adecuado para el examen de la configuración elemental en distintas etapas del crecimiento de los peces. La técnica no es cara, y ha sido usada con otras especies con cierto éxito. Como estudio preliminar, se procesaron 47 otolitos de aleta amarilla, 22 de ellos provenientes de peces capturados cerca del Ecuador y 25 de al norte de Papua Nueva Guinea, y se examinaron para descubrir la frecuencia relativa de 8 elementos. Un análisis de función discriminante de las concentraciones relativas de los elementos señaló que un 86% y 76%, respectivamente, de las dos muestras podían ser clasificadas correctamente en cuanto a su origen. La experiencia en este estudio ha demostrado que la preparación de la superficie es crítica. La variabilidad en estas concentraciones fue mínima entre los otolitos de un solo pez, mayor entre peces de un solo área, y máxima entre peces de distintas áreas, lo cual sugiere que sea posible distinguir peces de distintas áreas.

Este estudio preliminar indicó que la técnica tenía potencial para aplicaciones más detalladas, y por lo tanto se realizó un estudio de los microconstituyentes del barrilete, usando peces de varios tamaños capturados cerca de Baja California y Hawaii. Se tomaron de cada sección transversal del otolito tres lecturas de elementos, representando áreas de crecimiento temprano, de media vida, y reciente. Cada uno de estos grupos fue comparado entre y dentro de las dos áreas. Hasta diciembre de 1989 se habían procesado 197 radiografías. Los análisis preliminares de estos datos señalan diferencias significativas entre los peces de las dos áreas. Sin embargo, es posible que dichas diferencias se deban a diferencias en el método de almacenar los otolitos (en seco o en alcohol). Por consiguiente, se muestrearon los otolitos de 30 barriletes adicionales capturados cerca de Baja California y se almacenaron de distintas maneras. Este experimento debería permitir determinar la estabilidad de las concentraciones de elementos con diversos métodos de almacenamiento.

# Estudios del aleta azul

# Crecimiento a partir de datos de partes duras

Durante 1989 se examinaron de nuevo las estimaciones del crecimiento del aleta azul del norte presentadas en el Informe Anual de la CIAT de 1985. Se aplicó a los datos un programa de computadora para ajustar las funciones de von Bertalanffy y Gompertz y varias formas de la función de Richards. La función de Richards de cuatro parámetros produjo la suma de cuadrados más baja, pero ya que no es aconsejable el uso de cuatro parámetros si tres son inestables, se seleccionó el

modelo de Gompertz, el cual produjo un ajuste significativamente mejor que el modelo de von Bertalanffy. Se realizaron análisis de sensitividad, en los cuales se fijó K y se calcularon las sumas de cuadrados de las desviaciones de los valores esperados para distintos valores de  $L_{\infty}$ , y se fijó  $L_{\infty}$  y se calcularon las sumas de cuadrados de las desviaciones de los valores esperados para distintos valores de K. A continuación se dividieron las sumas de cuadrados por las sumas mínimas de cuadrados para producir cocientes para las varias combinaciones de K y  $L_{\infty}$ . Rangos amplios de  $L_{\infty}$  y K producen sumas de cuadrados casi iguales (Figura 26), lo cual señala que las estimaciones de estos parámetros no son determinadas adecuadamente por este método. Esto se debe probablemente a una falta de datos de peces grandes, aunque es también posible que sea causado por una variación grande en las tasas de crecimiento de peces individuales o por la inabilidad del modelo de Gompertz de caracterizar el crecimiento de los peces.

Los datos usados en el análisis arriba descrito fueron obtenidos de aletas amarillas de 1 a 6 años de edad y de 59 a 167 cm de talla. En noviembre y diciembre de 1988, y de nuevo en diciembre de 1989, se capturaron aletas azules muy grandes cerca de las Islas Channel frente al sur de Alta California, y se obtuvieron 50 vértebras de peces de hasta 271 cm de talla. Es posible que al agregar esta información a la base de datos se clarifique la relación entre K y  $L_{\infty}$ .

El Sr. Yoshio Ishizuka, del Far Seas Fisheries Research Laboratory (ahora el National Research Institute of Far Seas Fisheries) en Shimizu (Japón), pasó varios meses en La Jolla durante 1988 y 1989 trabajando con los datos del aleta azul. Trabajó junto con un miembro del personal de la CIAT en los datos de marcado y solo en los datos de captura y de composición de talla y edad del Pacífico occidental. En el Informe Anual de la CIAT de 1988, páginas 225–226, se describen algunos de los resultados de los análisis. A continuación se resumen algunos resultados adicionales de los análisis de esos datos, así como ciertos estudios basados en datos de composición de edades del Pacífico occidental y oriental.

# Crecimiento a partir de datos de marcado

Varios investigadores han estimado los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy para el aleta azul en el Pacífico oriental a partir de análisis de partes duras, frecuencia de talla, y datos de marcado. Las estimaciones de datos de marcado, descritas en el Informe Anual de la CIAT de 1984, se basaban en datos de peces marcados liberados en el Océano Pacífico oriental y occidental por el personal de la CIAT entre 1979 y 1981. Subsecuentemente, los datos de aletas azules marcados por el Far Sear Fisheries Research Laboratory fueron combinados con los datos de la CIAT. Un análisis de los datos combinados demuestra que un modelo de dos etapas proporciona la mejor descripción del crecimiento, ya que el crecimiento de peces de talla inferior o igual a 564 mm sigue el modelo de Gompertz, y aquel de peces de talla igual o superior a 564 mm es lineal. La relación entre talla en milímetros y tiempo en días se expresa con las ecuaciones siguientes:

peces de talla inferior o igual a 564 mm

$$L_{t_2}{}^{\lambda} = L_{\scriptscriptstyle x}{}^{\lambda} + (L_{t_1}{}^{\lambda} - L_{\scriptscriptstyle x}{}^{\lambda}) \mathrm{e}^{-\mathrm{K}(t_2 - t_I)}$$

donde

 $L_t$  = talla al tiempo t ( $t_1$  es antes de  $t_2$ ),

 $\lambda = 0.001,$ 

 $L_{\infty} = 581 \text{ mm, y}$ 

K = coeficiente de crecimiento = 0.01184/día.

peces de talla igual o superior a 564 mm

 $L_t = 564 + 0.709 \Delta t$ 

donde

 $\Delta t = \text{tiempo transcurrido desde } L_t = 564 \text{ mm}.$ 

# Composición de la captura por edad

El Sr. Ishizuka usó datos de captura y de frecuencia de talla del Pacífico occidental para estimar las capturas de cada generación anual en cada año del período de 1966–1986 en ese área. Un miembro del personal de la CIAT preparó unas estimaciones preliminares de la captura de cada generación anual en el Pacífico oriental en cada año del período de 1959–1988, basadas en datos de captura y los siguientes datos de frecuencia de talla:

Años	Formato	Tomados por
1952–1965	muestras individuales	California Department of Fish and Game
1966-1969	resúmenes anuales solamente	California Department of Fish and Game
1970-1971	muestras individuales	California Department of Fish and Game
1972	no disponibles	
1973 – 1989	muestras individuales	Comisión Interamericana del Atún Tropical

En la Tabla 12 se resumen los datos del Pacífico occidental y oriental. Se calcularon coeficientes de correlación para 10 parejas de datos (Tabla 13, recuadro superior), usando los datos en la Tabla 12. Tres de éstos fueron significativos al nivel de 5%. Los números de peces de edad 2 en el Pacífico oriental y occidental están correlacionados negativamente (Prueba 6), lo cual indica que las capturas pobres en el Pacífico oriental pudieran ser debidas, al menos en parte, a que proporciones mayores de lo normal no hayan migrado del Pacífico occidental al oriental. Las capturas de peces de edad 1 y 2 en el Pacífico oriental están correlacionadas positivamente (Prueba 7), lo cual indica que la captura de peces de edad 2 en el Pacífico oriental puede ser pronosticada, si bien mal, a partir de la captura de peces de edad 1 en el Pacífico oriental un año antes. Las capturas de peces de edad 0 y 1 en el Pacífico occidental están altamente correlacionadas (Prueba 8), lo cual indica que la captura de peces de edad 1 en el Pacífico occidental puede ser pronosticada a partir de la captura de peces de edad 1 en el Pacífico occidental puede ser pronosticada a partir de la captura de peces de edad 0 en el Pacífico occidental un año antes.

El coeficiente de correlación de las capturas de peces de edad 0 en el Pacífico occidental y aquellas de peces de edad 2 en el Pacífico oriental dos años después es 0.386 (Tabla 13, Prueba 2). Aunque esta relación no es significativa al nivel de 5%, pudiera indicar que la captura de peces de edad 2 en el Pacífico oriental está relacionada al reclutamiento de dos años antes, suponiendo que la captura de peces de edad 0 en el Pacífico occidental sea un índice válido del reclutamiento. Ya que la captura de peces de edad 2 en el Pacífico oriental parece estar relacionado al reclutamiento de dos años antes (Prueba 2), y la captura de peces de edad 2 en el Pacífico occidental en el mismo año (Prueba 6), se calculó un coeficiente de correlación múltiple (Prueba 11). El coeficiente de determinación múltiple resultante fue altamente significativo, indicando que el 55.6% (0.746² x 100) de la variación en las capturas de peces de edad 2 en el Pacífico oriental es explicado por (1) una relación positiva con el reclutamiento en el Pacífico occidental y (2) una relación negativa con la captura de peces de 2 años de edad en el Pacífico occidental. Ya que las capturas de peces de edad 2 forman la mayor parte de la captura en peso en el Pacífico oriental en la mayoría de los años, el reclutamiento y emigración del Pacífico occidental parecen ejercer una influencia importante sobre las capturas totales en el Pacífico oriental.

En general, los resultados del análisis de los datos de captura por edad tienden a apoyar la conclusión tentativa de los estudios de los datos de marcado (Informe Anual de la CIAT de 1988, páginas 225–226) que las variaciones en las proporciones de peces del Pacífico occidental que migran

al Pacífico oriental son por lo menos parcialmente responsables de las variaciones en las capturas en el Pacífico oriental.

# Estudios del ciclo vital temprano

Hace ya muchos años que los biólogos pesqueros creen que la fuerza de una generación anual se ve determinada principalmente durante las etapas tempranas del ciclo vital (huevo, larva, y/o juvenil primario). No se sabe mucho acerca del ciclo vital temprano de los atunes, a raíz de la inaccesibilidad de las larvas y los juveniles primarios para los científicos. En el Océano Pacífico oriental los pescadores no suelen capturar juveniles de talla inferior a los 30 cm, y casi nunca se ven cardúmenes de atunes juveniles tempranos cerca de la superficie del océano. Estas consideraciones motivaron a la CIAT a establecer un centro de investigación en la Bahía de Achotines en la República de Panamá.

El programa de la CIAT de investigación de las etapas tempranas del ciclo vital incluye estudios de laboratorio y de campo ideados para lograr un mayor conocimiento del procedimiento de reclutamiento y de los factores que lo afectan. Investigaciones anteriores del reclutamiento de los peces sugieren que tanto los factores abióticos (temperatura, salinidad, circulación local, etc.) como los biológicos (alimentación, predación, etc.) pueden afectar el reclutamiento. Ya que la sobrevivencia antes del reclutamiento es controlada probablemente por una combinación de estos factores, un programa de investigación del reclutamiento debe tomar en cuenta la interacción del sistema biológico con el ambiente oceánico y atmosférico. En esta sección se describe el Laboratorio de Achotines y los estudios realizados allí y en el laboratorio de La Jolla para obtener información sobre la mortalidad, el crecimiento, y la influencia del ambiente fisico sobre la biología de los atunes larvales y juveniles tempranos.

El Laboratorio de Achotines está situado en la Bahía de Achotines en la punta sur de la Península de Azuero en la Provincia de Los Santos, República de Panamá (Figura 27). La Bahía de Achotines está a menos de 10 km (5 mn) de una zona donde los atunes desovan durante todo el año, y tiene acceso a agua limpia adecuada para mantener atunes vivos en el laboratorio. La temperatura superficial del mar oscila entre los 22° y 28°C (72° a 82°F) durante el año. La proximidad del laboratorio al área de estudio ofrece una alternativa menos costosa que un buque de investigación, y permite una mayor flexibilidad y espontaneidad en el muestreo.

En 1983 se compraron 10 hectáreas, y en los años siguientes se construyeron los edificios para el laboratorio, el alojamiento del personal, y demás facilidades necesarias. En 1989 se mejoraron los sistemas de generación y distribución de electricidad y de agua de mar en el laboratorio. Se instalaron en el laboratorio una autoclave y equipo para esterilizar agua con luz ultravioleta y de filtración de aire para facilitar la cultura de organismos alimenticios algales y zooplanctónicos.

Gran parte del trabajo realizado en el Laboratorio de Achotines en los primeros años fue dedicado a desarrollar métodos de capturar, trasladar, y mantener vivos en cautiverio a los escómbridos. Se atraen a los escómbridos juveniles tempranos de noche con una luz brillante subacuática; se capturan con una red de cuchara y se trasladan vivos al laboratorio. Se han capturado escómbridos en etapa larval tardia o juvenil temprana en todos los meses del año, pero no en todos los meses de todos los años, desde el comienzo del muestreo rutinario en 1984. Se han mantenido las especies siguientes en el laboratorio, con distintos grados de éxito: atunes aleta amarilla y/o patudo, atunes barrilete negro (Euthynnus lineatus), melvas (Auxis thazard y/o A. rochei), sierras (Scomberomorus sierra), macarelas (Scomber japonicus), y bonitos del Pacífico (Sarda orientalis). (Es imposible en esta etapa del ciclo vital distinguir los aletas amarillas de los patudos usando caracteres morfológicos, merísticos, osteológicos, o de pigmentación; en un trabajo reciente (U.S. Nat. Mar. Fish. Serv. Bull., 86 (4):835–838) se describe la identificación por electroforesis. Se pueden distinguir Auxis thazard y A. rochei larvales y juveniles tempranos a partir de

diferencias menores en la pigmentación, la profundidad del cuerpo, y el conteo de las branquiespinas, pero las identificaciones son ambíguas.)

Se siguen logrando avances en el desarrollo de técnicas para tratar y mantener vivos a los atunes cautivos. Desde 1986, cuatro barriletes negros han sobrevivido más de 130 días en cautiverio. El que mayor tiempo sobrevivió permaneció vivo 231 días en el laboratorio, y alcanzó una talla total de 341 mm y un peso de 659 gm. Murió a causa del trauma que sufrió al ser trasladado de un depósito a otro. El crecimiento y la supervivencia de los juveniles parecen ser mejorados al añadir vitamina C, pelotillas de eufásidos, e hígado de buey a la dieta. Se han realizado también experimentos de alimentación con camarones *Artemia salina* enriquecidos con aceite de pescado y levadura. El contenido nutritivo de estos camarones enriquecidos será analizado en el futuro cercano para determinar su valor como alimento alternativo para larvas tardias de escómbrido.

Durante 1989 se continuaron los esfuerzos por mantener culturas grandes de algas y rotíferos en el laboratorio, y desarrollar culturas de especies locales de copépodos para alimentar a los escómbridos cautivos. Los esfuerzos recientes se han concentrado en mejorar los métodos de cultura y ampliar las culturas de algas y zooplancton. Durante 1989 se mantuvieron rutinariamente subculturas de las algas siguientes: *Tetraselmis chuii, Isochrysis* sp. (raza de Tahiti), y *Gymnodinium splendens*. Se mantuvieron también rotíferos (*Brachionus* sp.) en subculturas. En 1989 se iniciaron esfuerzos por establecer un stock de múgiles adultos en uno de los estanques de agua salada para producir peces larvales para alimentar a los escómbridos cautivos. Unas pruebas preliminares para inducir el desove con inyecciones de hormonas no dieron resultado.

La capacidad de obtener muestras de escómbridos larvales y juveniles tempranos en el mar fue mejorada durante 1989 por la adquisición de un nuevo barco de investigación, el *Achotines III*. Este Boston Whaler, de 7.6 metros de eslora, tiene dos motores de fuera borda de 155 caballos, y su capacidad de 655 litros de combustible le permiten un radio de acción de unas 160 millas naúticas (300 km). Su velocidad de crucero es de 20 nudos, pero puede alcanzar los 40. Está dotado de radar, equipo sonar, radiogoniómetro, y sistema de navegación por satélite, que ayudan a localizar las estaciones de muestreo en el mar. Un mástil, pluma, y malacate hidráulico especiales fueron instalados para lanzar y cobrar redes de plancton y equipo oceanográfico. Al cabo de varios meses de equipamiento y pruebas en el mar en San Diego, el barco fue transportado a Panamá. Con las dificultades asociadas con la ubicación del laboratorio, la inaccesibilidad de las playas, la rocosidad de la costa, y el alto oleaje, se pasó los primeros meses después de la llegada del barco formulando maneras de botarlo, amarrarlo, abastecerlo de combustible, y mantenerlo. Desde principios de agosto el barco ha sido usado para el muestreo cuantitativo ictioplanctónico y oceanográfico frente al extremo sur de la Península de Azuero (ver la sección titulada *Estudios en el mar*, más adelante).

El Dr. Bruce S. Miller y el Sr. John Stadler, profesor y estudiante respectivamente en el School of Fisheries de la Universidad de Washington, visitaron el Laboratorio de Achotines para iniciar un estudio de la ictiofauna local. El Sr. Stadler pasó casi tres meses muestreando e identificando los peces, determinando sus asociaciones con el hábitat, y preparando unas estimaciones subjetivas de su abundancia relativa (raro, poco común, común, abundante). Compiló una lista de casi 160 especies, unas 115 de las cuales estaban presentes en la Bahía de Achotines.

# Análisis histológico de la condición alimenticia y el desarrollo

Durante 1989 se lograron avances importantes en un estudio ideado para examinar el desarrollo y condición alimenticia de los escómbridos larvales y juveniles capturados en las aguas costeras cerca de la Bahía de Achotines. Las larvas de los escómbridos que desovan en aguas tropicales se desarrollan a temperaturas elevadas y muestran un crecimiento rápido, que presuntamente requiere un nivel de alimentación elevado. Sin embargo, en el océano existe un gran potencial de limitación de alimento. El objetivo principal del estudio es obtener algún conocimiento del potencial de mortalidad debida al hambre en escómbridos tropicales larvales y juveniles.

Se obtuvieron muestras de escómbridos larvales en las primeras etapas de alimentación con redes de plancton a entre 5 y 18 km de la Península de Azuero. Las muestras fueron tomadas entre principios de mayo y mediados de agosto de 1988, época de mucha lluvia y afloramiento reducido en la zona. Las larvas fueron seccionadas para un examen histológico y el tejido examinado con microscopio de luz.

Se examinaron en total 130 larvas de 3 grupos taxonómicos de escómbridos, barriletes negros, melvas, y sierras. Ninguna estaba en la etapa de saco vitelino: todas tenían los ojos pigmentados y parecían estar en por lo menos las primeras etapas de alimentación. Se examinaron varios tejidos, entre ellos el cerebro, la retina, el hígado, el epitelio del intestino central, el pancreas, y la musculatura del tronco. El epitelio del intestino central, el hígado, y el tejido muscular juntos parecieron proporcionar el mejor índice de la condición alimenticia. El tejido nervioso del cerebro y la retina parecieron ser los tejidos menos responsivos, mostrando poca variabilidad en la condición celular. Para cada pez, se clasificó subjetivamente de 1 a 3 la condición celular del epitelio del intestino central, el hígado, y el tejido muscular (1 = degradado, 2 = intermedio, 3 = sano o recuperando). Se juzgó que un 30 a 40% de las larvas de cada grupo taxonómico estaban en condición degradada o de inanición. La proporción relativa en estado de inanición disminuyó con el tamaño. Al considerar solamente las etapas más tempranas de alimentación (larvas en preflexión de talla estándar (TE) Los análisis futuros de larvas en esta etapa de crecimiento incluirán comparaciones estacionales y espaciales (por ejemplo, cerca de la costa versus alta mar) de la condición alimenticia. Las secciones histológicas ya completadas serán usadas para estudios del desarrollo del sistema visual de las larvas. Se están realizando actualmente exámenes del desarrollo retinal y de la agudez visual de las larvas, lo cual proporcionará información sobre la alimentación y otros aspectos del comportamiento de los escómbridos larvales.

Durante 1989 continuaron también los estudios de la condición alimenticia y el desarrollo de escómbridos larvales tardios y juveniles capturados de noche con luz artificial. Se completaron el seccionamiento y preparación para el análisis microscópico de muestras de barrilete negro para un examen de la reacción a demoras en la alimentación y a condiciones de alimento reducido en el laboratorio. Se están usando estas muestras para desarrollar criterios de clasificación de la condición alimenticia en el mar. Hasta la fecha se ha completado el análisis histológico de más de 130 especímenes para clasificar la condición alimenticia. Estos peces mayores han sido añadidos a la serie de desarrollo usada para describir la ontogénesis del sistema visual en los escómbridos jóvenes. Se han compilado series de desarrollo de tres grupos taxonómicos: barriletes negros (TE 2.7–19.0 mm), melvas (TE 2.6–14.5 mm), y sierras (TE 2.5–37.0 mm).

#### Estudios del crecimiento a partir de los otolitos

Se analizó la edad y crecimiento de 103 barriletes negros larvales tardios y juveniles a partir de los incrementos de crecimiento en las ságitas (las más grandes de las tres parejas de otolitos). Los peces fueron capturados de noche con luz submarina cerca del Laboratorio de Achotines entre diciembre de 1986 y agosto de 1988, y conservados en alcohol etílico al 95%. Se midió la talla estándar de cada espécimen, ajustándola por el encogimiento causado por la conservación. En el Laboratorio de La Jolla ambas ságitas fueron extraídas, limpiadas, montadas en portaobjetivos de cristal con el lado distal hacia arriba, y la superficie pulida. Se sumergieron en aceite, y se contaron los incrementos bajo un microscopio de luz a una magnificación de entre 720 y 1080x. Se midió el diámetro máximo de las ságitas a lo largo del eje rostrum-postrostrum.

En el Informe Anual de la CIAT de 1988 se describen los pasos preliminares hacia el desarrollo de los criterios necesarios para contar los incrementos y validar su periodicidad. Los resultados de la validación son preliminares, pero indican que un incremento es depositado cada día. Conteos de los incrementos pudieran subestimar la edad desde la cría por uno o dos días, debido a demoras en la formación del primer incremento, pero se supuso provisionalmente que la estimación de la edad a

partir del número de incrementos en las ságitas resulta en una estimación adecuada de la edad del pez. (En el último párrafo de esta sección se describen los experimentos realizados para validar esta suposición mediante el uso de fluorocromos.)

Se usaron los conteos de los incrementos diarios en los otolitos de barriletes negros juveniles para (1) estimar la edad a la talla de captura, (2) estimar la tasa de crecimiento a partir de información de edad y talla de captura, (3) comparar las tasas de crecimiento de peces capturados en dos temporadas distintas, y (4) examinar el potencial de usar el diámetro de las ságitas y la talla del pez para estimar la edad.

Se estimó que barriletes negros de TE de entre 7.1 y 21.7 mm tenían entre 8.0 y 22.7 días de edad (promedios de varias lecturas). La edad media de los 99 peces que produjeron datos confiables era 13.3 días. Un modelo log-log produjo el mejor ajuste a los datos sobre este pequeña porción del ciclo vital temprano. En la Figura 28 se presenta un gráfico aritmético de los datos. La transformación logarítmica corrigió una heterogeneidad significativa de la varianza presente en los datos no transformados. Se calculó una tasa media de crecimiento de 0.67mm/d en tres posiciones (8, 13, y 18 días) en la curva. En los análisis futuros se incluirán más muestras mayores y menores que las tallas en esta curva de crecimiento.

Se estimaron también las tasas medias de crecimiento para submuestras de especímenes tomadas durante las dos temporadas distintas que ocurren en el Golfo de Panamá. Peces capturados durante diciembre de 1987 y enero de 1988, al principio de la temporada de afloramiento de las aguas, y julio y agosto de 1988, en medio de la temporada de lluvias, mostraron tasas medias de crecimiento de 0.70 mm/d y 0.43mm/d, respectivamente. Los coeficientes de las ecuaciones log-log que describen los dos subconjuntos no fueron significativamente diferentes al nivel de 5% (ANCOVA, 0.05<P<0.10). Con base en estos datos, se propone que los barriletes negros larvales crecen con mayor rapidez en la temporada de afloramiento, y que ésto se debe a que queden alimentarse mejor gracias a la producción incrementada asociada con el afloramiento. Se diseñarán los muestreos futuros para examinar estas hipótesis.

Se examinó la edad estimada en relación al diámetro de las ságitas. Un modelo log-log dió el mejor ajuste. En la Figura 29 se presenta un gráfico aritmético de los datos. El diámetro de la ságita parece ser un mejor predictor de la edad ( $r^2 = 0.74$ ) que la talla estándar ( $r^2 = 0.62$ ).

Se determinó también la relación entre el diámetro de la ságita y la talla estándar (Figura 30). Un modelo lineal produjo una buena aproximación del crecimiento del otolito para peces de TE entre 7.1 y 21.7 mm.

Se obtuvo información preliminar sobre la periodicidad de la formación de los incrementos en los otolitos en barriletes negros juveniles de peces mantenidos en cautiverio en el Laboratorio de Achotines en 1988 (ver Informe Anual de la CIAT de 1988). Esto es de importancia para la evaluación de la edad y crecimiento de los atunes juveniles en el mar. Para investigar más a fondo las tasas de formación de los incrementos y los factores que las afectan, en 1989 se inició una serie de experimentos de validación y crecimiento, que continuarán en 1990. Dos fluorocromos, hidrocloro de tetraciclina y calceína, son agregados en varias concentraciones y para un cierto número de horas al agua en los tanques del laboratorio en los cuales se mantienen los barriletes negros larvales tardios. Al cabo de varios días se matan los peces, se extraen los otolitos, y se examinan las ságitas con microscopio bajo luz ultravioleta. El incremento formado en el día en el cual se agregó el fluorocromo al agua aparece como una marca fluorescente, y el número de incrementos formado subsecuentemente puede ser comparado con el número de días transcurridos para evaluar la tasa temporal de formación de incrementos. Este estudio pretende determinar: (1) las concentraciones mínimas de tetraciclina y calceína y la exposición mínima necesarias para producir marcas detectables; (2) las tasas de supervivencia de peces expuestos a la tetraciclina y calceína; (3) las tasas de formación de incrementos con concentraciones altas y bajas de alimento; y (4) el crecimiento de los peces y las ságitas con niveles de alimento altos y bajos.

## Experimentos de anestesia

La precisión de los estudios del crecimiento de peces cautivos depende de la medición confiable de la talla del pez vivo. El problema es que los atunes son delicados, y hasta tocarlos brevemente cuando no estén anestetizados puede lastimarlos. Se está por lo tanto experimentando con el uso de anestéticos en escómbridos larvales tardios y juveniles en el Laboratorio de Achotines para determinar si reducen los daños y facilita la toma de medidas rutinaria.

Se realizaron pruebas preliminares con dos bonitos indo-pacíficos, una melva, dos barriletes negros, y una sierra, todos de TE entre 51 y 126 mm, usando el anestético MS 222 (metanosulfonato de tricaína) en concentraciones de 50-80~mg/L y 150~mg/L. Se usaron dos métodos para exponer a los peces al anestético: se agregó éste al agua en el tanque o se trasladaron los peces a bolsas de plástico llenas de agua y anestético a la concentración deseada. Algunos de los peces murieron, y otros tardaron mucho tiempo en recuperarse del tratamiento.

Durante pruebas subsecuentes los peces fueron trasladados con una red a un cubo lleno de agua salada y 100 mg/L de MS 222 (Tabla 14); se les dejó allí hasta que cesaron de nadar activamente y quedaron boquiabiertos. Fueron sacados del cubo, colocados en una placa de cristal cubierto con un medio antiabrasivo y agua salada, medidos con calibre, y trasladados en la placa a otro tanque para recuperarse. Con la excepción de una sierra que se recuperó antes de ser medida y un barrilete negro que estaba en malas condiciones antes de ser anestetizado, todos los peces se recuperaron poco después de ser medidos (Tabla 14) y la mortalidad posterior fue baja. Tres de los barriletes negros usados en una de las pruebas fue anestetizado y medido por segunda vez sin problemas al cabo de 8 días en cautiverio.

#### Estudios en el mar

Durante 1989 el programa de investigación de las etapas tempranas del ciclo vital fue ampliado considerablemente con el inicio de estudios del hábitat de los escómbridos larvales y juveniles cerca del Laboratorio de Achotines, en paralelo con el muestreo de larvas de escómbrido con redes de plancton.

### Estudios oceanográficos

Un conocimiento del ambiente oceánico es un elemento esencial de los programas experimentales y observacionales que pretenden comprender la dinámica de las poblaciones de peces. En su etapa larval, los escómbridos son sensibles a las condiciones oceánicas que afectan su estado fisiológico, sus fuentes de alimento, y su permanencia en lugares beneficiosos. Su supervivencia hasta alcanzar el tamaño de reclutamiento y la edad de reproducción depende de interacciones con fenómenos oceánicos que todavía no se conocen bien. El Dr. Robert Owen, oceanógrafo contratado por la Comisión, diseñó un programa para estudiar el ambiente local donde viven los escómbridos larvales y juveniles en la plataforma, pendiente, y cuenca continental frente a la Península de Azuero (Figura 27). Estudios de observación proporcionarán datos sobre la distribución espacial y temporal y la abundancia de las larvas en relación a los procesos físicos y biológicos.

En octubre, tras un repaso de estudios preliminares en el mar, se inició un programa de observaciones oceanográficas. Se establecieron o modificaron los procedimientos de observación, y se revisaron y modificaron la metodología y secuencia de las técnicas de medición y la forma de registrarlas. Se fijaron transectos batimétricos que cruzaban la plataforma y pendiente de Azuero hasta el límite del sondímetro (600 m) para determinar el alcance de la plataforma continental, definir el límite y pendiente de la misma, y examinar la irregularidad de ambos. Se buscaron picos en la vertiente continental marcados en mapas de navegación, pero sin éxito. Se seleccionaron 14 puntos para estaciones de observaciones oceanográficas repetidas a lo largo de líneas que se extienden mar afuera desde Punta Mala, la Bahía de Achotines, y Morro Puercos, para determinar las variaciones a largo plazo de las características en la plataforma continental (<100 m), el límite de la misma (180-

200 m), la vertiente continental (550–600 m), y el abismo (≥2000 m) (Figura 27). Se requiere la mayor parte de un día para tomar muestras en todas las estaciones en una línea, y generalmente se cubren las 3 líneas en 3 días para obtener una perspectiva cuasi-sinóptica del ambiente frente a la Península de Azuero en el mes actual. Se llevará a cabo un muestreo completo en cada mes del año. Los parámetros del ambiente oceánico y meteorológico son medidos en estas estaciones con instrumentos meteorológicos, frascos de muestreo de agua, y un CTDO, instrumento que mide simultáneamente la conductividad, temperatura, profundidad, y oxígeno del agua. Dicho instrumento es capaz de tomar hasta 24 observaciones por segundo; las almacena en su memoria interna, desde donde se trasladan a una computadora portátil al cabo de cada sondeo.

Se usan redes de plancton de varios tipos y de distintos tamaños de malla para el muestreo de larvas de escómbridos y el plancton asociado. La red de bongo, que consiste de dos redes de 70 cm de diámetro emparejadas, es arrastrada oblicuamente a la superficie de una profundidad de unos 50 m. En un arrastre oblicuo estandardizado, el cable es largado a 50 m por minuto y cobrado a 20 m por minuto. La red de manta es una red sencilla arrastrada horizontalmente en la superficie. Ambos tipos de red usan una malla de 333 mm. La red de parovet o mini-bongo es similar a la red de bongo, pero es de 40 cm de diámetro, con malla de 35 y 150 mm, y es arrastrada verticalmente.

Para determinar la variabilidad a corto plazo de las observaciones y procesos, se establecieron procedimientos para el uso y rastreo de boyas flotando a la deriva. La determinación de la posición exacta del barco de muestreo en el mar se ve limitada por los instrumentos de navegación existentes, lo cual restringe el uso de las boyas a posiciones al alcance visual y de radar de la costa y las islas. Se completó una serie inicial de observaciones cerca de una boya ubicada sobre el borde de la plataforma continental. Se tomó una serie de muestras de CTDO a intervalos de 10 a 30 minutos; se usarán los resultados para determinar la frecuencia de muestreo óptima en series futuras y para describir variaciones a corto plazo del ambiente físico.

Una moción en capas, con esfuerzo cortador entre las capas, podría ser característica de las aguas superficiales cerca de la Península de Azuero, y podría afectar al transporte de peces larvales y al traslado de nutrientes que contribuye a la producción de alimento en la ausencia de afloramiento. Se puede determinar la velocidad del flujo de agua y el grado de esfuerzo cortante entre las capas mediante el rastreo de parejas de boyas a la deriva, una en la superficie y la otra a 50 m de profundidad. En octubre se realizó un experimento de este tipo frente a la Bahía de Achotines, en el cual el movimiento en reacción a las corrientes de una boya a 50 m relativo a una boya en la superficie indicó un flujo cortante, concentrado probablemente en la termoclina.

El alimento accesible a los peces larvales es de importancia obvia. Se establecieron procedimientos de muestreo con mini-red de bongo para estimar la abundancia del alimento de las larvas. Se realizaron arrastres verticales desde una profundidad de 50 m hasta la superficie; fue evidente cierto grado de obstrucción de la red de 35mm, pero no fue severa bajo las condiciones bastante ricas prevalecientes. Si esta obstrucción se hace problemática, se puede usar una malla más gruesa (75mm) o un arrastre a menor profundidad.

Al tomar muestras de peces larvales para el estudio de su condición alimenticia es importante evitar que sean dañados y conservarlos rápidamente, y por lo tanto se ideó un procedimiento de muestreo que minimiza la duración del arrastre y permite cobrar la red de bongo con rapidez. Con el barco parado, se baja la red, con la apertura cerrada para evitar que entren organismos, a una profundidad de 70 m, y se pone el barco en marcha a la velocidad normal de arrastre. Cuando el ángulo del cable de remolque alcanza los  $45^\circ$ , se suelta el cabo que mantiene cerrada la apertura de la red y se comienza a izar la red a bordo con el malacate. El procedimiento entero dura solamente 3.5 minutos, y minimiza la degradación del tejido.

Los datos obtenidos en las observaciones oceanográficas son ingresadas en un sistema de manejo de datos creado para este propósito. Este permite acceso a cualquier conjunto deseado de

datos de lance y estación oceanográfica, lo cual facilita la preparación de mapas, diagramas de los contornos, e informes estadísticos.

## Muestreo exploratorio de larvas

Durante el cuarto trimestre de 1989 se planearon e iniciaron muestreos exploratorios para determinar la distribución y abundancia de las larvas de escómbridos. El objetivo del programa es generar información necesaria para incrementar la cantidad de larvas capturadas mediante la concentración del esfuerzo de muestreo en áreas y/o condiciones de abundancia máxima de larvales y juveniles tempranos. Se están tomando muestras de plancton cerca de frentes oceánicos (formados por ríos, corrientes, y el afloramiento, entre otros), contraflujos (cerca de islas, por ejemplo), y otros fenómenos físicos para descubrir dónde es probable que se encuentren las mayores concentraciones de larvas, para así maximizar el tamaño de las muestras en estudios futuros y obtener un mayor conocimiento de las interacciones de los peces con el ambiente.

Se investigarán también otros métodos de muestreo. Se usarán arrastres oblicuos estratificados verticalmente para investigar la distribución de las larvas con la profundidad. Ya que el flujímetro no señaló ninguna obstrucción de la red en arrastres recientes con red de bongo, se incrementará en caso necesario el volumen de agua filtrada durante el muestreo exploratorio. Se intensificará el muestreo nocturno en la superficie, método usado con éxito en estudios anteriores, usando un aparato ideado para muestrear los primeros 15 cm de la capa superficial del océano y una red de 1 m de diámetro. Se procurará también realizar muestreos cerca de lugares muestreados con éxito de noche con luz artificial, cuando hay presentes concentraciones de escómbridos larvales tardios y/o juveniles tempranos.

Las muestras biológicas y los datos físicos son procesados con rapidez, para permitir adaptar los procedimientos de muestreo a las necesidades de la investigación. Las larvas de peces son separadas del plancton poco después de ser trasladadas al laboratorio. Los datos de CTDO son ingresados al sistema de manejo de datos y se preparan perfiles gráficos de profundidad contra temperatura, salinidad, y concentración de oxígeno. Se espera que en 1990 sea posible graficar los perfiles de CTDO a bordo del barco de investigación, para así permitir a los científicos a bordo concentrar el muestreo cerca de puntos de interés.

### Resultados preliminares de los estudios en el mar

La mayoría de las estaciones en los transectos "A", "M", y "P" (Figura 27) fueron muestreadas una vez en noviembre y de nuevo en diciembre; en agosto, septiembre, y octubre se muestreó únicamente el transecto A. Se realizaron arrastres con red de bongo, de 6 minutos de duración, a una profundidad máxima de unos 50 m. Para cada transecto se estimó la cantidad media de escómbridos larvales y juveniles primarios por 1000 m³ de agua de mar filtrada en las estaciones en la plataforma continental, el límite de la misma, la vertiente, y el abismo. Las muestras contenían varios géneros. Todavía no se han clasificado todas las muestras tomadas, pero existen indicios de una mayor abundancia en diciembre que en los otros meses. Los escómbridos parecieron ser más prevalentes en las estaciones de la plataforma y el límite en diciembre que en los otros meses. En diciembre es cuando comienza típicamente la temporada de sequía, cuando la zona de convergencia intertropical se desplaza hacia el sur y los vientos alisios del Caribe producen un afloramiento a lo largo del litoral Pacífico de Panamá. Se cree que el desove de los atunes alcanza una intensidad máxima simultáneamente con el aumento en la producción primaria y secundaria durante la temporada de afloramiento.

Perfiles verticales preliminares de CTDO a profundidades de hasta 100 m tomados durante el tercer trimestre de 1989 demostraron que el límite superior de la termoclina se encontraba a una profundidad menor, y que estaba mejor definido, de lo que se creía originalmente. La profundidad de la capa mixta (entre la superficie y el límite superior de la termoclina) fue generalmente de 30 a 40 m,

y la termoclina terminaba alrededor de los 40 o 50 m en estaciones en posiciones donde la profundidad del agua era entre 200 y 2000 m. El promedio de la temperatura de la superficie del mar y de la capa mixta en las estaciones muestreadas entre fines de julio y principios de agosto fue 28.1°C (83°F). La salinidad medida en todas las estaciones fue 30.0–32.1 o/oo en la superficie y 31.5–33.0 o/oo al extremo superior de la termoclina. La concentración de oxígeno fue homogénea alrededor de los 4 mL/L en toda la capa mixta.

### Estudios de los recursos de pargo

El personal de la CIAT está realizando un proyecto cooperativo con científicos de la Dirección General de Recursos Marinos (DGRM) panameña para estudiar algunas especies de peces costeros de importancia comercial en la Provincia de Los Santos de la República de Panamá. El objetivo de este proyecto es obtener datos fundamentales sobre la biología y capturas potenciales de estas. especies. La industrialización reciente, principalmente relacionada con el perfeccionamiento del procesamiento y exportación de las capturas, y el posible ingreso de embarcaciones de mayor tamaño a la pesquería, hacen que sea deseable contar con estimaciones del rendimiento potencial. En abril de 1986 se inició un programa de muestreo para estudiar y evaluar los recursos de pargo (familia Lutianidae) y otras especies costeras. Biólogos de la DGRM están tomando datos a diario sobre la captura, el esfuerzo, la talla, y el peso. Estos datos básicos proporcionarán información sobre la composición por especie, composición por talla, factores de condición, captura por unidad de esfuerzo (CPUE) usando distintas configuraciones de las artes de pesca, y variaciones estacionales de todos éstos. La especie más importante descargada por la pesquería es Lutjanus peru, identificada anteriormente por error como L. jordani; otras especies, capturadas en cantidades menores, incluyen L. guttatus, L. argentiventris, L. novemfasciatus, L. aratus, L. viridis, L. inermis, y Hoplopagrus güntheri.

Las tres primeras especies forman más del 90% de la captura en la Provincia de Los Santos. En los análisis siguientes se incluyen datos de estas especies solamente. Para cada una de las tres especies se calcularon las CPUE, en libras por viaje de pesca, para 1986 a 1989 (Figura 31). Se define un viaje de pesca como un período de no más de 8 horas entre el momento de zarpar de la playa para ir a pescar y de regresar para descargar la captura. Si las condiciones de pesca y meteorológicas lo permiten, los barcos realizarán a veces más de un viaje por día. La tripulación de un barco consiste generalmente de tres pescadores, cada uno con un sedal con tres anzuelos. La captura total y el número de viajes de pesca fue mayor en 1989 (594,533 libras (269,675 kg), 6,986 viajes) que en 1986 (313,135 libras (142,036 kg), 2,936 viajes), 1987 (287,655 libras (130,478 kg), 3,928 viajes), o 1988 (311,669 libras (141,371 kg), 4,343 viajes). Sin embargo, las CPUE mensuales medias no fueron mayores en 1989 que en los tres años anteriores, pero sí fueron más uniformes de mes a mes (Figura 31). La CPUE media mensual de L. peru de 1986 a 1989 fue generalmente mayor de junio a septiembre que durante el resto del año. Esto se debe probablemente a la reducción del tiempo disponible para la pesca y de la eficacia de la misma entre diciembre y marzo, cuando prevalecen vientos fuertes. Se está preparando un análisis más detallado de los datos para un informe del DGRM.

## La oceanografía y la ecología de los atunes

#### Disminuye el anti-El Niño fuerte en el Pacífico oriental tropical

Durante la década de los 80 la atmósfera y el océano del Pacífico oriental tropical (POT) vivieron algunas de las mayores fluctuaciones observadas en los últimos treinta años. El Niño más fuerte y más extendido del siglo, que comenzó en 1982 y continuó durante la mayor parte de 1983, pareció afectar la pesca atunera de forma importante, ya que las capturas en el Océano Pacífico oriental al este de 150°W (OPO) en 1983 fueron las más bajas registradas desde los años 60 (Tabla 1).

Fue seguido por un anti-El Niño leve y condiciones de pesca excelentes en 1984 y 1985, y un Niño leve en 1987. Sin embargo, este último afectó solamente la región ecuatorial al sur de 5°N, y no tuvo un efecto significativo sobre las capturas de atunes al norte de dicho paralelo. De hecho, la captura de aleta amarilla en el OPO en 1987 fue superada por tan sólo las de dos otros años (Tabla 1). En 1988 comenzó el anti-El Niño más fuerte de la década; permaneció bastante fuerte durante el primer semestre de 1989, y entonces disminuyó. Las condiciones de anti-El Niño fueron por lo tanto más prevalentes durante la segunda mitad de la década de los 80 que en cualquier período desde los años 60. Las capturas de atunes fueron elevadas durante este período.

Los episodios de anti-El Niño en el POT son caracterizados por: (1) temperaturas de la superficie del mar (TSM) más bajas que de costumbre a lo largo de la línea ecuatorial y el litoral de Sudamérica; (2) vientos alisios del sureste más fuertes que de costumbre en el hemisferio sur; (3) límites de frentes oceánicos superficiales más marcados cerca de la línea ecuatorial; (4) una capa superior mixta menos profunda que de costumbre; y (5) nivel del mar inferior a lo normal. Todas estas características señalan una intensificación del afloramiento y del enriquecimiento biológico.

El primer trimestre de 1989 fue distinguido por una continuación de la disminución de las TSM comenzada en 1988 en gran parte del ARCAA. En febrero las TSM fueron hasta 3°C inferiores a lo normal a lo largo de la línea ecuatorial entre 105°W y 175°W, y también en las regiones costeras entre Baja California y el sur del Perú las TSM fueron inferiores a lo normal. En Manta (Ecuador), situado cerca de 1°S, las TSM en el muelle habían sido inferiores a lo normal desde marzo de 1988 (Figura 32); en Chimbote (Perú), a 8°S, fueron 1°C inferiores a lo normal. En contraste, en Paita (Perú), a 5°S, las TSM fueron casi 3°C superiores a lo normal en febrero y marzo. Paita fue la única estación que registró TSM superiores a lo normal durante el verano austral, y es posible que este aumento temporáneo de las TSM, considerado por algunos pescadores locales como el comienzo de un nuevo Niño, haya sido debido a algún efecto local cerca del muelle.

Durante el segundo trimestre se registraron TSM 1°C inferiores a lo normal en la mayoría de las estaciones costeras entre Manta y Chimbote, incluso en Paita (Figura 32). El frente oceánico ecuatorial, que ocurre entre las aguas cálidas al norte de la línea ecuatorial y el agua fría en la misma, pareció ser más marcado al este de 120°W. El límite de dicho frente indicó un afloramiento intenso de las aguas subsuperficiales a lo largo de la línea ecuatorial y en las aguas costeras del Ecuador y del norte del Perú. En general, el primer semestre de 1989 fue en el POT un período de actividad de anti-El Niño moderado, en comparación con el anti-El Niño fuerte de 1988.

Durante el tercer trimestre de 1989 las TSM volvieron hacia su nivel normal en la mayor parte del POT. La Figura 33, en la cual se ilustra la distribución de las anomalías de las TSM en julio, es representativo del trimestre. No obstante, un afloramiento y una mezcla por el viento fuerte frente al litoral suroeste de Baja California y dos áreas ecuatoriales resultaron en TSM más de 2°C inferiores a lo normal. Si se compara la Figura 36 del Informe Anual de la CIAT de 1988 con la Figura 33 del presente informe, se puede ver que la distribución de las TSM en el tercer trimestre de 1989 fue mucho más cercana al rango normal de las TSM que la del tercer trimestre de 1988, cuando las condiciones de anti-El Niño fueron mucho más intensas. Las estaciones costeras entre Manta y Chimbote también estaban registrando TSM que tendían hacia el nivel normal (Figura 32).

Durante el cuarto trimestre las TSM en el OPO fueron casi normales. Las áreas ecuatoriales con TSM más de 1°C inferiores a lo normal fueron mucho más pequeñas que en el tercer trimestre (Figura 33). En general, las tendencias de las anomalías de las TSM y los índices atmosféricos y oceánicos durante el cuarto trimestre señalan una continuación de las condiciones ambientales casi normales en el OPO durante 1990.

El personal de la CIAT observa varios parámetros oceanográficos y meteorológicos en su evaluación continua de los efectos del ambiente oceánico sobre la pesquería atunera en el OPO. Además de producir datos útiles para el estudio de las TSM, los cambios en la profundidad de la capa mixta (PCM) o la profundidad hasta el comienzo de la termoclina, las alzas o bajas en el nivel del mar

en relación al promedio en tres estaciones entre Colombia y el norte del Perú, y los cambios en la fuerza de la circulación atmosférica superficial proporcionan indicios útiles de calentamientos o enfriamientos incipientes en la capa superficial. En la Figura 34 se presentan las variaciones anuales de la PCM, las anomalías del nivel del mar, y el Indice de Oscilación del Sur (IOS) de 1987, 1988, y 1989. El IOS, calculado como la diferencia entre las anomalías estandardizadas de la presión a nivel del mar (PNM) entre Darwin (Australia) y Tahiti, es una medida de la fuerza del sistema de PNM y la circulación este-oeste del viento, principalmente en el Pacífico Sur. Los datos de la Figura 34 fueron obtenidos del "Climate Diagnostics Bulletin," compilado y publicado mensualmente por el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos. Durante el Niño leve de 1987 la PCM fue bastante mayor que la profundidad promedio a largo plazo (PLP) durante la mayor parte del año en la región ecuatorial al este de 100°W. A partir del primer trimestre de 1988 la PCM se hizo marcadamente inferior al PLP a medida que se estableció el anti-El Niño. Permaneció poco profunda durante el primer trimestre de 1989, y entonces se acercó al PLP, donde permaneció mientras disminuía el anti-El Niño. Estos cambios en la PCM fueron confirmados por datos tomados durante cruceros de investigación de delfines realizados en el OPO en 1988 y 1989 y analizados por D.W. Behringer, del Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, Miami, Florida. Durante dichos cruceros se observó que la PCM bajó a su nivel normal en 1989, tras haber estado a un nivel poco profundo (alrededor de los 15 m) en 1988. El nivel del mar comenzó a descender a principios de 1988; desde un nivel muy superior al PLP en 1987 (Figura 34), alcanzó un nivel 10 cm inferior al PLP en mayo, subió a cerca del PLP en julio, y volvió a descender paulatinamente durante el resto del año. En 1989 volvió a subir, y estuvo cerca del PLP a partir de abril. Las variaciones en la PCM y el nivel del mar están vinculadas directamente con los cambios en la circulación atmosférica y oceánica reflejados en el IOS. Durante 1987 el IOS fue negativo, y los vientos tropicales de oriente consecuentemente débiles. Durante el primer semestre de 1988 el IOS fue cercano a cero, lo cual indicó que el sistema de alta presión de superficie en el Pacífico Sur había regresado a su nivel normal. Durante el segundo semestre de 1988 y el primero de 1989 las corrientes oceánicas promovidas por el viento se hicieron más fuertes, la capa mixta se hizo menos profunda, y el nivel del mar descendió. Además, el afloramiento fue aparentemente fuerte a lo largo de la línea ecuatorial y frente al litoral del Ecuador y Perú, fenómeno indicado por las anomalías negativas de las TSM en estás áreas durante ese período.

# Exito de la pesca atunera cerca del Domo de Costa Rica

El efecto posible del ambiente oceánico sobre la pesca atunera durante los años 70 y 80 puede ser observado en las fluctuaciones del éxito de la pesca alrededor del Domo de Costa Rica (DCR), situado cerca de 9°N-90°W. El DCR, una de las regiones de afloramiento más importantes del OPO, resulta de la configuración de las corrientes oceánicas en el área; se sabe que éstas son afectadas por episodios de El Niño y su antítesis. En los Informes Anuales de la CIAT de 1985-1988 se describen los efectos de algunos de estos episodios sobre la captura y el esfuerzo en el DCR. Se puede calcular una medida del éxito de la pesca del aleta amarilla en este área mediante la estimación de la disponibilidad y vulnerabilidad a la captura cerquera del aleta amarilla. Se compilaron las valores anuales medios del período de 1975 a 1989 de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) (captura por día de pesca) y el cociente de lances positivos (CLP) (razón del número de lances con captura al número total de lances) para la región comprendida en un radio de 300 millas náuticas del DCR. Se calculó un índice de la disponibilidad y/o vulnerabilidad del aleta amarilla a la flota cerquera como CPUE/(1 - CLP), fórmula que produciría índices de disponibilidad-vulnerabilidad (IDV) mayores con CPUE y/o CLP mayores, y menores de CPUE y/o CLP más bajos. En la Figura 35 se presentan las CPUE, CLP, e IDV anuales medias correspondientes al período de 1975–1989. Durante la segunda mitad de la década de los 70, y durante el Niño de 1982–1983 entero, las CPUE y CLP fueron muy inferiores a los promedios de 15 años, produciendo así IDV bajos. Durante este período la capa superior mixta en el ARCAA fue más caliente y profunda que de costumbre y el IOS y la circulación fueron significativamente inferiores a lo normal como resultado de los dos eventos de El Niño (1976, y 1982–1983). La última vez que ocurrieron períodos tan largos de agua cálida fue durante los años 20 y 30. Por contraste, entre 1984 y 1989 predominaron condiciones de anti-El Niño en el POT, resultando en una PCM más fría y menos profunda alrededor del DCR y un IOS más elevado y vientos de oriente en el POT más fuertes que durante la década de los 70. Durante este período las CPUE y CLP fueron marcadamente superiores a los promedios de 15 años, produciendo IDV casi diez veces mayores que aquellos del período antes de 1973. Se cree que este gran contraste en el éxito de la pesca alerededor del DCR se debe en gran medida al excelente ambiente oceánico y a la abundancia de alimento en la segunda mitad de la década de los 80.

La década de los 80 ha demostrado, tal vez con mayor claridad que los años 60 y 70, cómo la pesca atunera del OPO es afectada periódicamente por los cambios atmosféricos y oceanográficos. Estudios realizados por el personal de la CIAT han demostrado que la disponibilidad y vulnerabilidad de los atunes a la flota cerquera han variado en algunas partes del OPO a medida que cambió anormalmente el ambiente oceánico. El Niño de 1982–1983 causó condiciones oceánicas anormales prolongadas, causando a su vez capturas muy bajas en el OPO. Durante este período gran parte de la flota atunera se trasladó al Pacífico occidental, donde la pesca tenía mayor éxito. A la industria atunera le preocupaba la posibilidad de que la pesquería del OPO tardaría muchos años en recuperarse, pero desde 1984 hasta mediados de 1989 (con la excepción de 1987) ocurrió un período de agua fría (o anti-El Niño), y la pesca volvió rápidamente a su nivel normal; es más, durante la segunda mitad de la década se lograron capturas récord de aleta amarilla. En los últimos diez años el personal de la CIAT ha tenido acceso a una mayor cantidad de datos ambientales que permiten vigilar las condiciones en el OPO. Se continuará usando dichos datos, y especialmente las temperaturas de la capa mixta superior, para intentar obtener un mayor conocimiento de las fluctuaciones en la abundancia, la disponibilidad, y la vulnerabilidad a la captura de los atunes en el OPO.

### INVESTIGACIONES ATUN-DELFIN

Las responsabilidades de la Comisión abarcan la investigación de los problemas ocasionados por la relación atún-delfin en el Océano Pacífico oriental (OPO), tal como se detalla en la página 189.

### Toma de datos

Técnicos científicos (observadores) de la CIAT acompañan a barcos cerqueros de la clase 6 de arqueo (capacidad de acarreo 400 toneladas cortas) de las naciones que pescan atunes asociados con delfines en el OPO. Dichos técnicos toman datos sobre la mortalidad incidental de los delfines, la abundancia de los mamíferos marinos, y el esfuerzo de pesca. Se procura obtener una muestra representativa de todos los viajes de pesca, para así producir varianzas mínimas en las estimaciones con los medios financieros disponibles. En 1989 barcos con bandera de Ecuador, España, los Estados Unidos, México, Panamá, Vanuatu, y Venezuela llevaron técnicos de la CIAT. Los barcos estadounidenses llevaron también observadores del programa de delfines nacional del National Marine Fisheries Service (NMFS).

En la Tabla 15 se resume la cobertura en 1989 de los dos programas. En total se muestrearon 287 viajes de pesca, 212 por la CIAT y 75 por el NMFS, resultando así en una cobertura de un 48% de los viajes de la flota internacional en 1989, incluyendo aquellos que comenzaron en 1988 y continuaron en 1989 y aquellos que comenzaron en 1989 y continuaron en 1990. Se cubrió más de un 51% de aquellos viajes de la flota internacional en los cuales se realizaron lances sobre peces asociados con delfines, y más del 55% del atún aleta amarilla capturado en asociación con delfines.

En 1989 el personal de la CIAT procuró mantener una cobertura al nivel de 33% para todos los barcos excepto aquellos de los Estados Unidos. Con este nivel de muestreo es posible estimar la

mortalidad de los delfines con márgenes de error aceptables. El nivel de muestreo real fue aproximadamente 35% para dichos barcos. El NMFS requirió una cobertura al 100% en 1989 para aquellos barcos estadounidenses de la clase 6 de acarreo con permisos para pescar atunes asociados con delfines, pero el nivel real fue de 93% porque dos barcos fueron exentados del programa en parte de o todo el año porque carecían de dichos permisos. Normalmente los programas de la CIAT y el NMFS comparten el muestreo por partes iguales, pero a mediados de 1989 el NMFS decidió que necesitaba acceso a los datos tomados por los técnicos de la CIAT a bordo de barcos estadounidenses para verificar su cumplimiento con el reglamento pesquero nacional. Observadores del NMFS acompañaron a todos los viajes de los barcos estadounidenses durante varios meses a mediados del año hasta que se establecieron normas para pasar los datos en cuestión al NMFS por medio de las oficinas administrativas del barco. El resultado fue que en 1989 la mayoría del muestreo de la flota estadounidense fue realizada por los observadores del NMFS.

Las únicas tres flotas nacionales (Corea, Costa Rica, y El Salvador) que pescaron en el OPO en 1989 y que no participaron a, o cerca de, el nivel de 33%, consistían de un solo barco, cada uno de los cuales realizó solamente un viaje en el OPO durante el año. Tampoco se muestreó un barco que realizó un viaje en el OPO sin bandera.

# Capacitación de técnicos

Durante 1989 se celebraron cinco cursos de capacitación de técnicos científicos sobre la toma de datos a bordo de barcos cerqueros: uno en Panamá (R.P.) en enero (4 técnicos panameños); uno en Cumaná (Venezuela) en junio (12 técnicos venezolanos); y uno en Ensenada (México) en noviembre (15 técnicos mexicanos). Los asistentes fueron capacitados en la identificación de los mamíferos marinos y los atunes, los requirimientos y procedimientos para la toma de datos, la estimación del tamaño de las manadas de mamíferos marinos, el equipo y las faenas de pesca,, y el protocolo y la seguridad a bordo del barco. Se celebraron también dos cursos en La Jolla, California (EE.UU.), uno en marzo y el otro en julio, para un total de 23 técnicos estadounidenses. Dichos técnicos fueron instruídos en los procedimientos de la CIAT de toma de datos y estimación del tamaño de las manadas de mamíferos marinos, suplemento a la capacitación del NMFS.

### Taller atún-delfín

La Comisión, en conjunto con el NMFS, convocó un taller Atún-Delfín en San José (Costa Rica), del 14 al 16 de marzo de 1989, al cual asistieron representantes de gobiernos e industrias de países con flotas pescando atunes en el OPO y demás interesados. (Se pueden obtener de la CIAT los documentos y las actas de la reunión.) El propósito de la reunión era comentar la problemática atúndelfin y los reglamentos nacionales que afectan la pesquería de atunes asociados con delfines y el mercado del atún. Un resultado de la reunión ha sido una serie de seminarios presentados por miembros del personal de la CIAT sobre la reducción de la mortalidad de los delfines, a los cuales asistieron pescadores e industriales de la flota atunera cerquera. En la Tabla 16 se detallan los seminarios celebrados en 1989, y en la Tabla 17 los temas tratados en los mismos. A los pescadores asistentes se les presenta un certificado de participación. De los 127 pescadores que han asistido a los seminarios, más de la mitad eran capitanes de pesca activos.

### Programa de artes de pesca

En 1989 el personal del programa de artes de pesca participó en la alineación del paño de protección de delfines (PPD y revisión del equipo de protección en 37 barcos de la flota internacional. Barcos matriculados en México, Panamá, Vanuatu, y Venezuela participaron en este programa. Al cabo de cada alineación del PPD y revisión del equipo de protección se proporciona al armador del barco un resumen de los resultados y recomendaciones, en caso necesario, para mejorar el equipo y el

funcionamiento del mismo. En la Tabla 18 se resumen las actividades de este servicio brindado por la CIAT.

Además de estas actividades, se ofrecen otros servicios a los armadores de los barcos para ayudarles en la reducción de la mortalidad de los delfines. Literatura y videos sobre el tema están disponibles en todas las oficinas de la CIAT. Con la autorización debida, se suministran a los armadores análisis de los datos de un viaje, para permitirles vigilar el desempeño de un barco y su capitán. Se están también considerando o probando varios aparatos que pudieran ayudar a reducir la mortalidad de los delfines en la red.

#### Lancha de rescate de delfines

El *Jet Mate*, una embarcación fabricada por la Kawasaki Motors Corporation para uso recreacional que apareció a principios de 1989, podría ser útil como plataforma de rescate de delfines durante las faenas de pesca con red de cerco. El Sr. Robert Salomons, de la Porpoise Rescue Foundation, sugirió este uso para la nave. El *Jet Mate* tiene casco de fibra de vidrio, y un motor de 52 caballos que propulsa el barco por chorro, o sea sin hélice. Mide 2.7 m de largo y 1.5 m de ancho y puede llevar tres tripulantes; su altura mínima la hace muy estable. Se controla con una palanca de mandos, y puede virar en solamente unos 2.4 m.

Desde abril de 1989 varios barcos de la flota internacional han probado el *Jet Mate* como plataforma de rescate de delfines. En los primeros lances surgieron algunos problemas mecánicos y estructurales, debidos principalmente a que el casco de la nave no es suficientemente fuerte para las condiciones severas de un lance cerquero. Dos de las naves a bordo de barcos de los Estados Unidos fueron modificados por un concesionario de la Kawasaki y por los tripulantes del barco mismos, lo cual mejoró su desempeño, pero siguen surgiendo problemas. Es posible que la fiabilidad del *Jet Mate* mejore a medida que los tripulantes se vayan familiarizando con su mecánica y que se vayan suministrando más piezas de repuesto a los barcos. Una versión con casco de aluminio sería probablemente más duradera.

En las ocasiones cuando se pudieron utilizar los *Jet Mate*, su desempeño ha sido alentador. Varios de los capitanes que los han usado opinan que son útiles para arrear a los delfines cautivos hacia la zona de rescate de la red y para el rápido rescate manual de delfines en apuros. Les ha impresionado la facilidad con la cual el *Jet Mate* puede cruzar la línea de corchos para entrar y salir del cerco. Esta maniobrabilidad le permite realizar también otras tareas, tales como despejar cabos enredados, en áreas donde la hélice de una lancha normal podría enmallarse.

### Red experimental

Dos miembros del personal de la CIAT fueron invitados por científicos de la Universidad de California en Santa Cruz (UCSC) a participar en un estudio del comportamiento de delfines tornillos de Hawaii cercados. Los científicos de UCSC habían diseñado una red experimental con una puerta que se usaría para liberar a los delfines antes del retroceso y así reducir la mortalidad de los mismos en las redes de cerco, y querían determinar el tamaño de puerta por el cual los delfines saldrían voluntariamente. La prueba, realizada cerca de Hawaii en noviembre de 1989, no fue conclusiva, debido a dificultades con el uso de la red experimental y con la captura de delfines.

#### La mortalidad incidental de los delfines

Uno de los objetivos del programa atún-delfín de la CIAT es estimar la mortalidad incidental de los delfines ocasionada por la flota internacional. El personal de la CIAT ha producido estas estimaciones desde 1979; anteriormente eran calculadas por los científicos del NMFS. A partir de 1984 se usa un nuevo método, incorporando un sistema de estratificación basado en áreas y stocks y varios procedimientos para mejorar la precisión y obtener estimaciones de la varianza no paramé-

tricas (casi sin supuestos) y más realistas. Cambios en la cobertura de las flotas de ciertas naciones participantes permitieron añadir una estratificación por bandera en 1986.

En los Informes Anuales de la CIAT anteriores se han descrito los métodos usados para estimar la mortalidad incidental de los delfines, y no se repetirán aquí. Los estimadores de razón usados son mortalidad por lance y mortalidad por tonelada; se extrapolan al esfuerzo total de la flota sobre peces asociados con delfines, expresado como el número de lances sobre peces asociados con delfines o toneladas de aleta amarilla capturadas en dichos lances. Se estratifican los datos por stock, área, y bandera (Estados Unidos y otros). Para reducir el sesgo de las razones, y para calcular una varianza no paramétrica, se usa un procedimiento de remuestreo ("bootstrap"). El NMFS proporcionó a la CIAT los datos de la flota de los Estados Unidos tomados por sus observadores.

Las estimaciones de la mortalidad en 1989, presentadas en la Tabla 19, aumentaron con respecto a los valores de 1988. Usando la razón de mortalidad por lance, las estimaciones totales fueron un 22.9% mayores que las de 1988; usando mortalidad por tonelada, un 19.3% mayores. El número de lances sobre peces asociados con delfines aumentó a 12,580 en 1989, valor 19.6% mayor que aquel de 1988 y ligeramente superior al valor máximo previo de 1987. La cantidad de aleta amarilla capturado en lances sobre delfines aumentó en un 32.8% en 1989, estableciendo un nuevo récord de captura de atunes asociados con delfines.

Se usan los dos siguientes tipos de información para estimar la mortalidad de los delfines: (1) el esfuerzo, en número de lances, dirigido hacia atunes asociados con delfines (o toneladas de aleta amarilla capturado en asociación con delfines) y (2) la mortalidad media por lance (o por tonelada de aleta amarilla). Se usa la mortalidad por lance o por tonelada de aleta amarilla para cuantificar el desempeño de la flota con respecto a la reducción de la mortalidad de los delfines. Estas medidas se ven muy afectadas por el área en el cual se realiza la captura y el stock hacia el cual se dirige el esfuerzo. El análisis completo de los datos de desempeño implica el cálculo de razones para áreas y/o stocks distintos para cada año. Sin embargo, para llegar a una comparación bruta del desempeño en distintos años, es posible dividir (1) la mortalidad total estimada a partir de la razón de mortalidad por lance por el número total de lances sobre peces asociados con delfines y (2) la mortalidad total estimada a partir de la razón de mortalidad por tonelada por el tonelaje total de aleta amarilla capturado en asociación con delfines, para calcular las razones de mortalidad por lance y mortalidad por tonelada. El primero aumentó en un 2.7% en 1989, mientras que el último se redujo en un 9.6%.

Las cambios en las estimaciones de la mortalidad de los stocks principales demuestran una distribución geográfica diferente del esfuerzo dirigido hacia peces asociados con delfines en 1989. Las estimaciones de la mortalidad del stock del tornillo panza blanca norteño se triplicaron, mientras que aquellas del stock del tornillo oriental fueron un 20% menores que en 1988, señalando un cambio en el esfuerzo hacia el área occidental (de alta mar). En la Figura 36 se puede ver que se realizaron menos lances en las áreas de los stocks norteño y sureño del delfín común (mortalidades reducidas en entre 75 y 90%) y que se concentró el esfuerzo en el área del stock central de dicha especie, aproximadamente entre 2°N y 16°N (mortalidad 75% mayor que en 1988).

# Abundancia relativa de los delfines

Se vigilan los efectos posibles de la mortalidad incidental sobre la abundancia de las distintas especies y/o stocks de delfines en el OPO mediante el análisis de los datos tomados a bordo de los barcos atuneros. La mortalidad incidental durante la década de los 70 fue suficiente como para afectar la abundancia de por lo menos dos especies, el delfín manchado y el delfín tornillo.

Los datos de los barcos atuneros forman una amplia base de datos, con cobertura regular de gran parte de las áreas ocupadas por las distintas especies y/o stocks (denominados "stocks" a secas de ahora en adelante). Se estima la densidad de los delfines de un stock dado en un año dado mediante la técnica de transectos lineales. Se suman las manadas avistadas desde los barcos, y se

hacen ajustes por aquellas manadas que se supone estuvieron presentes pero que no fueron detectadas. A continuación se multiplica esta estimación revisada del número de manadas por una estimación del tamaño medio de las manadas para llegar a una estimación del número de delfines en el área observada. Se divide el área de distribución del stock por el área observada, y se multiplica este cociente por el número de delfines en el área observada para llegar a una estimación del número total de delfines en el stock en cuestión. Ni los stocks de delfines ni el esfuerzo de muestreo está distribuido de forma uniforme por el OPO, y es por lo tanto necesario estratificar los datos y estimar la abundancia de los distintos stocks dentro de estos estratos. Sin embargo, debido al carácter de las actividades pesqueras, se violan a menudo las suposiciones necesarias para que el muestreo por transectos lineales produzca estimaciones insesgadas de la abundancia absoluta. Los procedimientos deberían por consiguiente ser, en caso posible, insensibles a estas violaciones. Se siguieron los procedimientos descritos en el Informe Anual de la CIAT de 1988 para analizar los datos tomados a bordo de los barcos atuneros durante 1988 y 1989. Ya que es poco probable que dichos procedimientos eliminen todos los sesgos, se deberían considerar estas estimaciones como índices de abundancia relativa de los delfines, y no de su abundancia absoluta.

Las bases de datos de 1988 y 1989 señalan un aumento en el número de viajes con observadores a bordo, y por lo tanto en el número de avistamientos disponibles para el análisis, para la flota de los Estados Unidos y para las demás también.

En las Tablas 20 y 21 se detallan las distancias, en millas náuticas, de esfuerzo de búsqueda por barcos atuneros con observadores a bordo, y el número de avistamientos realizados durante períodos de búsqueda. En las Tablas 22 y 23 se presentan los índices de abundancia relativa de todos los stocks, y en la Tabla 24 se resumen las pruebas por tendencias lineales a través de períodos de 5 años.

#### Delfines manchados

Los datos en las Figuras 37 y 38 y en la Tabla 24 señalan que el stock de alta mar norteño del delfín manchado es más o menos estable. Existe alguna indicación de que la abundancia aumentó durante los años 80, pero ninguna de las tendencias de 5 años demuestra un aumento estadísticamente significativo, a menos de que se retenga el índice anómalo de 1983. No obstante, las estimaciones son consistentes con un stock que alcanzó su abundancia mínima a principios de la década de los 80, con tal vez una cierta recuperación después del Niño fuerte de 1982–1983. Las estimaciones de la abundancia relativa en los últimos cinco años no han oscilado en más de un 10% alredeor del promedio de dicho período.

Los datos en la Figura 39 y la Tabla 24 señalan que algunas estimaciones de la abundancia relativa del stock de alta mar sureño del delfín manchado son dudosas. Existen indicios de una disminución entre 1982 y 1988, pero la estimación de 1989 es la más alta desde 1982. Se cree que la variabilidad de las estimaciones se debe. al menos parcialmente, a movimientos de una proporción sustancial del stock a través de los límites del mismo. Por ejemplo, la estimación de 1988 es particularmente baja, y la distribución de las observaciones en dicho año señala que muchas manadas fueron observadas fuera de los límites, tal vez a raíz de un cambio temporario en la distribución del stock. Es posible que en algunos años también tenga lugar movimiento a través del límite que separa el stock sureño del norteño, ya que las tasas de encuentro son a veces elevadas cerca de dicho límite. Esto sugiere que se debería considerar atípica la estimación de 1988. La cuestión de la sensibilidad de los procedimientos actuales a las variaciones en el área ocupada por este stock merece mayor atención, y se debería tal vez relajar el supuesto de áreas fijas para mejorar la robustez de las estimaciones.

### **Delfines tornillos**

Al igual que el stock de alta mar norteño del delfín manchado, las estimaciones de la abundancia relativa del stock oriental del delfín tornillo son consistentes con un stock que alcanzó su abundancia mínima a principios de la década de los 80, con tal vez cierto aumento desde entonces (Figura 40 y Tabla 24). Los indicios de un aumento son algo más persuasivos para los tornillos orientales, aunque las fluctuaciones en las estimaciones de los ultimos años son bastante grandes.

Las estimaciones recientes correspondientes al stock panza blanca norteño del delfín tornillo (Figura 41 y Tabla 24) sugieren que la abundancia del mismo ha sido bastante estable, después de las dos estimaciones bajas de 1983 y 1984. Esto es similar a lo ocurrido con los demás stocks norteños de los delfines tornillo y manchado.

Entre 1978 y 1985, las estimaciones de la abundancia relativa del stock panza blanca sureño del delfin tornillo aumentaron de forma bastante constante (Figura 42 y Tabla 24). El tamaño de las muestras fue insuficiente para calcular una estimación para 1986. La estimación de 1988 fue la más baja desde 1978, mientras que la de 1989 fue cercana al promedio de los últimos años, y ligeramente superior al promedio de 1976–1988. A pesar de los indicios aparentes de un aumento, no existen pruebas convencedoras de que el stock esté ni incrementándose ni disminuyendo actualmente.

#### Delfines comunes

El pequeño tamaño de las muestras de los mediados de la década de los 80 causan problemas con la evaluación de las tendencias actuales del tamaño del stock norteño del delfín común. Los datos en la Figura 43 y la Tabla 24 no demuestran ninguna evidencia de una tendencia reciente. Las cuatro estimaciones de la abundancia relativa desde 1986 han sido inferiores al promedio de 1975–1983. Serán necesarios datos de más años para evaluar si estas estimaciones señalan una disminución reciente. La calidad y cantidad de los datos disponibles para este stock han mejorado en los últimos años; si continúa esta tendencia, debería ser posible una evaluación más confiable del stock en un futuro cercano.

Las estimaciones de la abundancia relativa del stock central del delfín común han sido bajas a partir de 1980 (Figura 44). Las estimaciones de 1988 y 1989 son entre las más altas de las estimaciones recientes, pero caen por debajo de aquellas anteriores a 1980. Los datos en la Figura 44 y la Tabla 24 sugieren que el stock es más o menos estable, pero a un nivel reducido con respecto a los años 70. Al igual que el stock norteño, los datos recientes son mejores que aquellos de principios de la década, y permitirán probablemente por lo tanto una comparación más confiable con las estimaciones de antes de 1980.

Los datos del stock sureño del delfín común son generalmente escasos, y los tamaños de las muestras han sido demasiado pequeños para permitir estimar la abundancia relativa en 6 de los últimos 12 años, lo cual dificulta la evaluación de las tendencias en la abundancia. Las estimaciones de 1988 y 1989 son similares al promedio desde 1977, lo cual indica quizás una abundancia estable, si bien posiblemente a un nivel reducido con respecto a mediados de la década de los 70 (Figura 45 y Tabla 24). Al igual que los demás stocks sureños, se deben interpretar con bastante cautela las estimaciones de la abundancia relativa, en vista de la paucidad de datos.

# Detección de las manadas de delfines por radar

Recientemente se ha introducido a la flota atunero un radar de alta resolución, capaz de detectar aves asociadas con manadas de delfines, y su uso se ha difundido rápidamente. El uso de este "radar de pájaros" afecta la precisión, y posiblemente los sesgos, de las estimaciones de la abundancia de los delfines. La detectabilidad de las manadas es aumentada por el uso del radar, llevando así a muestras de mayor tamaño y estimaciones más precisas de la abundancia de los delfines. Ya que la metodología de transectos lineales estima la detectabilidad a partir de los datos, este cambio no afectaría los sesgos si se satisfacieran los supuestos del muestreo por transectos

lineales. Sin embargo, ya que se sabe que se violan dichos supuestos, es necesario evaluar si las detecciones por radar afectan los sesgos de las estimaciones de la abundancia relativa. El radar podría potencialmente producir estimaciones mejores de los ángulos y distancias de las observaciones, lo cual significaría a su vez menos "extendido" de los datos para compensar por errores de redondeo, y el sesgo de las estimaciones podría cambiar a medida que mejorara la calidad de los datos.

En las Tablas 25 y 26 se presentan las estimaciones calculadas tras eliminar los datos de avistamientos realizados con radar. Si se comparan éstas con con las Tablas 22 y 23, se puede ver que la inclusión de los avistamientos por radar no parece afectar la comparabilidad con las estimaciones previas, al menos para el período aquí considerado. Será naturalmente necesario vigilar los cambios potenciales en los sesgos a medida que aumente el uso del radar y se obtenga mayor información sobre su uso en la detección de las manadas de delfines.

## Interacción atún-delfín

Todavía no se sabe porqué los atunes se asocian con los delfines, y quedan por contestar las preguntas sobre las ventajas ganadas por ambas partes del vínculo. La asociación más importante es entre los atunes aleta amarilla y los delfines manchados. Ya que las dietas de estas especies son similares, se cree generalmente que el vínculo se basa en la alimentación, pero es posible que las dietas similares sean una consecuencia oportunista de la asociación, y no su causa. Un modelo matemático propuesto por un miembro del personal de la CIAT señala que la relación tiene que ser ventajosa para la especie de vida más corta (los peces) para que sea estable. El hecho de que los peces permanezcan con los delfines aún cuando éstos estén siendo perseguidos sugiere una tendencia fuerte hacia una asociación con los delfines.

Con el propósito de estudiar el vínculo atún-delfin, se graficó el tamaño de las manadas de delfines manchados y la captura de atunes por hora del día, usando datos tomados por observadores a bordo de barcos atuneros entre 1974 y 1987. Se estratificaron las capturas de atunes por especie y modalidad de pesca: (a) lances sobre delfines (lances sobre aletas amarillas asociados con delfines, típicamente mayores de 90 cm); (b) lances sobre objetos flotantes (lances sobre aletas amarillas y/o barriletes asociados con troncos u otros objetos flotantes, peces de talla típicamente menor de 70 cm); y (c) lances sobre cardúmenes (sobre aletas amarillas y/o barriletes cerca de la superficie y no asociados con delfines u objetos flotantes, igualmente peces pequeños).

El tamaño de las manadas de delfines manchados aumentó significativamente durante la mañana; hacia fines de la tarde las manadas se fragmentaron (Figura 46). La captura media de aleta amarilla asociados con delfines y con objetos flotantes también aumentó durante la mañana, pero permaneció relativamente constante durante toda la tarde (Figuras 47 y 48). Sin embargo, la captura media de aleta amarilla en lances sobre cardúmenes, y de barrilete en lances sobre objetos flotantes y sobre cardúmenes, no mostró este patrón diario (Figuras 49–51). El aleta amarilla, grande y pequeño, se alimenta oportunísticamente, y con las mismas especies de presas (Informe Anual de la CIAT de 1984: Figura 17). Esto sugiere que el incremento diario de los cardúmenes de aleta amarilla resulta de su asociación con los delfines u los objetos flotantes, que podrían servir como punto de reunión en un ambiente en el cual hay pocos señales con las cuales ubicarse u orientarse. Otro factor que pudiera contribuir al efecto sería que la combinación de las manadas de delfines conllevara un agrupamiento de los atunes asociados con las manadas.

La proporción media de la captura de aleta amarilla al número de delfines manchados asociados no cambió significativamente durante la mayor parte del día, pero sí aumentó marcadamente a partir de las 1800 horas (Figura 52). A esta hora las manadas de delfines comienzan a fragmentarse (Figura 46) mientras que los cardúmenes de atunes permanecen intactos (Figura 47), ocasionando así un aumento en la proporción atún-delfín. Esto sugiere que el vínculo atún-delfín es

menos fuerte de noche. Si es factible pescar atunes aleta amarilla grandes de noche, estos resultados sugieren además que ésto reduciría el efecto sobre los delfines.

Los delfines manchados y los atunes aleta amarilla son potencialmente competidores. Se ignora si la relación permanece estable porque no están limitados por el alimento, porque se reparten los recursos, o porque al menos una de las especies saca provecho de la presencia de la otra. Se sabe que los aletas amarillas arrean a sus presas hacia la superficie del agua; es posible que ésto sea beneficioso para los delfines, ya que la presa les estaría más disponible. Es también posible que los aletas amarillas podrían sacar provecho de la dispersión de los bancos compactos de peces presa por los delfines. La detección de las presas podría ser mejor gracias a la combinación de los distintos métodos de búsqueda; por ejemplo, la capacidad de ecolocalización de los delfines podría complementar al olfato de los peces. Una hipótesis sería por lo tanto que la relación es mutualista, y que ambas especies sacan provecho de la búsqueda conjunta del alimento.

Esta hipótesis crea una cierta paradoja. Si la relación entre los delfines manchados y el aleta amarilla es principalmente diurno, y se basa en ventajas alimenticias, ¿Porqué será que en estudios de las costumbres tróficas realizados por el NMFS y la CIAT se descubrió que los estómagos de los delfines manchados estaban vacíos en la tarde? El personal de la CIAT está intentando actualmente resolver las dudas sobre las horas de alimentación de los atunes y los delfines.

Otra explicación de la asociación podría ser que los atunes y los delfines, independientemente o conjuntamente, encuentran grandes concentraciones de especies presa, calamares o peces, por ejemplo, y que siguen a estas concentraciones durante días o hasta semanas. En este período los atunes y los delfines se alimentarían de las concentraciones de presas a la hora que prefirieran, los defines tal vez al amanecer y al anochecer y los atunes de día, pero aún cuando no estuvieran comiendo mantendrían contacto con la concentración de presas. Este tipo de comportamiento generaría una "asociación indirecta" entre los atunes y los delfines, es decir que ambos estarían más asociados con la fuente de alimento que entre sí mismos. Aún si comieran a distintas horas y/o frecuencias, podrían permanecer juntos durante períodos largos, especialmente dado que la poca profundidad de la capa mixta en el OPO podría llevar a que permanecieran juntos todavía más tiempo. En otras regiones oceánicas, con termoclinas más profundas, las diferencias en el comportamiento de alimentación, por ejemplo, pudieran separar a los atunes de los delfines: los primeros se alimentarían de un tipo de presa a mayor profundidad y los últimos de otro más cerca de la superficie.

Es posible que, al cabo de un período de alimentación, los atunes o delfines se aparten y sigan a la concentración de presa a mayor distancia. Esto no debería presentar dificultades para los predadores, mucho más veloces que las presas pero, si las presas nadaran muy lentamente, pudieran surgir problemas fisiológicos, al menos para los atunes. Zambullidos veloces y profundos podrían mejorar la circulación de oxígeno o mantener la temperatura.

Una vez reducida la concentración de presas a un nivel que no puede soportar el número de predadores que le sigue, los atunes y los delfines deben buscar una nueva concentración. Es entonces que los atunes pudieran aprovechar la ecolocalización de los delfines, o su vista aérea, capaz tal vez de detectar actividad de aves marinas, o que los delfines saquen provecho del sistema de olfato bien desarrollado de los atunes. Alternativamente, los dos grupos podrían separarse y buscar independientemente; encontrarían eventualmente una nueva concentración de presas, y con ella un nuevo cardumen o manada de predadores.

Si existe una asociación directa entre los atunes y los delfines, podría estar determinada por factores que fueran significantes solamente durante los períodos de búsqueda, solamente durante los períodos de seguimiento y alimentación, o durante ambos. Será imposible determinar cuánto tiempo pasan los atunes y los delfines en búsqueda de presas y cuánto siguiéndolas y comiéndolas hasta que se obtenga mayor información sobre la dispersión de los organismos presa. Experimentos en los cuales se siguiera a grupos de atunes y delfines y se reuniera información sobre las especies presas probablemente ayudarían a aclarar este tema. Entre tanto, la explicación más sencilla de la

asociación atún-delfín es que ambas especies se alimentan oportunísticamente y que comparten una estrategia de alimentación que consiste en encontrar y seguir a concentraciones de presas; ya que las presas suelen formar grupos grandes, los predadores que les siguen se encuentran generalmente juntos. Esto ha llevado al concepto de una asociación, pero en realidad es posible que sean simplemente dos predadores siguiendo una fuente de alimento grande y móvil.

Además de atunes y delfines, es probable que tiburones, picudos, aves, y otros animales formen parte de esta "asociación" móvil. El énfasis en los atunes y los delfines, causado por el hecho de que los datos de la CIAT provienen de la pesquería atunera, pudiera estar ocultando el hecho de que hayan muchas otros especies que viajan juntos con ellos.

### CONDICION DE LOS STOCKS DE ATUNES EN 1989 Y PERSPECTIVAS PARA 1990

El personal científico de la CIAT es responsable de vigilar las fluctuaciones en la abundancia de los atunes tropicales del Océano Pacífico oriental (OPO) y evaluar los efectos de la actividad humana y los factores naturales sobre su abundancia. Cada año se usa la información científica reunida por el personal para formular recomendaciones para la administración de estas especies. Para lograr este objetivo se presenta la información en las reuniones de la Comisión; se resume la misma en el presente informe para difundirla al público en general.

#### ALETA AMARILLA

Para evaluar la condición del aleta amarilla en el OPO se han usado varios modelos de producción y con estructura de edades con datos tomados por el personal de la CIAT. Se resumirán estos resultados, y se comentarán la condición del recurso en 1989 y las consideraciones para 1990.

En Informes Anuales de la CIAT anteriores se segregaron los datos del aleta amarilla del área al este de 150°W de acuerdo con si fueron capturados dentro o fuera del Area Regulatoria de la Comisión del Aleta Amarilla (ARCAA) (Figura 1). La mayoría de los análisis trataban de peces capturados dentro del ARCAA. Se tomó esta decisión a raíz de investigaciones de la estructura de la población de aletas amarillas en el Océano Pacífico (Boletín de la CIAT, Vol. 17, № 5) y estudios subsiguientes que indicaron que los peces de altura estaban afectados por la pesca de forma distinta a los peces que se encontraban más cerca de la costa. Sin embargo, desde 1978 la distribución del esfuerzo de pesca y de las capturas se ha hecho mucho más contínua (Figura 2), y es ahora aparente que desde el principio de la década de los 70 la talla media de los peces en la captura ha mostrado tendencias similares en las dos áreas (Figura 53, recuadro superior) y que la captura por día de pesca (CPDP) también ha sido similar en las dos áreas (Figura 53, recuadro inferior). Este informe se enfocará por lo tanto en los análisis de los datos del aleta amarilla del Océano Pacífico oriental, al este de 150°W entre 40°N y 40°S, tratado como un solo stock. De ahora en adelante en esta sección se denominará el "Océano Pacífico oriental" a todo el área al este de 150°W. Estos análisis incluyen además varios cambios adicionales. Se usa la curva de crecimiento del Boletín de la CIAT, Vol. 18, Nº 6 (Figura 54), la cual indica un crecimiento más rápido de lo que se creía correcto anteriormente. Los análisis comprenden la suposición, basada en estudios actuales de la proporción de machos y hembras en la captura, que las tasas de mortalidad natural son diferentes para machos y hembras adultos. La talla de primer ingreso a la captura ha sido cambiada de 40 a 30 cm, lo cual causa que el mes de ingreso sea 2 meses más temprano. Finalmente, ahora se usan intervalos mensuales y no trimestrales en los cálculos. A pesar de todos estos cambios, las nuevas estimaciones de la biomasa y el reclutamiento no han cambiado marcadamente (Figuras 55 y 56), y definitivamente las tendencias son las mismas. Se describirán los resultados de los análisis más recientes, seguidos por una discusión de la condición del recurso en 1989 y consideraciones para 1990.

#### Modelos con estructura de edades

Los modelos con estructura de edades utilizan datos sobre el reclutamiento y sobre el crecimiento y mortalidad de peces individuales. Las estimaciones de estos parámetros se obtienen mediante el análisis de datos de frecuencia de talla y partes duras de los peces en la captura, complementados con datos de marcas devueltas y demás datos de varios tipos. Los investigadores de la CIAT han recopilado datos sobre la composición de talla de las capturas de aleta amarilla en el OPO desde 1954, y han tenido acceso a datos análogos recopilados por el California Department of Fish and Game durante el período 1951–1954. Las partes duras fueron coleccionadas entre 1977 y 1979, y se realizaron los análisis a principios de los años 80. La gran mayoría del marcado fue llevada a cabo entre 1955 y 1981, y se continúa el análisis de los datos resultantes.

#### Análisis de la biomasa

Los estudios de la biomasa con estructura de edades realizados por los investigadores de la CIAT han producido información sobre la abundancia y mortalidad de peces de clases anuales individuales de gran utilidad en la evaluación del stock. En este tipo de análisis, el primer paso consiste en asignar a los peces capturados a una cierta cohorte. (Una cohorte consiste de todos los peces reclutados a la pesquería al mismo tiempo: por ejemplo, los peces de la cohorte X73 alcanzaron una talla de unos 30 cm en noviembre de 1973, ingresaron inicialmente a la pesquería en pequeñas cantidades durante el primer semestre de 1974, y contribuyeron a ella de forma significativa por primera vez durante el segundo semestre de ese año: la cohorte Y73, que alcanzó los 30 cm en mayo de 1973, ingresó a la pesquería por primera vez en pequeñas cantidades en el segundo semestre del mismo año, y contribuyó significativamente a la pesquería por primera vez en el primer semestre de 1974. Se ha estimado el reclutamiento a las cohortes X e Y, y parece que la cohorte Y es, en promedio, ligeramente mayor que la cohorte X (Tabla 27).) A continuación se calculan estimaciones del número de peces en cada cohorte al momento de reclutamiento y a varios intervalos subsiguientes, y también del número que es capturado y que muere durante cada intervalo. Para calcular las estimaciones de la biomasa se convierten estas cantidades a su equivalencia en peso, a partir de los datos del peso promedio de peces de distintas tallas. La información necesaria para realizar estos cálculos incluye la cantidad y peso promedio de los peces de cada cohorte en la captura, una estimación de la tasa de mortalidad natural (o estimaciones de una serie de tasas si la mortalidad natural no es constante para peces de distintas edades), y una estimación de la tasa de mortalidad por pesca de por lo menos uno de los intervalos de captura de cada cohorte. Estas se denominan tasas "de comienzo" de la mortalidad por pesca. Todos estas estimaciones se obtienen de los análisis de las estadísticas de captura, y de los datos de la frecuencia de talla, talla-peso, y proporción de sexos. Los resultados de estos análisis no tienen la precisión deseada porque, aunque es fácil distinguir los peces de una cohorte de los de otras cuando los peces son jóvenes, ésto se hace más y más difícil a medida que envejecen los peces, y por consecuencia es probable que se asignan a menudo a cohortes incorrectas. Por lo tanto no sólo son menos precisas de lo deseable las estimaciones de las capturas de los peces de cada cohorte, sino que las estimaciones de las tasas de mortalidad son algo imprecisas. Específicamente, se usa una tasa anual instantánea de mortalidad natural (M) de 0.8 para machos de cualquier edad. Para las hembras, se supone que M es 0.8 para los primeros 30 meses en la pesquería, y que subsecuentemente aumenta de forma lineal hasta llegar a 6.5 a los 80 meses. (En realidad, varía bastante entre cohortes.) Además, la capturabilidad de los peces varía según la edad, área, temporada del año, condiciones meteorológicas, y otras circunstancias, y las tasas de crecimiento y el momento de reclutamiento también varían. Todo ésto crea interferencia y posiblemente también produce un sesgo en los cálculos.

Se han realizado análisis de la biomasa con estructura de edades para los años 1964 a 1989. En la Tabla 28 se presentan estimaciones trimestrales de la cantidad promedio de peces por grupo de edad desde 1967 hasta 1989, y en la Figura 57 estimaciones de la biomasa media anual de los peces por grupo de edad de 1967 a 1989. Se estimaron diferentes tasas de comienzo de mortalidad por pesca en los meses en que se explotaron por última vez las diferentes cohortes, con base en las fluctuaciones del esfuerzo de una temporada a otra. Además, a fin de realizar comparaciones, se hicieron cálculos para todas las cohortes con tasas de comienzo más elevadas y más bajas que las tasas consideradas como las estimaciones más precisas. Se hicieron algunos ajustes finos a estas tasas de comienzo para obtener una comparación más precisa de las estimaciones de la biomasa de las cohortes (Figura 67, recuadro inferior) con las demás tendencias estimadas de la abundancia (Figura 67, primer y segundo recuadro).

De la Tabla 28 se puede obtener una estimación de la población media de peces de cualquier cohorte, expresada en número de peces. En el caso de la cohorte X68, por ejemplo, el número medio de peces de edad 0 en el último trimestre del 1968 fue 23,568,000, y la población de la cohorte durante el primer, segundo, tercer, y cuarto trimestre de 1969, fue en promedio 19.30, 15.69, 12.48, y 9.36 millones de peces, respectivamente (filas de 1969, columna I). En 1970, el promedio de la población de peces de 2 años de edad de la misma cohorte del primer al cuarto trimestre fue de 6.26, 3.73, 2.82, y 2.13 millones de peces, respectivamente (filas de 1970, columna II), y así sucesivamente. El promedio del número de peces de 0, 1, 2, 3, 4, 5, y 6 años de edad de las siete cohortes X (1968, 1967, 1966, 1965, 1964, 1964, y 1962) durante el último trimestre de 1968 fue de 23.57, 9.21, 2.26, 0.64, 0.12, 0.05, y 0.02 millones, respectivamente (1968, última fila). Se presentan los valores para las cohortes Y de igual forma, excepto que éstas aparecen por primera vez durante el segundo trimestre del año.

En la Tabla 27 se presentan las estimaciones del número de reclutas de cada cohorte para el período 1967–1989. Los promedios de los reclutamientos iniciales (columnas 2–4) son 33 millones para la cohorte X y 42 millones para la cohorte Y; el promedio de la población media durante el mes de reclutamiento (columnas 5–7) es 32 millones para la cohorte X y 40 millones para la cohorte Y. La variabilidad entre años es aproximadamente igual para la cohorte X (2.95) y la cohorte Y (2.75), y aquella de los datos combinados (2.44) muestra una relación inversa (no necesariamente significativa) para las dos cohortes. El reclutamiento ha sido variable, pero el promedio de 1978–1989 ha superado aquel de 1967–1977. Parece haber habido una tendencia ascendiente en el reclutamiento en los 20 últimos años, con un reclutamiento inicial medio de unos 64, 73, y 92 millones de peces durante los períodos de 1967–1975, 1976–1982, y 1983–1989, respectivamente (Figura 58). Se podría sin embargo postular que ésto se debe a una variación aleatoria, especialmente en el período 1973–1989, cuando el reclutamiento inicial medio fue unos 80 millones de peces.

En la Tabla 29 se presenta el peso promedio de los peces en cada trimestre, comenzando por el trimestre de su reclutamiento. Se multiplican estos valores por los valores correspondientes de la Tabla 28 para obtener la estimación de la biomasa anual media (promedio del peso total durante cuatro trimestres) de cada cohorte. Se calcularon estos datos (Figura 57) usando valores mensuales. En esta figura es fácil ver la fuerza relativa de las varias cohortes. Por ejemplo, el reclutamiento de las cohortes X85 y Y85 combinadas fue superior a lo normal (Tabla 28) y su biomasa (Figura 57, diagonales muy espaciadas) alcanzó su máximo a la edad de 2 años. Estas cohortes no fueron explotadas de forma intensiva hasta 1987, cuando eran de edad 2+. En cambio, el reclutamiento inicial de las cohortes X72 y Y72 combinadas (Figura 57, diagonales menos espaciadas) fue inferior a lo normal (Tabla 28), y después de que los peces de la cohorte Y fueron pescados de forma intensiva a la edad de 1+ en 1973 (Figura 59), su biomasa fue relativemente baja (Figura 57) en los años subsiguientes.

En la Figura 60 se presentan las estimaciones de la biomasa media anual correspondientes al período 1967–1989, para todos los peces de todas edades y para "peces grandes" (todos los peces de ambas cohortes que han estado presentes en la pesquería durante más de 17 meses). No se presentan los datos correspondientes al período 1964–1966, puesto que en esa época la zona de pesca continuaba extendiéndose y se subestimó la biomasa de las cohortes en esos años. El promedio de la

biomasa total en el período 1967-1971 fue de unas 359 mil toneladas (en el presente informe "toneladas" significan siempre toneladas cortas). Consistía de una gran proporción de peces más viejos, procedentes del reclutamiento de 1965–1967, que fueron poco explotados en su juventud. El reclutamiento inferior al promedio, junto con el aumento de la explotación durante el período 1969-1972, provocó una reducción de la biomasa de peces de todas edades de 1969 a 1973. La biomasa reducida de peces más viejos persistió hasta 1974, mientras que la abundancia de peces más pequeños aumentó en ese año a raíz de una generación extremadamente numerosa en 1973, la cual produjo la mayor parte del aumento en la biomasa de peces grandes en 1975 y 1976. La captura de aleta amarilla en 1976 fue la quinta en importancia en la historia de la pesquería. El reclutamiento de 1975 y 1976, que fue inferior al promedio, junto con la fuerte explotación de peces jóvenes entre 1973 y 1982, provocaron una reducción en la biomasa de peces jóvenes y viejos, alcanzando en 1982 el nivel más bajo observado en años recientes. Aunque los reclutamientos de 1977 y 1978 fueron elevados (el de 1977 fue superado solamente por el de 1973) la captura de peces de 1 y 2 años de edad fue tan elevada que impidió que estas generaciones contribuyeran mayormente a la pesca en 1981 y 1982. El reclutamiento fue normal en 1979 y 1980, inferior al promedio en 1981, y superior a éste entre 1983 y 1989. La biomasa aumentó en 1983 (Figura 60), debido principalmente a la disminución del esfuerzo de pesca en ese año, y se incrementó considerablemente en 1984 y 1985 gracias al buen reclutamiento y a la reducción de la pesca de peces jóvenes.

En las Figuras 59 and 61 se presentan las capturas anuales de peces de las cohortes X e Y, y de ambas cohortes combinadas, durante el período 1967–1988. En la Figura 59 cada recuadro incluye las capturas de peces de una sola cohorte en diferentes años, mientras que en la Figura 61 cada recuadro incluye las capturas de peces de distintas cohortes en un solo año.

Los cambios ocurridos en la composición por edades de la población y de la captura se ven bien claros si se comparan las Figuras 57 (estimaciones anuales de la biomasa de los grupos X e Y), 60 (estimaciones anuales de la biomasa total y de la biomasa de los peces grandes), y 61 (capturas anuales, clasificadas por edad). En los años setenta, cuando el esfuerzo de pesca era elevado, sobrevivían cada vez menos peces hasta alcanzar un tamaño grande. La reducción en el esfuerzo en 1982, 1983, y 1984 permitió el desarrollo de muchos peces que anteriormente hubieran sido capturados de jóvenes. Se estimó la contribución total aportada a la pesquería por cada cohorte X e Y durante el período 1967–1984, y se presentan los resultados de la Figura 59. Estas fluctúan de las 148 mil toneladas de la cohorte de 1971 a las 374 mil toneladas de la de 1973, con un promedio de 212 mil toneladas para los 18 grupos. De no haberse explotado la cohorte Y73 tan intensamente en su primer año, las capturas correspondientes hubieran sido aún mayores. La división de las capturas de estas cohortes (1967-1984) por las estimaciones del reclutamiento iniciales correspondientes (Tabla 27) rinde estimaciones del rendimiento por recluta para cada cohorte (Figura 62, primer y segundo recuadro) que oscilan entre 2.2 y 3.4 kg (4.8 y 7.6 libras). El reclutamiento inicial varió entre 49 y 119 millones de peces, con un promedio de 70 millones, y produjo un rendimiento por recluta medio de 2.8 kg (6.1 libras).

#### Análisis de rendimiento por recluta

Además de los análisis de la biomasa con estructura de edades, se usa también el modelo de rendimiento por recluta. Cuando los peces de una cohorte son jóvenes, el peso total aumenta debido al rápido crecimiento en peso de los peces individuales, mientras que las pérdidas por mortalidad natural son leves. A medida que envejecen los peces, se reduce su tasa de crecimiento, mientras que la mortalidad natural permanece más o menos igual, y en consecuencia la disminución del peso total ocasionada por la mortalidad natural en ese período es superior al incremento por crecimiento, y el peso total sufre una pérdida neta. Eventualmente, la cohorte desaparece. La forma ideal de obtener el máximo rendimiento en peso de una cohorte de peces (suponiendo, para los fines de este estudio, que ese es el propósito de la administración de la especie) sería de capturar cada pez justo antes de su

muerte por causas naturales, situación imposible de lograr. La mejor alternativa sería capturar a los peces cuando alcancen la edad o tamaño al cual la pérdida en el peso total ocasionada por la mortalidad natural compensa exactamente la ganancia debida al crecimiento ("edad crítica" o "tamaño crítico"). Esto es factible en el caso de ciertos moluscos, como las ostras y las almejas, que quedan expuestas por la marea baja y pueden ser capturadas fácilmente en ese momento. Si se vigila constantemente un banco de moluscos, y se recogen con frecuencia aquellos ejemplares que han alcanzado el tamaño crítico, se está ejerciendo un esfuerzo pesquero infinito sobre los organismos que han alcanzado dicho tamaño. Un tal proceder no es factible para la mayoría de las especies de peces.

Si tampoco es factible la segunda alternativa, entonces la intuición nos sugiere que la pesca debería comenzar por aquellos peces que aún no han alcanzado el tamaño crítico. Esta es la tercera alternativa, y es la única viable para la mayoría de las especies de peces. Se supone, por ahora, que la edad de ingreso (es decir, la edad de los peces más pequeños capturados) puede ser controlada eficazmente. Si el esfuerzo de pesca es intenso, se seleccionaría una edad de ingreso sólo ligeramente menor que la edad crítica, la mayoría de los peces capturados serían de tamaño y edad cercanos al crítico, y el rendimiento sería casi tan elevado como bajo la segunda alternativa. Si el esfuerzo de pesca es menos intenso, se seleccionaría una edad de ingreso mucho menor que la edad crítica, el rango de edades y tamaños de los peces capturados sería mayor, y el rendimiento sería considerablemente inferior al alcanzable bajo la segunda opción (pero continuaría representando el máximo posible sin incremento del esfuerzo).

Sin embargo, es posible que no se pueda controlar la edad de ingreso eficazmente. En tal caso, la única manera de administrar la pesquería es mediante el control del esfuerzo. Si la edad de ingreso es superior a la edad crítica, se puede permitir un esfuerzo ilimitado, pero si es inferior, la limitación del esfuerzo podría aumentar el rendimiento.

Cabe mencionar que es necesario permitir que algunos miembros de una cohorte se reproduzcan por lo menos una vez antes de ser capturados. Si los peces desovan mucho antes de alcanzar la talla crítica, la población probablemente no se verá afectada; sin embargo, si el desove ocurre después de que los peces han alcanzado la talla crítica, y el esfuerzo de pesca es intenso, es posible que el número de reproductores se reduzca al grado de repercutir negativamente en el reclutamiento de años subsiguientes. En consecuencia, una estrategia de pesca orientada a lograr el máximo rendimiento por recluta no producirá necesariamente un rendimiento máximo. Si la forma de pescar influye en el reclutamiento futuro, el rendimiento máximo se logrará controlando la pesca para optimizar el tamaño de la cohorte y el rendimiento por recluta en forma simultánea: esta posibilidad se analizará en detalle más adelante. (No obstante, esto no significa que una leve reducción del número de reproductores disminuiría el reclutamiento en años subsiguientes, puesto que esta situación no parece presentarse en la mayoría de las especies de peces). El modelo de rendimiento por recluta aquí descrito no considera la posibilidad de cambios en el reclutamiento, pero ésto sí forma parte de los modelos de producción, que se analizarán más adelante.

Cabe además señalar que un aumento en la densidad de una población de peces puede llevar a una reducción en el crecimiento de individuos o un aumento en la mortalidad natural. Por consiguiente, es posible que la pérdida por captura de algunos peces de tamaño inferior al crítico sea compensada, al menos parcialmente, por el crecimiento más rápido y/o la mortalidad natural inferior del resto de los peces. Además, si la densidad de la población influye en las tasas de crecimiento y de mortalidad natural, ésto modificará el tamaño y la edad crítica de manera correspondiente. El modelo del rendimiento por recluta aqui descrito no toma en cuenta esta dificultad, pero se compensa en forma automática en los modelos de producción.

En el caso del aleta amarilla del Océano Pacífico oriental, se estima el tamaño crítico en aproximadamente  $119 \, \mathrm{cm} \, (34 \, \mathrm{kg} \, \mathrm{o} \, 75 \, \mathrm{libras})$ , a pesar de no ser óptimo el grado de confiabilidad de las estimaciones del crecimiento y de la mortalidad natural obtenidas por los investigadores de la CIAT.

La mayoría de los peces capturados por la pesca con carnada son de tamaño bastante inferior a este tamaño crítico. A fines de los años cincuenta y principios de los sesenta, cuando la mayor parte de la flota atunera cambió de la pesca con carnada a la pesca de cerco, se incrementó el tamaño promedio de los peces capturados: muchos de ellos alcanzaban o superaban el tamaño crítico. La captura promedio anual también aumentó de forma marcada después de la conversión a la pesca cerquera, cifrándose en unas 123 mil toneladas entre 1961 y 1970, en comparación con unas 87 mil toneladas en 1951–1960. La expansión de la pesquería hacia mar afuera a mediados y fines de los años sesenta fue un factor importante que contribuyó al incremento de las capturas, pero también influyó el aumento del tamaño promedio de los peces capturados.

El objetivo de la administración estipulado en el convenio de la CIAT es de obtener el rendimiento promedio máximo sostenible (RPMS). El rendimiento máximo por recluta es equivalente al RPMS, siempre que el reclutamiento sea independiente del número de reproductores, como se indicó anteriormente. En la Figura 63 se presentan las estimaciones del rendimiento por recluta que resultan de varias combinaciones de tamaño de ingreso y esfuerzo de pesca, correspondientes a dos épocas diferentes. (El esfuerzo de pesca se analizará en mayor profundidad en la sección titulada Modelos de producción.) Las diversas combinaciones del esfuerzo de pesca y de la talla de ingreso producen diferentes rendimientos por recluta, que se indican mediante líneas curvas. Los cálculos se basan en los datos de crecimiento en peso señalados en la Tabla 29, y los coeficientes de mortalidad por pesca obtenidos del análisis de la biomasa descrito en la sección anterior. La estimación del coeficiente de mortalidad natural para los machos es 0.8 (un 55% anual si no hubiera mortalidad por pesca); para las hembras se usa 0.8 para los primeros 30 meses, y posteriormente valores que aumentan de forma lineal hasta alcanzar 6.5 a los 80 meses. Durante el período 1978–1982 el esfuerzo de pesca se aplicó en casi igual proporción a peces pequeños, medianos, y grandes, mientras que durante el período de 1985-1989 el esfuerzo de pesca se orientó en mayor medida hacia peces grandes y en menor medida hacia peces pequeños. Durante 1988 la distribución de tallas fue similar a las de 1975–1977, comprendiendo una mezcla de peces grandes y pequeños, pero en 1989 la pesca enfocó de nuevo en los peces más grandes. Los efectos de este cambio pueden observarse en los histogramas de frecuencia de talla en la Figura 61. Los valores en las escalas horizontales de la Figura 63 son múltiplos del esfuerzo de pesca durante los años mencionados, es decir, 0.2, 1.0, y 2.0 representan valores de aproximadamente la quinta parte de, igual a, y el doble del promedio de los valores del esfuerzo durante los períodos de tiempo correspondientes. Si se aplicara una cantidad infinita de esfuerzo, el peso óptimo de ingreso sería 34 kg (75 libras) (el peso crítico), y el rendimiento por recluta 4.6 kg (10.1 libras). Las tallas de ingreso que producirían los rendimientos máximos por recluta para diversos múltiplos del esfuerzo de pesca, señaladas en la Figura 63 como líneas de trazos, se denominan curvas pesqueras eumétricas. Para el período 1978–1982, se puede ver en el primer recuadro de la Figura 63 que si el esfuerzo aumentara a un nivel 1.5 veces superior al de 1978-1982 y la talla de ingreso a unos 15.9 kg (35 libras), el rendimiento por recluta alcanzaría unos 3.9 kg (8.7 libras). Para el período 1985–1989 (Figura 63, recuadro inferior), el rendimiento por recluta aumentaría a aproximadamente 4.1 kg (9.0 libras).

La descripción anterior supone, por implicación, que la alteración de la edad de ingreso no modifica la distribución por zona del esfuerzo de pesca, suposición que se vería justificada si la pesquería operara como se señala a continuación. Al principio, cuando la edad de ingreso es baja, al realizar su búsqueda los barcos encontrarían algunos cardúmenes de peces pequeños y otros de peces grandes, y lanzarían la red sobre ambos tipos. Posteriormente, cuando la edad de ingreso es mayor, los barcos buscarían de igual manera, pero sólo lanzarían sobre cardúmenes con peces grandes. Por consiguiente, el esfuerzo dirigido hacia peces grandes en el segundo período sería igual que en el primero. Sin embargo, se piensa que si la edad de ingreso del aleta amarilla aumentara por algún motivo, los pescadores tenderían a disminuír la búsqueda en estratos de tiempo y zona con preponderancia de peces pequeños e intensificarían la búsqueda en aquellos en que predominan los

peces grandes, aumentando probablemente el esfuerzo de pesca aplicado a peces grandes. En términos generales, ésto tendería a incrementar el rendimiento por recluta en mayor medida que lo indicado en la Figura 63, y parece que ésto es lo que ha ocurrido en los últimos años.

El rendimiento total es el producto de las estimaciones del rendimiento por recluta y el reclutamiento. Por ejemplo, el rendimiento por recluta (con una mortalidad por pesca equivalente a un multiplicador de 1), determinado a partir del extremo inferior de la Figura 63, es de 2.3 kg (5.0 libras) para 1978–1982 y 3.0 kg (6.7 libras) para 1985–1989. A partir de los análisis de la biomasa (páginas 00 a 00), se estableció que le rendimiento por recluta medio anual fue 2.8 kg (6.1 libras) en el período de 1967–1989 (Figura 62, tercer recuadro). Los rendimientos obtenibles con estos rendimientos por recluta y un reclutamiento inicial de 77 millones de peces, el promedio de 1977–1988, son como sigue:

Período	Rendimiento por recluta (kg)	Reclutamiento (millones de peces)	Rendimiento (miles de toneladas cortas)
1978–1982	5.0	77	192
1985-1989	6.7	77	258
1967–1989	6.1	77	235

El rendimiento con la mortalidad por pesca específica por edad de 1985–1989 es un 34% mayor que con aquella de 1978–1982. En Informes Anuales anteriores se señaló que el cambio de orientación del esfuerzo de pesca de peces pequeños a peces grandes provocaría un aumento del rendimiento por recluta y de las capturas. Ese cambio de orientación ocurrió, y resultó en un aumento en las capturas en 1985, 1986, y 1987. Sin embargo, en 1988 se capturaron más peces de menor tamaño, y en 1989 volvió a capturar peces más grandes (Figura 16). Tal como se puede ver en el tercer recuadro de la Figura 62, el rendimiento por recluta disminuyó en 1988 y entonces aumentó en 1989. El rendimiento por recluta dentro de un año (Figura 62, tercer recuadro) está altamente correlacionado con el peso medio capturado (Figura 64) dentro de ese año (Figura 65).

# Modelos de producción

Los modelos de producción, a diferencia de los modelos con estructura de edades, se basan en datos sobre la totalidad de la población en lugar de limitarse a especímenes individuales. Una población de peces que no ha sido expuesta a la pesca está al tamaño máximo permitido por las condiciones ambientales; su mayor desarrollo se ve impedido por los depredadores, por falta de alimento o de espacio vital adecuado, etc. Se dice que la población está en equilibrio cuando el incremento por reclutamiento y crecimiento es compensado a la larga por las pérdidas causadas por la mortalidad natural. Es posible que la población supere al promedio normal en años de condiciones ambientales particularmente favorables, y que sea inferior a tal promedio en otros, pero generalmente se puede hacer caso omiso de estas condiciones al analizar las tendencias a largo plazo.

Si una o más embarcaciones pesqueras comenzaran a explotar la población, la captura por unidad de esfuerzo (por ejemplo, la captura por día de búsqueda), que se supone ser proporcional a la magnitud de la población, sería bastante elevada al principio, ya que la población estaría en su punto máximo. El incremento de la población seguiría siendo debido al reclutamiento y el crecimiento, pero las pérdidas se deberían no sólo a la mortalidad natural sino también a la mortalidad por pesca, y por consiguiente disminuiría la población. En reacción a esta disminución, las tasas de reclutamiento, crecimiento, y/o mortalidad natural cambiarían, y la ganancia lograda por los dos primeros factores excedería la pérdida provocada por el último. Si se dejara de pescar, la ganancia neta haría que la población recuperara paulatinamente su magnitud original. A medida que la población se aproximase a esa magnitud, las tasas de reclutamiento, crecimiento, y/o mortalidad natural volverían

gradualmente a los niveles anteriores, hasta acabar siendo iguales a los existentes antes de comenzar la pesca. En esta forma, la población recuperaría el equilibrio en su magnitud máxima. Sin embargo, si se continuara a pescar al mismo nivel, la población llegaría eventualmente a equilibrarse, pero con diferentes tasas de reclutamiento, crecimiento, y/o mortalidad natural, y sería de magnitud inferior a la original. La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) seguiría siendo proporcional a la magnitud de la población. Si hubieran pocos barcos explotando el recurso, la magnitud de la población se reduciría levemente y la CPUE sería relativamente elevada, pero si hubieran muchos, la población se reduciría considerablemente y la CPUE sería mucho menor.

La captura total sería el producto de la CPUE y del esfuerzo total. Si el esfuerzo de pesca fuera relativamente bajo, el incremento moderado del esfuerzo compensaría de sobra la reducción correspondiente de la CPUE y produciría capturas mayores, pero esto no sucedería si el nivel de esfuerzo fuera más elevado. En un nivel intermedio de esfuerzo el producto se encontraría en su punto máximo. Si el objetivo de la administración es obtener un rendimiento promedio máximo sostenible (RPMS) de peces (meta estipulada en el convenio de la CIAT), el esfuerzo de pesca debería mantenerse a ese nivel. Si el objetivo es obtener una ganancia máxima (suponiendo un precio constante), el esfuerzo debería ser algo menor, y si es lograr el mayor empleo posible de pescadores, debería ser algo mayor. Si el esfuerzo es inferior al grado óptimo seleccionado, se dice que la población está subexplotada, mientras que si el esfuerzo es mayor que el nivel óptimo, se afirma que la población está siendo sobreexplotada.

Es más fácil analizar la interrelación entre el esfuerzo, la captura, y la CPUE en condiciones de equilibrio, pero es necesario reconocer que tales condiciones no se presentan en forma continua. Por ejemplo, si la población se encuentra en equilibrio cerca de su punto máximo y el esfuerzo se incrementa en forma repentina, la CPUE disminuirá paulatinamente durante un tiempo hasta lograr un nuevo punto de equilibrio con una CPUE menor. Durante el período de transición las capturas serán mayores que en el nuevo punto de equilibrio. De manera similar, si la población se encuentra en su punto de equilibrio a un nivel bajo y el esfuerzo disminuye repentinamente, la CPUE aumentará gradualmente durante un tiempo antes de lograr un nuevo punto de equilibrio con una CPUE mayor. Durante el período de transición las capturas serán menores que las correspondientes al nuevo punto de equilibrio.

Es oportuno enfocar ahora la aplicabilidad y utilidad de los modelos de producción en el atún aleta amarilla del Océano Pacífico oriental. El análisis anterior examinaba "una población de peces". Los modelos de producción no son aplicables a menos de que haya poco intercambio entre los peces de la zona bajo estudio y las zonas adyacentes. Se ha estudiado el grado de intercambio de aleta amarilla entre el ARCAA y la zona al exterior del ARCAA (Figura 66), y se analizaron los resultados en los Informes Anuales de la CIAT anteriores. Hasta este año se realizó el modelado de producción solamente para el ARCAA, pero (tal como se explica al principio de esta sección) se ha decidido ahora además realizar los análisis con base en la suposición de que las capturas realizadas al este de 150°W provienen de un solo stock.

Suponiendo que los modelos de producción son aplicables, este hecho puede advertirse sólo si: (1) existen datos de captura, esfuerzo, y CPUE de un amplio rango de niveles de esfuerzo de pesca, que de preferencia incluyan períodos de subexplotación y sobreexplotación, y (2) las perturbaciones causadas por la fluctuación de las condiciones ambientales no alcanzan a ocultar los cambios en la abundancia aparente provocados por las variaciones en el esfuerzo de pesca. Se observará más adelante que sí existen datos sobre un amplio rango de niveles de esfuerzo de pesca. Los efectos de las condiciones ambientales también se analizaron en losDocumentos Fundamentales de reuniones anteriores de la CIAT. Hasta donde se ha podido establecer, estos efectos suelen compensarse en períodos relativamente cortos, y se decidió no tomarlos en cuenta pues no afectaban la eficacia del modelo.

Se ha hecho referencia al esfuerzo de pesca sin especificar que existen distintos tipos de esfuerzo: es decir, los que ejercen las embarcaciones cerqueras, palangreras, y de carnada, más las variaciones correspondientes a distintas capacidades de acarreo. En la mayoría de los casos, no es posible obtener el valor del esfuerzo total por medio de la simple combinación de los diferentes tipos de datos sobre el esfuerzo. Hay dos métodos para calcularlo. En el primero se consideran exclusivamente los datos correspondientes a un solo tipo de arte de pesca, generalmente la predominante, denominada clase estándar. La captura total de todos los tipos de arte, dividida por la CPUE de la clase estándar, proporciona una estimación del esfuerzo total en unidades de la clase estándar. En el segundo se estima la eficacia de cada clase de arte con relación a la de la clase estándar, y entonces se calcula el esfuerzo estandardizado de cada clase por medio del ajuste de los datos del esfuerzo no reducidos por los factores apropiados. El esfuerzo total estandardizado se deriva de la suma de los datos no reducidos del esfuerzo del arte estándar y los datos estandardizados del esfuerzo de las demás artes. Los investigadores de la CIAT han utilizado el primer método y varias combinaciones de ambos métodos. Se ha medido el esfuerzo no estandardizado y estandardizado en días de pesca y en días estandardizados de pesca, respectivamente, y las CPUE correspondientes han sidoseñaladas como captura por día de pesca (CPDP) y captura por día estandardizado de pesca (CPDEP). En esta sección sólo se utiliza el esfuerzo estimado a partir de la división de la captura total de aleta amarilla por la CPDP de aleta amarilla de los cerqueros no reglamentados de la clase 6 de arqueo (de más de 400 toneladas de capacidad), salvo en el caso del modelo de tiempo de búsqueda (Figura 67, segundo recuadro), que se analizará en el próximo párrafo.

En el recuadro superior de la Figura 67 se señalan los valores de la CPDP para el período 1967–1989. En el segundo recuadro de la figura se presenta un índice de la abundancia basado en el modelo de "tiempo de búsqueda" (Boletín de la CIAT, Vol. 19, № 3) que es similar al modelo de la CPDP. En el recuadro inferior se presentan los índices de la biomasa de la abundancia del aleta amarilla, derivados del análisis de cohortes descrito anteriormente. Las tendencias de los tres índices son similares, si bien el índice de cohortes indica una abundancia relativa a 1970 mayor que los demás. Dos de los índices indican una reducción en el población a partir de 1986, y una ligera recuperación en 1989; el otro señala un aumento a partir de 1985 y una reducción en 1989.

Las CPDP elevadas señaladas en el recuadro superior de la Figura 67 indican que en 1986 el aleta amarilla alcanzó su mayor abundancia desde 1967, y que desde entonces ha permanecido estable a un nivel ligeramente inferior a aquel de 1986. En vista de las escasas capturas en 1982 y 1983, que permitieron el aumento de la población, este incremento de la abundancia era de esperar, como también lo era la disminución actual, que se debe a las grandes capturas durante 1985–1989. Sin embargo, las CPDP en 1984–1989 han sido más altas que lo previsto, lo cual probablemente se debe a (1) un reclutamiento superior al promedio normal, (2) una reducción del esfuerzo en las zonas de mayor abundancia de barrilete, a raíz de la disminución del precio del barrilete y el atún aleta amarillo pequeño, y (3) el mayor tamaño promedio del aleta amarilla capturado, que produjo un rendimiento por recluta más elevado. En cuanto al punto (2), cabe mencionar que el modelo de tiempo de búsqueda (Figura 67, segundo recuadro) incluye un ajuste para el efecto producido por la pesca en las zonas de mayor abundancia de barrilete.

El modelo simétrico de producción que se describe a continuación se aplicó por primera vez empleando los datos de captura, esfuerzo, y CPUE de los barcos de carnada del período 1934–1955, lo que suministró una amplia serie de datos del esfuerzo del sector de la curva que corresponde a la subexplotación. Estos datos indicaban que, dentro del rango de esfuerzo pesquero del que se tenían datos, la población se adaptaba al modelo. En 1960 y 1961 el esfuerzo fue mayor al nivel óptimo por primera vez, y la población reaccionó en años subsiguientes, provocando capturas y CPUE inferiores, lo que sirvió para una mayor confirmación de la aplicabilidad del modelo.

Antes de mediados de los años sesenta sólo se pescaba en la parte del ARCAA cercana a la costa, y alrededor de algunas islas y bancos de altamar. A mediados y fines de la década de los

sesenta, comenzó a incrementarse la flota pesquera, y el esfuerzo de pesca se extendió hacia una zona mucho más lejana de la costa. En la Figura 66 se presentan las zonas costeras y de altamar, denominadas respectivamente A1 y A2. Si el intercambio de peces entre estas dos zonas es instantáneo, el RPMS de las dos zonas combinadas sería igual al de la zona A1 solamente, pero si no hay intercambio, el RPMS de las dos zonas combinadas sería la suma de los RPMS individuales de ambas zonas. Los estudios han indicado que el intercambio de peces entre las dos zonas es relativamente lento; por lo tanto, el RPMS de toda el ARCAA es superior al de la zona A1, pero inferior a la suma de los RPMS individuales. Estos estudios han sido descritos detalladamente en Informes Anuales de la CIAT anteriores.

Tal como se mencionó anteriormente, es necesario contar con datos que abarquen un amplio rango de esfuerzo para estimar el RPMS y los valores correspondientes del esfuerzo y la CPUE. En 1968, una vez que se hizo evidente que la estimación del RPMS calculada en la zona A1 no era aplicable a toda el ARCAA, los Comisionados autorizaron a los investigadores para emprender un programa experimental de sobrepesca con el objeto de obtener, lo antes posible, una estimación del RPMS en el ARCAA. Esto fue necesario puesto que el esfuerzo había sido relativamente constante durante los escasos años transcurridos desde la extensión de la pesca hacia alta mar. Al sobrepasar los niveles óptimos del esfuerzo, la captura se reduciría, o al menos no aumentaría. Se podría entonces reducir el esfuerzo para aumentar eventualmente la captura (suponiendo que ésta se había reducido anteriormente) y así sucesivamente, hasta obtener una estimación suficientemente precisa del RPMS. Sin embargo, esto requiere de bastante tiempo, ya que la población no reacciona instantáneamente a los cambios en el esfuerzo de pesca, y también porque las perturbaciones causadas por los factores ambientales dificultan aún más la interpretación de los resultados. El programa experimental de sobrepesca permaneció vigente hasta 1979.

Se utilizan las técnicas de regresión para obtener estimaciones de los parámetros de los modelos de producción, usando datos sobre esfuerzo y captura en varios años. Uno de estos parámetros es una estimación de la biomasa de la población al principio del primer año. Se estima la biomasa de la población al principio del segundo año a partir del modelo, la captura en el segundo año, y las demás estimaciones de los parámetros, y así sucesivamente en los demás años. Se usa el mismo método para estimar la biomasa promedio anual de la población.

Es importante tener en cuenta al aplicar un modelo de producción que el crecimiento de una población, tanto positivo como negativo, se ve determinado por tres factores: crecimiento natural, pérdidas naturales, y captura. La captura es un parámetro fijo en un año dado, y por lo tanto el tamaño de la población al principio del año es lo que determina si la población aumenta o disminuye. Si por alguna razón los factores naturales provocan una reducción mayor a la que predice el modelo, entonces el valor predicho para el año siguiente superará al valor real, y esta sobreestimación seguirá hasta que algo cause que la población crezca con una rapidez mayor a la que predice el modelo. Sucedería lo contrario si al principio creciera la población a un paso mayor al predicho. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre la subestimación y la sobreestimación. Si el crecimiento de la población es inferior a la predicción, las capturas serán menores, y el modelo predirá cambios menores que los reales. Las capturas seguirán siendo inferiores a lo esperado, pero no se predirá un resultado catastrófico. En cambio, si la población supera el tamaño predicho, las capturas también serán superiores a lo esperado, y el modelo predirá reducciones en la población mayores que las reales. Si se realizan capturas grandes en varios años seguidos, entonces es posible que el modelo prediga la desaparición de la población, aún cuando ésta sea de un tamaño que prevenga este riesgo. Esta situación resulta del procedimiento secuencial utilizado por el personal de la CIAT, y parece que surgió en el período 1984–1989.

En años anteriores a 1987 se llevó a cabo la estimación sin ajustes para compensar por el carácter secuencial del procedimiento de estimación, pero pareció entonces necesario incluir algun tipo de ajuste. Se logró el ajuste usado para calcular las estimaciones para 1987 interrumpiendo la

serie de estimaciones de la población en 1985 y estimando de nuevo la biomasa, dividiendo la CPUE observada en 1985 por la estimación del coeficiente de capturabilidad. Esto parece ser un ajuste razonable, ya que los tres estimadores presentados en la Figura 67 fueron elevados en 1985. Este nuevo procedimiento casi no afectó las estimaciones de los parámetros, pero sí afectó mucho la estimación del tamaño de la población de 1987.

En los Informes Anuales de la CIAT de 1986, 1987, y 1988 se presentaron dos análisis para el ARCAA basados en los modelos de producción. Uno de ellos empleó el modelo logístico (o simétrico), en el que se supone que la relación de equilibrio entre la captura y la CPUE es lineal. El otro emplea el modelo generalizado de producción del stock, en el que la misma relación no necesita ser lineal. En ambos análisis sólo se usan datos del esfuerzo, estimados mediante la división de la captura total por la CPDP de los barcos de la clase 6 de arqueo. En ambos ajustes se fijó el coeficiente de capturabilidad q igual a 0.000039, estimación obtenida anteriormente con datos de años precedentes, lo que implica que la capturabilidad de los peces de diversas edades no ha cambiado con el tiempo. Los datos de estas dos curvas son:

Ajuste	m	q	Rendimiento máximo sostenible en miles de toneladas cortas	Suma de cuadrados (x 10 <sup>-9</sup> )
(1)	2.0	0.000039	174	2.224
(2)	0.8	0.000039	178	3.330

*m* es un parámetro que controla la forma de la curva; 2 la hace simétrica, los valores inferiores a 2 hacen que la curva sea asimétrica hacia la derecha, y los valores superiores a 2 la hacen asimétrica hacia la izquierda. La suma de los cuadrados es una medida de la precisión del ajuste de los puntos a la curva; como más bajo el valor, mejor el ajuste, y viceversa.

A partir de los análisis del modelo de producción basados en datos del período 1968–1985, en el Informe Anual de la CIAT de 1985 se afirmó que, para regresar el stock a su magnitud óptima, la captura de 1986 no debía superar a las 224 mil toneladas. Sin embargo, puesto que algunas estimaciones señalaban una cantidad inferior, se fijó la cuota máxima para 1986 en 205 mil toneladas. La captura de 1986 alcanzó 253 mil toneladas, pero los índices de abundancia no disminuyeron durante ese año. Anteriormente se demostró que la causa más probable de este aumento inesperado de la producción es el incremento del reclutamiento. Las fluctuaciones en el reclutamiento y los cambios en la mortalidad por pesca específica para cada edad siempre han creado dificultades en la aplicación de los resultados del análisis del modelo de producción. Como se mencionó anteriormente, el reclutamiento en el período 1984-1987 fue elevado, y el de 1988 y 1989 probablemente también, y estos altos niveles de reclutamiento, junto con los cambios en la mortalidad por pesca específica para cada edad, hacen que sean poco confiables a corto plazo las predicciones hechas a partir de los análisis de los modelos de producción. Por ejemplo, agregando los datos de 1986 y 1987 a la base de datos del período 1961-1985 y calculando nuevamente los parámetros del modelo de producción cambió muy poco las estimaciones del RPMS y el esfuerzo óptimo, y a la larga ambos modelos, el simétrico y el asimétrico, con el ajuste arriba descrito, describieron adecuadamente la producción potencial media del stock. Sin embargo, al agregar los datos de 1988 se vió bien clara la necesidad de una explicación diferente. La captura de 1988 fue tan grande que el modelo predijo un colapso de la población y capturas por unidad de esfuerzo extremadamente bajas a principios de 1989. Obviamente, ésto no sucedió. Repitiendo estos análisis para todas las capturas al este de 150°W e incluyendo 1989 produjo resultados similares, excepto que los rendimientos son correspondientemente mayores.

Durante los tres períodos descritos anteriormente el reclutamiento inicial estimado, tamaño medio, rendimiento por recluta, rendimiento potencial, y capturas anuales fueron los siguientes:

	Reclutamiento inicial			Rendimiento por recluta	Rendimiento potencial	Captura observada
Período	(millones de peces)	lb	(kg)	<b>(1b)</b>	(1000 tons.)	(1000 tons.)
1967-1977	64	24.4	(11.1)	6.9	221	184
1978-1982	73	14.7	(6.7)	5.4	197	212
1983–1989	92	23.6	(10.7)	6.6	304	285

Ya que los rendimientos potenciales de los primeros dos períodos fueron parecidos (si bien por distintas razones), se realizó el ajuste de los modelos de producción a los datos de esfuerzo y captura de 1968–1984 sin complicaciones. No obstante, ya que la producción potencial aumentó mucho durante el tercer período, se hace imposible explicar la relación entre captura y esfuerzo a partir de la suposición de que los parámetros de la población permanecen constantes. Por consiguiente se ajustaron los datos con dos conjuntos de parámetros diferentes, uno para los datos de 1968–1983, y el otro para los datos de 1984–1989 (Figuras 68 y 69). Los resultados son los siguientes:

Años	m	q	Rendimiento máximo sostenible en miles de toneladas cortas	Suma de cuadrados (x 10 <sup>-9</sup> )
1968–1983 1968–1983	2.0 0.8	$\begin{array}{c} 0.000039 \\ 0.000025 \end{array}$	174 165	0.1174 0.3937
1984–1988 1984–1988	$\frac{2.0}{0.8}$	$0.000039 \\ 0.000039$	293 288	0.0118 $0.0125$

Los rendimientos predichos para el período 1984–1989 parecen demasiado elevados, a partir del modelo de rendimiento por recluta, pero se dispone de solamente seis años de datos, y únicamente los cinco últimos contribuyen al ajuste. El modelo simétrico (m=2.0) parece dar el mejor ajuste (Figura 68), aunque el modelo de rendimiento por recluta indica que el modelo asimétrico (m=0.8) debería dar ajustes mejores.

En los recuadros inferiores de las Figuras 68 y 69 se comparan las CPDP observadas con las CPDP esperadas calculadas del modelo mismo, usando valores de m de 2.0 y 0.8 y datos de dos períodos distintos. Se puede ver que generalmente corresponden bastante bien a lo largo de los años presentados. Sin embargo, en años específicos ocurren divergencias amplias, especialmente para m=0.8. Esto se debe a que los modelos de producción sean esencialmente modelos de regresión que suponen condiciones normales, y no pueden reflejar los efectos de cambios grandes a corto plazo en el reclutamiento o la mortalidad específica para cada edad.

#### Condición del stock en 1989 y perspectivas para 1990

Los análisis de cohortes producen estimaciones del número y peso de los peces de cada grupo de edad en la pesquería al principio de 1990. No obstante, las estimaciones del reclutamiento de 1989 son preliminares y sujetos a cambios, tal como se mencionó anteriormente. Esto se debe a que los reclutas han estado expuestos a la pesca menos de un año, y si su vulnerabilidad a la captura fue superior o inferior al promedio, entonces el reclutamiento habría sido super- o subestimado. Este análisis proporciona una estimación de la captura en 1990, si llegan a cumplirse ciertas suposiciones acerca del número de peces reclutados, el esfuerzo de pesca, y la mortalidad por pesca específica para cada edad durante 1990. Se ha partido de la suposición que el reclutamiento durante 1989 y 1990 fue superior a lo normal, y que el esfuerzo de pesca y la mortalidad por pesca específica para cada edad en 1990 será inguales que en 1989. Los resultados indican que la captura de 1990 será inferior a la de

1989 en un 6%, aproximadamente. Sin embargo, si la pesquería se dedica nuevamente a la captura de peces de menor tamaño, tal como ocurrió en el período 1978–1982, y como comenzó a ocurrir en 1988, la captura de 1990, con el esfuerzo al nivel de 1989, disminuirá aún más. Claro que si el reclutamiento de 1989 y 1990 resultara normal o inferior al promedio, la captura de 1990 sería menor que lo predicho.

Los análisis del rendimiento por recluta han demostrado que dicho rendimiento puede ser un 34% mayor cuando los barcos dirigen su esfuerzo hacia peces grandes, tal como hicieron en 1985—1989, que cuando lo concentran en peces pequeños, tal como ocurrió en 1978—1982. La Figura 70 señala los rendimientos por recluta correspondientes a dos pautas diferentes de la mortalidad por pesca específica para cada edad. La línea de trazos se calculó a partir de la mortalidad por pesca específica para cada edad observada durante 1985—1989, y la línea continua a partir de la de 1978—1982.

En la Figura 71 se presentan los efectos de dos niveles distintos de reclutamiento, los de 1985—1989 ("elevado") y 1967—1989 ("promedio"), combinados con la mortalidad por pesca específica para cada edad de 1985—1989. El rendimiento con un reclutamiento elevado es un 26 o 27% mayor que con reclutamiento promedio.

En la Figura 72 se presentan los efectos combinados de reclutamiento elevado y mortalidad por pesca específica para cada edad similar a aquella de 1985–1989 *versus* reclutamiento normal y mortalidad por pesca específica para cada edad similar a aquella de 1978–1982. En este caso el rendimiento de la primera combinación supera a aquel de la segunda por un 60 a 90%, con multiplicadores del esfuerzo de pesca superiores al 0.50.

Los modelos de producción para los cuales se estimaron los parámetros con los datos de 1968–1983 predicen que el stock de aleta amarilla se reduciría a cero a principios de 1990, a raíz de las capturas grandes logradas durante 1985–1989. Estos mismos modelos permiten una captura casi nula en 1990. Obviamente estas estimaciones no representan las condiciones verdaderas en la pesquería. Los análisis con estructura de edades demuestran que han ocurrido cambios mayores en la mortalidad por pesca específica para cada edad y el reclutamiento en los últimos seis años, y que éstos han causado que la producción del stock sea mucho mayor que lo predicho por los parámetros del modelo de 1968–1983. Si se supone que los datos durante los años más recientes representan las condiciones actuales en la pesquería, y que los parámetros del modelo de producción son estimados de nuevo de la forma descrita anteriormente, entonces las capturas esperadas corresponden mucho mejor a las esperadas (recuadros inferiores de las Figuras 68 y 69). Los parámetros nuevamente estimados del modelo predicen que la captura de equilibrio de 1990 debería ser aproximadamente 330 mil toneladas. Ya que se predice que el tamaño del stock será algo mayor al óptimo, la captura de 1990 pudiera superar las 330 mil toneladas sin reducir el tamaño del stock a un nivel inferior al óptimo. Esto resultaría en CPDP de unas 14 toneladas.

Se estima que el reclutamiento ha fluctuado por un factor de 3, aproximadamente, y que no parece tener relación con la magnitud del stock dentro del rango de datos de pesca observados (Figura 73). Esta situación dificulta aún más la elaboración de pronósticos a corto plazo con modelos de producción. Para mejorar las predicciones obtenidas a partir de este modelo es necesario utilizar información sobre el reclutamiento. Lo más conveniente sería efectuar pronósticos con uno o dos años de anticipación. El Laboratorio de la CIAT en Achotines, República de Panamá, se creó, en parte, para obtener información que permita realizar pronósticos sobre el reclutamiento de aleta amarilla, pero no se obtendrá información útil en el futuro inmediato. Tal como se señaló en el Informe Anual de la CIAT de 1985, las fluctuaciones en el reclutamiento parecían tener relación con cambios importantes en el medio oceánico. Las estimaciones del reclutamiento derivadas de los análisis de las cohortes y presentadas en la Tabla 27 indican que existieron fuertes anomalías positivas en el reclutamiento de 1970, 1973, y 1977. Estos incrementos del reclutamiento fueron precedidos por un aumento general de la temperatura del océano (El Niño) en 1969, 1972, y 1976. A

partir de esta correlación se esperaba un incremento del reclutamiento después del Niño fuerte de 1982–1983, y, efectivamente, así fue. En 1986–1987 ocurrió otro Niño, de menor intensidad y extensión; por lo tanto las aguas del Pacífico oriental fueron más cálidas que de costumbre desde 1982 hasta 1986. El reclutamiento del período 1984–1989 ha sido el mayor jamás registrado en un período de 7 años. No se comprenden los mecanismos subyacentes de la relación entre El Niño y el incremento del reclutamiento, pero podrían tener relación con factores que afectan la supervivencia de peces jóvenes en la zona de la pesquería, o deberse a un cambio en la velocidad en que los huevos, las larvas, y los juveniles postlarvales son llevados al y del Pacífico oriental por las corrientes oceánicas principales. Un Niño afecta la velocidad e incluso la dirección de estas corrientes. Puesto que los efectos de un Niño sobre la pesquería no son observables hasta casi dos años después de ocurrido el fenómeno, si esta correlación persiste será un indicador útil de cambios positivos en el reclutamiento. Además, ocurren cambios en el rendimiento por recluta cuando cambia el tamaño de los peces en la captura, y se sabe que estos cambios ejercen una influencia importante sobre la producción total.

En resumen, la evaluación del efecto de la pesca sobre la abundancia y rendimiento del aleta amarilla en el Pacífico oriental presenta dificultades. El uso exclusivo de los modelos de producción arroja resultados tenues, y en consecuencia se han combinado los resultados de tres modelos diferentes (rendimiento por recluta, cohortes, y producción) para llegar a lo que se cree ser las conclusiones más acertadas. Sin embargo, la capacidad de pronóstico de estos análisis está sujeta a un margen de error considerable, y se prosigue por lo tanto la exploración de técnicas analíticas alternas para llegar a las mejores estimaciones posibles de productividad del stock de aleta amarilla.

La abundancia del aleta amarilla se ve determinada por tres factores: el reclutamiento, la mortalidad por pesca específica para cada edad, y la captura.

Con respecto al primer factor, parece actualmente que el reclutamiento es determinado exclusivamente por factores naturales, aunque es concebible que en el futuro se demuestre que pudiera ser reducido por una mortalidad por pesca muy elevada u otros factores, tal como una contaminación severa.

En cuanto al segundo factor, es posible modificar la composición de talla de la captura, al menos teóricamente. Se ha hecho hincapié en esta posibilidad en múltiples ocasiones, pero no se han formulado recomendaciones para la protección de los peces de menor tamaño. Sin embargo, y como se señaló anteriormente, las capturas de peces pequeños disminuyeron durante 1985–1987. Esta modificación de la composición de talla de la captura se debe, al menos parcialmente, a la reducción de la demanda de peces pequeños, pero es imposible prever la duración de esta situación. De hecho, la restricción de la captura de atunes asociados con delfines resultaría en un gran aumento en la captura de peces pequeños. Tal como se mencionó anteriormente, la captura de peces pequeños fue mayor en 1988 que en 1985–1987 o 1989. Hay varias maneras de reducir la captura de peces pequeños: 1) reducir el esfuerzo de pesca; 2) fijar un tamaño mínimo; 3) limitar la pesca en las zonas y las temporadas en que predominan los peces pequeños; 4) suponiendo que fuera posible restablecer el sistema anual de clausura, modificar la fecha de apertura de la temporada, para así reducir la cantidad de pesca durante el período en el cual los peces pequeños son más abundantes en la captura.

En cuanto a la primera opción, se ha señalado que la reducción de la pesca durante el período 1982—1984 produjo un incremento en el tamaño promedio de los peces de la población, lo que aumentó su productividad. Sin embargo, una disminución adicional del esfuerzo probablemente no produciría un aumento de la captura, a menos de que la composición de tallas del stock fuera modificado de forma importante por la pesca intensiva de peces pequeños.

En cuanto a la segunda opción, los análisis de los datos de composición de talla indican que, por lo general, las capturas suelen consistir de mezclas de peces pequeños y grandes, y de aletas amarillas pequeños y barriletes. Esto dificultaría la protección del aleta amarilla pequeño, ya que es

posible que sean capturados en grandes cantidades por barcos que intentan capturar barriletes y atunes aleta amarilla grandes. Si no se permitiera la descarga de los peces pequeños, se arrojarían al mar, ya muertos, y el rendimiento por recluta se reduciría en lugar de aumentar.

En cuanto a la tercera opción, la prohibición de la pesca de atunes en zonas de mayor abundancia del aleta amarilla pequeño serviría quizás para incrementar el rendimiento por recluta de esta especie, siempre que la flota pudiera pescar con buen éxito en zonas donde hay peces de mayor tamaño, pero la reducción de las capturas de barrilete probablemente sería mayor que el aumento de las capturas de aleta amarilla, ya que el barrilete es más abundante en esas zonas donde se encuentran los aletas amarillas pequeños en mayores cantidades.

En cuanto a la cuarta opción, no parece que la modificación de la fecha de apertura de la temporada produzca el beneficio deseado. Durante los primeros años del período en que rigieron las vedas anuales, cuando la mayor parte del esfuerzo de pesca se ejercía en el primer semestre del año, sólo se obtenían pequeñas capturas de los peces de la cohorte Y que ingresaban por primera vez a la pesquería con un peso de 0.7 a 2.0 kg (1.5 a 4.5 libras) en el segundo semestre del año. Se creyó que ésto se debía fundamentalmente a la falta de vulnerabilidad a la pesca de los peces de esta cohorte. Sin embargo, en años posteriores, la pesca fue intensa durante el segundo semestre del año, y la captura de peces de la cohorte Y entrante aumentó substancialmente. En consecuencia, es posible que la modificación de la temporada no proteja a los peces más jóvenes al grado esperado.

Actualmente, no se puede recomendar ninguna de las medidas anteriores, puesto que no es posible predecir el efecto de tal reglamentación sobre la captura real (no el descargue) de peces pequeños.

En cuanto al tercer factor, el personal de la CIAT ha recomendado solamente cuotas de captura (Tabla 30) para reglamentar la pesquería. Las cuotas han abarcado el ARCAA, o parte del mismo. Una vez alcanzada la cuota de aleta amarilla, o cuando parecía que sería alcanzada por barcos en el mar antes de la fecha de clausura, se permitía a aquellas embarcaciones que estaban sujetas a la cuota pescar otras especies, y descargar aletas amarillas capturados incidentalmente hasta un límite del 15% de su captura total de atunes. Por consiguiente, la captura de barrilete no fue reducida por las cuotas de aleta amarilla.

Los análisis precedentes demuestran que el stock de aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental se encuentra cerca del nivel óptimo. Si se dirige el esfuerzo principalmente hacia peces asociados con delfines, tal como se hizo en 1989, la captura proveniente de esa zona en 1990 debería ser similar a la de 1989, o unas 310 a 320 mil toneladas. La captura del ARCAA debería ser unas 260 a 280 mil toneladas. Si la pesca es dirigida exclusivamente hacia peces pequeños durante el segundo semestre de 1990, el tamaño medio de los peces en la captura disminuirá, provocando una reducción sustancial en el rendimiento por recluta. Dividiendo la captura estimada de 1990 en el Océano Pacífico oriental (315 mil toneladas) por el reclutamiento medio de 1983–1989 (92 millones de peces) produce un rendimiento por reclutamiento de 3.1 kg (6.8 libras). Dividiendo la captura estimada de 1990 en el ARCAA (270 mil toneladas) por 3.1 kg por recluta produce un reclutamiento estimado de 79 millones de peces en el ARCAA. El tamaño medio de los peces capturados sin pesca dirigida hacia peces asociados con delfines sería unos 4.5 kg o 10 libras (Figura 74). El rendimiento por reclutamiento para peces de este tamaño es unos 2.0 kg (4.4. libras) (Figura 65). Con 92 millones de reclutas en el Pacífico oriental y un rendimiento por reclutamiento de 2.0 kg, la captura sería unas 200 mil toneladas; con 79 millones de reclutas en el ARCAA y el mismo rendimiento por reclutamiento, la captura sería unas 174 mil toneladas. Ya que la flota ha pescado atunes asociados con delfines durante el primer semestre de 1990, la captura del año entero, sin esfuerzo dirigido hacia peces asociados con delfines entre julio y diciembre, sería unas 260 mil toneladas en el Pacífico oriental y 220 mil toneladas en el ARCAA. No obstante, si se elimina la pesca de atunes asociados con delfines, ocurrirá probablemente una reducción sustancial en la zona de pesca. Durante el período de 1976– 1982, en el cual se redujo la pesca de atunes asociados con delfines, el reclutamiento medio fue 73 millones de peces, el 80% de los 92 millones estimados para el período de 1983–1989. Una reducción de 20% en el reclutamiento del ARCAA significaría que la captura de 1990 se reduciría a unas 200 mil toneladas. Es probable que la realidad caiga entre estos dos extremos, es decir que la pesca de atunes asociados con delfines será reducida, pero no eliminada. Por consiguiente, a niveles de esfuerzo actuales, la captura en el Pacífico oriental en 1990 caerá entre 225 y 320 mil toneladas, y la del ARCAA entre 200 y 280 mil toneladas.

Si se usan los modelos de producción para estimar la condición del stock y predecir las capturas futuras, se puede deducir a partir de las Figuras 68 y 69 que la producción permanecerá alrededor de las 310 a 320 mil toneladas a niveles actuales de esfuerzo y si se continúa dirigiendo la mayoría del esfuerzo hacia peces asociados con delfines. Según la Figura 75, la producción del ARCAA sería unas 260 a 280 mil toneladas. Ahora, si la flota dirigiera su esfuerzo hacia peces no asociados con delfines, la producción del Pacífico oriental se reduciría a unas 200 a 220 mil toneladas, y la del ARCAA a unas 160 a 180 mil toneladas. Esta reducción pudiera tardar unos 2 años en manifestarse.

Se deben tomar en cuenta dos puntos importantes acerca de la recomendación de una cuota de captura para el aleta amarilla. En primer lugar, la cantidad dependerá mucho de la composición por talla de los peces en la captura, y en segundo, el área abarcada por la cuota sería la región más cercana a la costa, el ARCAA.

Tratando primero al segundo punto, en el área del Pacífico oriental entre el límite occidental del ARCAA y el meridiano de 150°W, el tamaño promedio de los peces en la captura es cercano al crítico (Figura 53), y por lo tanto óptimo en cuanto a la maximización del rendimiento por recluta. No es por lo tanto necesario limitar la captura en dicha área.

En cuanto al primer punto, se ignora en cuál grado se limitará la pesca de peces asociados con delfines. En vista de ésto, cualquier cuota que se imponga debería ser suficientemente baja como para acomodar la posibilidad que se reduzca o abandone la pesca de atunes asociados con delfines en el segundo semestre de 1990, y también permitir incrementos compatibles con la posibilidad de que dicho tipo de pesca continúe al igual que en 1989. (Durante la XLVII Reunión de la Comisión, celebrada en 1990, se presentaron recomendaciones específicas para la reglamentación de la pesca.)

### BARRILETE

Las capturas mundiales del barrilete han superado las de las otras especies de atunes desde hace muchos años. Sin embargo, un aumento en las capturas de aleta amarilla y patudo y una disminución en las de barrilete en 1985, 1986, 1987, y 1988 ha resultado en la reducción de la proporción de barrilete en las capturas de las especies de mayor importancia comercial (barrilete, aleta amarilla, patudo, albacora, y aleta azul del norte y del sur) de un 50% en 1984 a un 42%, 45%, 44%, y 49% en 1985, 1986, 1987, y 1988, respectivamente. En el Océano Pacífico el barrilete formó un 50%, 51%, 47% y 54% de la captura en 1985, 1986, 1987, y 1988, respectivamente, comparado con un 57% en 1984. En la Figura 76 se presentan las capturas mundiales de barrilete, por área. Es evidente que las capturas en el Océano Pacífico son muy superiores a las del Océano Atlántico o Indico, y que las capturas en el parte central y occidental del Pacífico son mucho más elevadas que las del Pacífico oriental. Las capturas en el Pacífico oriental permanecieron aproximadamente al mismo nivel desde 1965 hasta 1989, con excepción del incremento en el período 1975–1981 (Figura 77), mientras que las capturas de otras zonas se han duplicado con creces.

En el Océano Pacífico nordeste la pesca de barrilete en gran escala se realiza cerca de Baja California, las Islas Revillagigedo, y la Isla Clipperton, mientras que en el sudeste del Océano Pacífico se efectúa cerca de América Central, la parte septentrional de Sudamérica, la Isla de Cocos-Banco de Brito y las Islas Galápagos. La zona de aguas cálidas a la altura de México meridional que separa estas dos regiones generalmente carece de barrilete, pero en algunos años, como sucedió en

1956, la distribución de barrilete ha sido continua de norte a sur. La pesca de barrilete en el Océano Pacífico oriental se efectúa más cerca del litoral que la del aleta amarilla, pero en los últimos años ha aumentado la proporción de barrilete capturado mar afuera. En el Océano Pacífico central se explota el barrilete en menor escala cerca de las islas de Hawaii y la Polinesia Francesa (las Islas Marquesas, Tuamotu, y Sociedad). Hacia el oeste, cerca de Fiji, las Filipinas, Indonesia, Japón, Papua Nueva Guinea, Nueva Zelandia, las Islas Salomón, etc., se explota el barrilete en forma más significativa.

La captura de barrilete en el Océano Pacífico oriental varía considerablemente de un año a otro (Figura 77). A fines de la década de los cincuenta se obtuvieron grandes capturas de barrilete al sur de los 5°S, y desde esa época hasta principios de los años setenta se obtuvieron grandes capturas de esta especie cerca de la costa, a la altura de Ecuador y el norte de Perú. Sin embargo, a principios de la década de los setenta, el centro de abundancia del grupo sudeste se trasladó aparentemente a las aguas frente a Colombia y América Central, regresando nuevamente hacia Colombia y Ecuador a principios de la década de los ochenta. En 1989 se lograron capturas sustanciales frente a Centroamérica y el norte de América del Sur (Figura 5).

En la Figura 19 se presenta la composición de talla de las muestras de barrrrilete obtenidas en el Pacífico oriental entre 1984 y 1989. Son evidentes las diferencias entre los años; los peces más pequeños ocurrieron en 1984 y 1988 y los más grandes en 1985.

## Estructura de la población

Es de importancia fundamental establecer si el barrilete que aparece en el Océano Pacífico forma parte de una sola subpoblación o de varias subpoblaciones, y en este último caso, determinar en qué zonas aparecen las diferentes subpoblaciones e investigar las variaciones de la distribución según el tiempo y la edad. Se han usado varios métodos para estudiar este problema, incluídos el análisis de las estadísticas de captura, el ciclo vital, el marcado, y los datos genéticos bioquímicos. Diversas organizaciones, entre ellas la CIAT, la South Pacific Commission (SPC), el National Marine Fisheries Service (NMFS) de los EE.UU. y varias entidades japonesas han estudiado estos temas. Los resultados y recomendaciones de estos estudios se analizaron en una reunión de trabajo patrocinada por la SPC en 1980, a la que asistieron biólogos pesqueros y especialistas en genética de población; las conclusiones de esa reunión fueron analizadas a fondo en el Informe Anual de la ClAT de 1984. En resumen, existen dos hipótesis principales sobre el barrilete del Océano Pacífico: (1) la hipótesis de la subpoblación separada, que afirma que en el Océano Pacífico existen al menos dos subpoblaciones de barrilete genéticamente distintas; (2) la hipótesis de gradación (o clinal), que sostiene que no existen subpoblaciones separadas de barrilete en el Océano Pacífico sino que hay aislamiento por distancia: es decir, la probabilidad de hibridización de dos peces dados es una función inversa de ladistancia entre uno y otro. En la reunión de trabajo se concluyó que la información disponible no permite decidir a favor de una u otra de las dos hipótesis.

El Informe Anual de la CIAT de 1984 contiene además un análisis de la estructura de población del barrilete en el Pacífico oriental, y su relación con las poblaciones en el resto del Pacífico. El marcado ha demostrado que ocurre poca mezcla de peces entre la zona del norte de México y la del norte de Sudamérica-Centroamérica. Existe una correlación moderada entre las capturas de barrilete de la zona nordeste y sudeste, sin embargo, pero en ocasiones, como sucedió en 1970, la captura es superior al promedio en una zona e inferior al promedio en la otra (Figura 77). Un examen de los datos disponibles lleva a la conclusión que el barrilete del norte de México y el de Sudamérica-Centroamérica parece formar parte de un solo grupo que habita una zona en forma de arco cuyos extremos se encuentran en esas dos zonas; los peces que se encuentran en los extremos de la distribución se mezclan, en cierta medida, en las zonas de desove del Pacífico central y/o occidental.

En la sección del presente informe titulada **Análisis de los microconstituyentes de los otolitos** se describe un estudio actualmente en desarrollo que pudiera eventualmente llevar a un

conocimiento mucho mejor de la estructura de la población del barrilete en el Océano Pacífico y otros océanos.

# Abundancia, disponibilidad, y vulnerabilidad a la captura

En el Boletín de la CIAT, Vol. 19,  $N^2$  6, se publicó un examen de los efectos de las condiciones ambientales sobre la abundancia, disponibilidad, y vulnerabilidad a la captura del barrilete en el Océano Pacífico oriental. Uno de estos estudios analiza la relación entre la abundancia aparente de barrilete en su segundo año de vida en el Océano Pacífico oriental y (1) el promedio de la temperatura de la superficie del mar (TSM) en la zona del Océano Pacífico comprendida entre los 135° y los 180°W con TSM superiores a los 27.8°C (82°F); y (2) el índice de mezcla por viento (el cubo de la velocidad promedio del viento, que es aproximadamente proporcional al grado de mezcla causado por el viento en las capas superiores del océano) en esta zona.

El primer análisis se efectuó en vista de la alta correlación positiva entre la temperatura y la concentración de larvas de barrilete capturadas en los arrastres de redes de zooplancton, lo cual permite pensar que puede haber más desove o supervivencia de larvas en los años más cálidos. El segundo análisis se realizó porque es posible que la supervivencia de las larvas de barrilete dependa del grado de mezcla de las capas superiores del océano. Las investigaciones realizadas en el NMFS Southwest Fisheries Science Center de La Jolla indican que en la Corriente de California el alimento apto para las larvas de anchoa en sus primeras alimentaciones suele concentrarse en grupos y estratos bien definidos. El afloramiento y la mezcla deshacen los estratos y dispersan los organismos alimenticios, de modo que muchas de las larvas no pueden obtener alimento suficiente para sobrevivir. Aparentemente, existe una relación entre el desarrollo de generaciones fuertes de anchoas adultas y la debilidad de los vientos durante la etapa larval, y viceversa, y se creyó que pudiera ocurrir lo mismo en las zonas de desove del barrilete en el Pacífico central. Se descubrió una correlación significativa entre la abundancia del barrilete y la TSM, y una correlación altamente significativa entre el barrilete y el índice de la mezcla del viento, ya que este índice es responsable del 46% de la variabilidad en la abundancia aparente del barrilete en su segundo año de vida en el Pacífico oriental.

Se han realizado además investigaciones para determinar si existe una relación entre la abundancia aparente del barrilete en su segundo año de vida en el Pacífico oriental y la fuerza de la Contracorriente Ecuatorial del Norte que fluye hacia el este. Si el barrilete usa esta corriente en su migración se esperaría que los peces jóvenes serían transportados al Pacífico oriental en cantidades superiores a lo normal cuando la corriente es más fuerte y en cantidades inferiores a lo normal cuando es más débil. Sin embargo, no se encontró una correlación significativa entre la abundancia del barrilete y los índices de la velocidad de la corriente.

En general, los resultados obtenidos por los investigadores de la CIAT, en sus intentos por relacionar la abundancia aparente del barrilete con las condiciones ambientales, indican que esta relación es compleja y sutil. Parte del problema podría quizás resolverse si se pudieran realizar estudios biológicos y estadísticos de toda la unidad (o de todas las unidades si hay más de una) de la población que contribuye a la pesca en el Pacífico oriental, en lugar de analizar tan sólo la parte que habita el Océano Pacífico oriental durante parte de su ciclo vital. Se cuenta con datos útiles sobre la captura, el esfuerzo y la CPUE tan sólo para algunas partes de la unidad (o unidades) de la población del Pacífico. La separación de las capturas de peces de la unidad (o unidades) de la población que contribuye a la pesca en el Pacífico oriental de aquella que no interviene en este proceso, constituye un problema adicional.

# Modelos con estructura de edades

En la sección sobre el aleta amarilla se analiza el enfoque del rendimiento por recluta aplicado a modelos con estructura de edades. Sin embargo, las poblaciones de barrilete y aleta amarilla del Pacífico oriental son algo diferentes. El agotamiento natural del aleta amarilla se debe sólo a la mortalidad natural, mientras que el del barrilete se debe también a la emigración al Pacífico central y occidental. A partir de los datos de frecuencia de talla y del marcado, se calcula que la tasa anual combinada de mortalidad natural y emigración del barrilete es aproximadamente 75 a 90%, en comparación con el 55% de la mortalidad natural del aleta amarilla.

Se han empleado los datos de frecuencia de talla y de devolución de marcas para estimar la tasa de crecimiento del barrilete. Es mucho más difícil seguir la progresión de los grupos modales de esta especie que la del aleta amarilla, ya que la talla modal varía de un mes a otro de forma muy errática. Evidentemente, la causa principal de esto radica en el reclutamiento de peces del Pacífico central y la emigración en dirección opuesta, pero además parece que la vulnerabilidad de grupos de peces de varios tamaños varía considerablemente de un mes a otro en el Océano Pacífico oriental. Los datos del marcado son también útiles a este respecto, aunque su valor se ve limitado por el hecho de que la mayoría de los peces recapturados han estado poco tiempo en libertad. Dos estudios recién terminados (Boletín de la CIAT, Vol. 19, Nos. 4 y 6) proporcionan estimaciones de las tasas lineales de crecimiento y de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, y éstas se están mostrando útiles en los estudios de modelos con estructura de edades.

En la Figura 78 se presentan los rendimientos por recluta del barrilete para varias combinaciones de agotamiento natural (la mortalidad natural más la emigración), esfuerzo de pesca, y talla de ingreso. Para obtener los cálculos que forman la base de esta figura se integraron las estimaciones de los investigadores de la CIAT de la mortalidad por pesca específica para cada edad durante 1986—1987, el crecimiento, y el agotamiento natural. Las fuentes de los datos sobre crecimiento en peso son las siguientes:

Cómputo	Ecuación	Fuente
Crecimiento en talla	24cm/año	Boletín de la CIAT: Vol. 19, № 6
Relación peso- talla	$\log w = -8.250 + 3.336 \log l$	Boletín de la CIAT: Vol. 4, № 2

Se usaron tasas anuales instantáneas de agotamiento natural de 1.5 (un 78%) y 2.0 (un 86%). Los valores en la escala horizontal son los múltiplos del esfuerzo de pesca, es decir, 0.5, 1.0, y 2.0 representan los valores del esfuerzo la mitad de, igual a, y el doble de los valores reales del esfuerzo de 1986–1987. Diferentes combinaciones del esfuerzo de pesca y de la talla de ingreso rinden diferentes rendimientos por recluta, indicados por líneas en curvas. Por ejemplo, si se fija la talla de ingreso en 40 cm (unos 1.2 kg/2.7 libras) el rendimiento por recluta con un multiplicador de 1 es aproximadamente  $0.72\,\mathrm{kg}$  (1.58 libras) en el recuadro superior y  $0.39\,\mathrm{kg}$  (0.85 libras) en el inferior. En el recuadro superior se produciría el rendimiento por recluta máximo con una talla de ingreso de unos 40 cm con un multiplicador de 1, y de unos 48 cm con un multiplicador de 2 a 3. En el recuadro inferior son máximos los rendimientos por recluta a una talla de ingreso de 30 cm o menos. En general, se tendría que ejercer un esfuerzo de pesca mucho mayor al actual, o tener una edad de ingreso mucho menor que la actual, para sobrepescar la población en el sentido de rendimiento por recluta. Esto se debe a que la pérdida en el peso total de una cohorte de peces, por mortalidad natural y emigración, excede su incremento por crecimiento, aún cuando los peces miden menos de 50 cm y están supuestamente creciendo con rapidez.

# Modelos de producción

En la sección sobre el aleta amarilla se describen los modelos de producción, basados en los índices de abundancia de los peces, en relación al aleta amarilla. Se señaló que modelos de este tipo no tienen validez a menos que los peces pertenezcan a una población diferenciada, es decir una en la cual haya relativamente poco intercambio entre los peces que habitan la zona estudiada (en este caso el Océano Pacífico oriental) y aquellos de otras zonas en las que se explota la especie en cuestión, o en la cual se conozcan los índices de intercambio entre las subpoblaciones. No se satisface ninguno de estos requisitos, ya que el marcado ha demostrado que existe intercambio de peces del Océano Pacífico oriental, central, y occidental (Figura 79), pero se ignoran las tasas de intercambio. Se captura la mayor parte del barrilete capturado en el Pacífico oriental bastante cerca de la costa, y aparentemente la mayor parte de esta captura proviene de los desoves en el Pacífico central y/o occidental, desoves que también pueden surtir a las regiones de alta mar del Pacífico oriental. central, y occidental. En consecuencia, es posible que la captura en el Pacífico oriental esté determinada por la abundancia de los juveniles nacidos en el Pacífico central y/o occidental, o por la abundancia de los juveniles en esa zona o zonas que migran al Pacífico oriental. A falta de una definición de la población explotada, el modelado de producción tiene poco o hasta ningún valor para el barrilete pescado en el Pacífico oriental.

## Perspectivas en 1990

El modelo de rendimiento por recluta no señala que sea necesario controlar la pesca del barrilete. A un valor de agotamiento natural de 2.0, este modelo indica que se puede obtener el máximo rendimiento por recluta del barrilete adolescente del Océano Pacífico oriental mediante la pesca intensiva de ejemplares de más de 30 cm. Aunque podría pensarse que esto reduciría el reclutamiento en años subsiguientes, los conocimientos actuales sobre el desove y la estructura de la población indican que es poco probable que así suceda.

Se puede afirmar con bastante seguridad que el barrilete ha sido subexplotado en el Océano Pacífico oriental, y que esta situación no cambiará en el futuro inmediato. No obstante, es importante adquirir mayores conocimientos sobre esta especie y su relación con el ambiente, en particular por las dos razones siguientes. En primer lugar, es posible que estos conocimientos permitan pronosticar, con varios meses de anticipación, la abundancia de barrilete en el Pacífico oriental, lo cual sería muy valioso para los pescadores, quienes deben decidir por adelantado si han de pescar en el Pacífico oriental o en alguna otra zona oceánica. En segundo lugar, es posible que el conocimiento de las condiciones ambientales favorables para la existencia del barrilete, junto con la noción de los procesos dinámicos del océano, permita pronosticar los lugares y momentos en que existe mayor probabilidad de capturar barrilete, lo cual aumentaría la eficacia de la flota pesquera. Recientemente se analizó una gran variedad de datos sobre el barrilete y su relación con el ambiente, y en 1989 se publicó un importante informe sobre este tema (Boletín de la CIAT, Vol. 19.  $N^{\circ}$  6).

# ALETA AZUL DEL NORTE

El aleta azul ocurre tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico. Las capturas mundiales y del Pacífico son mucho menores que las del barrilete, aleta amarilla, patudo, y albacora; sin embargo, la pesquería posee valor económico considerable. En la Figura 80 se presentan las capturas anuales del atún aleta azul en el Océano Pacífico durante el período de 1951–1989. Las artes epipelágicas obtienen la mayoría de las capturas tanto en la parte oriental como occidental del Pacífico. Las capturas en el Pacífico occidental fueron bien superiores al promedio durante 1978–1983, relativamente pobres en 1984, y mejoraron en 1985 y 1986. Las capturas en el Pacífico oriental fueron pobres durante 1980–1984, mejoraron en 1985 y 1986, y volvieron a ser pobres en 1987, 1988, y 1989.

En el Pacífico oriental casi toda la captura es lograda por barcos cerqueros que pescan bastante cerca de la costa de Alta y Baja California. La temporada de pesca se extiende típicamente desde fines de mayo hasta mediados de octubre, aunque también se efectúan capturas esporádicas en otros meses. La captura en 1989 fue unas 1,300 toneladas, unas 200 toneladas menos que en 1988, y la quinta más baja desde 1951. En 1989 se capturaron aletas azules únicamente al norte de 30°N. Se capturó la especie entre julio y diciembre, pero se logró más del 70% de la captura en agosto.

El personal de la CIAT estudia el atún aleta azul en modesta escala desde 1973. Antes de 1979, se obtenían datos de bitácora y se medían muestras de peces capturados por embarcaciones cerqueras en el Pacífico oriental para determinar la composición de talla, pero a partir de ese año se intensificaron los estudios. En 1979, se preparó un análisis de los datos referentes a la evaluación de los stocks de esta especie (Informe Interno 12 de la CIAT). El Informe Anual de la CIAT de 1979 contiene un resumen de parte de este análisis. Asimismo, en 1982, los datos sobre la captura epipelágica del atún aleta azul por zona, fecha, clase de arqueo, tamaño del cardumen, tipo del mismo, etc., fueron recopilados, analizados, y publicados en el Boletín de la CIAT, Vol. 18, № 2. Un investigador del Far Seas Fisheries Research Laboratory (FSFRL) (ahora el National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF)) en Shimizu (Japón) trabajó en la oficina principal de la CIAT desde septiembre de 1988 hasta enero de 1989, colaborando con científicos de la Comisión en estudios del aleta azul. Ahora ha regresado al Japón, pero se prosiguen los estudios en La Jolla y en Shimizu.

En la Figura 20 se presentan histogramas del tonelaje estimado de aleta azul capturado en el Océano Pacífico oriental en 1982–1989, por intervalos de 2 cm. Entre octubre y diciembre de 1986, 1988, y 1989 se capturaron peces extraordinariamente grandes (de entre 105 y 460 kg/230 y 1010 libras). El peso total de estas capturas no fue muy grande, pero los peces poseían gran valor económico, ya que inmediatamente después de su captura se les transportó por avión al Japón, donde se pagan precios muy altos por aleta azul fresco.

Aletas azules fueron marcados en el Pacífico oriental por el personal de la CIAT en 1958 y 1979–1980 y por el Bureau of Commercial Fisheries de los Estados Unidos, el California Department of Fish and Game (CDFG), y el Mission Bay Research Foundation en 1962–1968. Se resumen estos datos en la Tabla 31. Análisis de los datos de los peces recapturados en el Pacífico oriental indican migraciones estacionales de norte al sur, alcanzando los peces su punto más norteño en julio—octubre y más sureño durante mayo y junio. Se han obtenido diez devoluciones del Pacífico occidental, todas ellas de peces que permanecieron más de 22 meses en libertad.

El marcado de aletas azules en el Pacífico occidental fue llevado a cabo por empleados de la CIAT que trabajaron en el Japón entre 1980 y 1982 y por empleados del FSFRL durante 1980–1988. Se resumen las devoluciones hasta la fecha en la Tabla 32. Se comentan los resultados de estos experimentos en el Informe Anual de la CIAT de 1988, páginas 225–227. Las migraciones del Pacífico occidental al oriental son de interés especial. Algunas generaciones anuales, por ejemplo aquellas de 1983 y 1984, produjeron grandes cantidades de migrantes, y otras no. Las mejores capturas de la década de los 80 fueron logradas en 1985 y 1986, y consistieron principalmente de peces de edad 2 de las generaciones anuales de 1983 y 1984.

#### El ciclo vital y la relación entre peces del Pacífico occidental y oriental

La información presentada en esta sección es fundamental a la comprensión de la sección siguiente sobre la evaluación del stock.

La única zona del Océano Pacífico donde se sabe que ocurre el desove es en las inmediaciones del Japón. Aparentemente, algunos peces permanecen toda su vida en el Pacífico occidental. Otros migran al Pacífico oriental, probablemente durante el primer o segundo año de vida en el caso de la mayoría o hasta todos. Los que se desplazan durante el primer año se encuentran expuestos a la

pesca de arrastre (sedal con anzuelo y cebo) veraniega y otoñal dirigida sobre atunes aleta azul pequeños y otras especies frente al Japón antes de empezar su viaje al Pacífico oriental en el otoño o invierno. Los que se desplazan en el segundo año de vida se encuentran además expuestos a la pesca de arrastre invernal y demás formas de pesca que se practican en las inmediaciones del Japón, antes de comenzar su viaje al Pacífico oriental en el verano, otoño, o invierno. Después de atravesar el océano, los peces migrantes son pescados por barcos cerqueros frente a Alta y Baja California.

No está ni confirmada ni refutada la hipótesis que peces de talla inferior a unos 100 cm, que forman la mayor parte de la captura del Pacífico oriental, abandonan el Pacífico occidental cada otoño o invierno. Es poco común capturar un aleta azul de ese tamaño en el Pacífico oriental entre noviembre y abril, lo cual pudiera indicar que hayan abandonado la región. Sin embargo, es poco probable que recorran la distancia entera al Pacífico occidental, ya que no se ha recapturado en el Pacífico occidental ningún pez marcado liberado en el Pacífico oriental tras menos de 674 días en libertad; si la mayoría de ellos migrara al Pacífico occidental cada otoño o invierno, y regresara al Pacífico oriental cada primavera, entonces sería probable que se hubiera recapturado algunos de ellos en el Pacífico occidental en el invierno o primavera al cabo de menos de unos 100 o 150 días en libertad. Además, los gastos energéticos de realizar una migración tan larga son tan elevados que probablemente no sería factible para un pez efectuar dos migraciones tales por año durante varios años seguidos.

Tras una estadía en el Pacífico oriental, que pudiera o no ser interrumpida por visitas al Pacífico central u occidental, los sobrevivientes regresan al Pacífico occidental, donde presuntamente desovan eventualmente. No se sabe cuánto tiempo permanecen en el Pacífico oriental, pero los resultados de estudios recientes de la composición por edades parecen indicar que la mayoría de los peces comienzan su viaje de regreso al Pacífico occidental antes de alcanzar los tres años de edad. Sin embargo, es casi seguro que algunos peces permanecen en el Pacífico oriental al menos 2 años, ya que peces marcados en el Pacífico oriental han sido recapturados allí mismo después de haber estado hasta 2 años en libertad. En el Pacífico oriental se capturan peces de por lo menos 6 o 7 grupos de edad, y es por consiguiente posible que algunos peces permanezcan allí por lo menos 5 o 6 años.

De vez en cuando se capturan peces grandes en el Océano Pacífico oriental, especialmente cerca de la Isla Guadalupe (México) y las Islas Channel (Alta California). Los más grandes tienen casi seguramente más de 10 años de edad, pero no han vivido necesariamente en el Océano Pacífico oriental desde alcanzar la edad de año y medio o dos años, aproximadamente. Es posible que hayan llegado allí por primera vez poco antes de ser capturados, o que hayan cruzado el Pacífico en ambas direcciones más de una vez. Parece sin embargo poco probable que todos los peces grandes pudieran desovar en el Pacífico occidental cada año, ya que se han capturado algunos en el Pacífico oriental durante la temporada de desove.

#### Evaluación del stock

La escasa captura de aleta azul en el Pacífico oriental y occidental en algunos años preocupa a los investigadores de la CIAT, y se ha prestado especial atención a las escasas capturas en el Pacífico oriental durante 1980–1984 y 1987–1989. La reducción en las capturas en el Pacífico oriental en años recientes pudiera ser debido a (1) una disminución en la abundancia total de peces de más de unos 60 cm de longitud, causada por la fuerte explotación de peces en el primer año de vida cerca del Japón, (2) una reducción del esfuerzo pesquero en el Pacífico oriental, (3) una disminución en la vulnerabilidad a la captura de aquellos peces que migraron al Pacífico oriental, y/o (4) una reducción en la disponibilidad del aleta azul en el Pacífico oriental (es decir, una reducción en la proporción de la población que migró al Pacífico oriental o una estadía más corta en dicha zona de aquellos peces que sí realizaron la migración).

Con respecto a la primera posibilidad, datos inéditos del NRIFSF sobre la composición por edad de la captura de aletas azules lograda por barcos japoneses durante 1966–1986 (Tabla 12) indican que no ha ocurrido una reducción en las capturas de peces mayores de edad 0, ni tampoco un aumento en la proporción de peces de edad 0 a la de peces mayores, lo cual parece eliminar esta hipótesis.

En cuanto a la segunda posibilidad, a partir de fines de los años 70 se ha ido reduciendo la cantidad de barcos cerqueros menores, que anteriormente habían sido responsables de la mayoría de las capturas de aletas azules en el Pacífico oriental. Se deberían estudiar los datos de esfuerzo y captura de una forma que permitiera determinar hasta cual punto la reducción en las capturas se debe a la disminución del esfuerzo de barcos de varias capacidades. Por lo tanto se entablaron los siguientes datos correspondientes a la zona al norte de 23°N y el período de mayo a octubre para 1975 a 1987: (a) tonelaje de aleta azul capturado; (b) número de lances cerqueros; (c) proporción de los lances que capturó aleta azul; (d) tonelaje de aleta azul capturado por lance positivo; y (e) porcentaje de aleta azul capturado frente a México y los Estados Unidos. Se logran casi todas las capturas de aleta azul al norte de 23°N, y la gran mayoría de ellas entre mayo y octubre. El período de 1975 a 1987 incluye años con capturas normales y subnormales. En la Figura 81 se presentan algunos de los resultados obtenidos. La mayor disminución ocurrió en las capturas (excepto en las clases 2 y 3 de arqueo). La cantidad de lances realizados por barcos de las clases 3, 4, y 5 disminuyó en un 50%, mientras que la captura media por lance positivo sobre aletas azules permaneció más o menos igual. La proporción de lances que capturó aletas azules fue mayor en 1985 y 1986 que en los otros años con capturas de aleta azul medias o superiores al promedio, 1975-1980 y 1982. La proporción de las capturas lograda frente a México y los Estados Unidos permaneció más o menos igual para cada clase de arqueo durante el período en cuestión. Estos datos indican que la mayoría de la disminución en las capturas de aleta azul se debe a una menor disponibilidad o vulnerabilidad de esta especie a la captura, y que el papel desempeñado por la disminución del esfuerzo es menos importante.

En cuanto a la tercera posibilidad, no existe ninguna razón obvia por sugerir que la vulnerabilidad a la captura de los peces en el Pacífico oriental haya disminuido, y por lo tanto se descarta esta posibilidad hasta que se presenten pruebas al contrario.

Pasando finalmente a la cuarta posibilidad, los datos de composición por edad tratados de la sección titulada Estudios del aleta azul indican una correlación negativa entre las capturas de peces de 2 años de edad en el Pacífico oriental y occidental. Además, los datos de marcado comentados en el Informe Anual de la CIAT de 1988, páginas 225–226, indican que aletas azules de 2 años de edad eran más disponibles en el Pacífico oriental en 1985 y 1986 que en otros años, y que en dichos años se lograron las mejores capturas del período de 1980–1989. Los datos de frecuencia de talla del Pacífico oriental proporcionan información sobre la duración de la estadía media en el área. Las proporciones de peces grandes y pequeños fueron más o menos iguales durante los años pobres, 1980–1984 y 1987–1989, que durante otros años, lo cual indica que la estadía media en el Pacífico oriental no ha disminuído.

Esta información sugiere al menos tres temas de investigación de alta prioridad. El primero es más estudios de la estructura de las poblaciones. Hace falta una investigación más a fondo de la conclusión tentativa que existe una sola población principal de la cual proporciones variables migran al Pacífico oriental en diferentes años. Si se confirma esta conclusión, se deberían hacer esfuerzos para determinar cuáles condiciones oceanográficas influyen sobre la migración de peces del Pacífico occidental al oriental. Sería también de interés saber si los aletas azules criados en el Mar del Japón son genéticamente distintos de los que se crían al sur del Japón. Se obtendría posiblemente mayor información de estudios genéticos bioquímicos, pero éstos serían probablemente caros y de larga duración. El segundo es un mayor estudio de los datos de captura, frecuencia de talla, y edad de las pesquerías del Pacífico occidental y oriental, y un análisis de éstos enfocado en el Pacífico entero. Tal como se comenta más arriba, científicos del NRIFSF han recopilado recientemente datos sobre la

composición por edades de aletas azules capturados en el Pacífico occidental entre 1966 y 1986. El personal de la CIAT está trabajando actualmente en un análisis similar del Pacífico oriental. Posteriormente, si se dispone del tiempo y los medios financieros necesarios, científicos del NRIFSF y la CIAT colaborarán en un estudio de los datos del Pacífico entero. El tercero sería un análisis de rendimiento por recluta. Esto ya se ha llevado a cabo, usando los datos en las Tablas 33 y 34. Se fijó el coeficiente anual de mortalidad natural en 0.2 y 0.3 y los coeficientes anuales de mortalidad por pesca en 1.0 para períodos de capturas importantes, 0.0 para períodos de capturas nulas o muy bajas, y 0.5 para períodos de transición. Se supuso que los peces comienzan una migración de oeste a este en su primer año de vida y luego una de este a oeste en su tercer año (Opción 1), o sino que comienzan una migración de oeste a este en su segundo año de vida y luego una de este a oeste en su tercer año (Opción 2). En la Figura 82 se presentan gráficos que demuestran los rendimientos por recluta posibles con distintas edades de ingreso a la pesquería, y con tres multiplicadores del vector de esfuerzo de pesca. Ya que los valores de mortalidad natural y por pesca, y especialmente el segundo, son esencialmente conjeturas, no se deberían tomar literalmente los resultados de estos análisis. No obstante, parece que un aumento de la edad de ingreso a la pesquería a unos 2.5 años (90-100 cm) maximizaría el rendimiento total de los peces que migran al Océano Pacífico oriental.

#### **PATUDO**

En la Tabla 35 se presentan datos sobre las capturas de patudo en el Océano Pacífico. Las capturas de esta especie en el Pacífico oriental logradas por todas artes en años recientes (Tabla 35) fueron muy parecidas a las de barrilete (Tabla 1), pero marcadamente inferiores a las de aleta amarilla (Tabla 1). Se captura el patudo principalmente con palangre. Al principio de los años 50 se practicaba muy poca pesca con palangre en el Pacífico oriental, y las capturas eran por consiguiente bajas. Sin embargo, a mediados de la misma década, barcos japoneses comenzaron a pescar en esta zona, y las capturas de patudo aumentaron, y por lo tanto los investigadores de la CIAT han prestado mayor atención a la especie. Entre 1965 y 1989 se publicaron ocho trabajos sobre la pesca palangrera japonesa del patudo y especies afines en el Pacífico oriental.

Las capturas estimadas de patudo por las artes epipelágicas en el Océano Pacífico oriental aumentaron hacia fines de los años 60 y en los años 70, y disminuyeron a partir de 1981 (Tabla 35). El aumento en las capturas se debió evidentemente a dos factores. En primer lugar, la captura del patudo no está reglamentada, lo cual pudo haber causado un aumento en las capturas reales, ya que los pescadores habrían preferido en algunos casos pescar esta especie y no el aleta amarilla, debido a que la captura de éste último estuvo controlada en una región considerable del Pacífico oriental durante la última parte de cada año entre 1966 y 1979. Simultáneamente, la pericia de los pescadores en capturar patudo probablemente mejoró. En segundo lugar, las estadísticas recientes son más precisas. Los pescadores obtienen el mismo precio por el patudo que por el aleta amarilla, así que frecuentemente se han registrado las capturas de patudo como si fueran de aleta amarilla. No obstante, desde que se promulgaron las reglamentaciones se registran con más frecuencia las dos especies por separado, y en las localidades donde no se hace así se ha aumentado la cobertura de descargues por parte de los empleados de la CIAT, quienes estiman las proporciones de las dos especies en descargues mixtos.

Los estudios de los investigadores de la CIAT sobre el patudo capturado por artes epipelágicas han consistido principalmente en (1) anotar y procesar los datos de captura y esfuerzo basados en los cuadernos de bitácora y la información sobre el peso descargado, (2) la toma de datos de frecuencia de talla en las plantas enlatadoras, y (3) el análisis de estos datos. Además, durante el período 1959—1978 se marcaron 611 patudos capturados por artes epipelágicas, y se han recapturado 15 de éstos.

En la Figura 83 se presentan las distribuciones trimestrales de la captura de superficie de patudo en el Pacífico oriental, promediadas para el período de 1971 a 1980, obtenidas de los datos de

bitácora recopilados por el personal de la CIAT. Las capturas mayores se lograron frente al norte de Sudamérica, excepto en el tercer trimestre.

En la Figura 21 se presentan datos de frecuencia de talla de patudos capturados por barcos cerqueros en el Pacífico oriental entre 1984 y 1989 y medidos por empleados de la CIAT. Aproximadamente la mitad de la captura, por peso, consiste de peces de talla inferior a los 100 cm.

Los investigadores del National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFSF) en Shimizu (Japón) y la CIAT terminaron recientemente un análisis de la pesca epipelágica de patudo en el Océano Pacífico oriental. Se descubrió que existe una sobreposición considerable en las tallas de patudos capturados por la pesca palangrera y epipelágica. Un 64% de la captura de patudo se obtiene en cardúmenes no asociados, un 29% en cardúmenes asociados con objetos flotantes, y el resto en cardúmenes asociados con ballenas, tiburones, y delfines. Durante el período de 1971 a 1986, el promedio de captura de patudo por lance positivo fue de 23 toneladas (22 y 28 toneladas, respectivamente, en cardúmenes no asociados y en cardúmenes asociados con objetos flotantes). Se capturó un 76% del patudo capturado en cardúmenes puros (que no están mezclados con otras especies de importancia comercial) en cardúmenes no asociados, y un 28% en cardúmenes asociados con objetos flotantes.

En la Figura 84 se presentan las distribuciones de la captura de patudo por unidad de esfuerzo lograda por palangreros japoneses en el Pacífico oriental, promediadas para el período de 1971 a 1980. Las tasas de captura por anzuelo (número de peces capturados por 100 anzuelos) fueron elevadas en la mayor parte del Pacífico oriental, excepto en la zona al norte de 5°N y al este de 125°W. Las zonas con las tasas de captura más elevadas fueron entre el Ecuador y las Islas Galápagos durante todo el año, al nordeste de Hawaii (la zona entre 18°N–33°N y 120°W–145°W) durante el primer y cuarto trimestre, y frente a la parte meridional del Perú y el norte de Chile en la zona entre los 18°S–25°S y 80°W–90°W durante los dos últimos trimestres.

En la región ecuatorial del norte, entre la línea ecuatorial y 10°N, donde se aplicó un fuerte esfuerzo de pesca, las tasas de captura por anzuelo fueron relativamente bajas durante el segundo semestre del año, especialmente en la parte occidental de esta región. En cambio, en la región ecuatorial del sur, entre la línea ecuatorial y 15°S, las tasas de captura fueron más elevadas en la parte occidental que en la parte oriental durante todo el año.

La distribución del esfuerzo no coincide plenamente con las zonas con las tasas más elevadas de captura de patudo por anzuelo, a pesar de que fue la especie más importante capturada por los palangreros japoneses. Por ejemplo, existió una fuerte concentración de esfuerzo en las aguas ecuatoriales (10°N a 15°S y al oeste de 110°W), pero las tasas de captura por anzuelo de patudo en esta zona no fueron particularmente elevadas. Además, aunque las tasas de captura por anzuelo fueron bastante elevadas al nordeste de Hawaii y frente a la parte meridional de Perú y el norte de Chile, no se aplicó mucho esfuerzo en esas zonas. Puede que esto se deba a que en la región ecuatorial el patudo pudo capturarse durante todo el año y los peces fueron generalmente grandes, mientras que más al norte y más al sur la aparición del patudo fue más estacional, y los peces solían ser más pequeños.

Se presentan en la Figura 86 los datos de frecuencia de talla del patudo capturado con palangre durante 1971–1980 en la zona delineada en la Figura 85. La mayoría de los peces capturados medían entre unos 100 y 170 cm. La composición de talla fue relativamente constante entre 1971 y 1974, pero se nota un cambio considerable entre 1975 y 1980. Las proporciones de peces más pequeños (menores de 120 cm) fueron significativamente superiores en 1977 y 1979, y se evidenció una separación más fuerte de los grupos modales en 1975, 1976, 1979, y 1980. Estos cambios en la composición de talla coinciden en tiempo con el incremento reciente del esfuerzo de pesca de la flota palangrera japonesa.

En general, se usan dos métodos para analizar los efectos de la pesca sobre una población de peces: el modelo con estructura de edades, y el modelo de producción. Estos modelos se describen detalladamente en la sección sobre el aleta amarilla.

#### Modelos con estructura de edades

El modelo de rendimiento por recluta (un tipo de modelo con estructura de edades) suministra información sobre el rendimiento por recluta que puede esperarse con varias combinaciones de esfuerzo de pesca y tallas de ingreso. El modelo se basa en datos sobre la talla a la edad o el peso a la edad y la mortalidad natural. Ambos, especialmente la mortalidad natural, son difíciles de estimar. Se calculó no obstante el rendimiento por recluta de patudo con respecto a varias combinaciones de esfuerzo de pesca (F) y de talla de ingreso. Los datos sobre la talla a la edad se obtuvieron según una ecuación de crecimiento de patudo presentada en el Boletín de la CIAT (Vol. 11, Nº 2). Puesto que con los datos actualmente disponibles es imposible estimar en forma confiable el coeficiente de mortalidad natural (M) del patudo, se emplearon valores anuales experimentales de 0.4, 0.6, 0.8, y 1.0. En la Figura 87 se presentan los resultados, con tallas de ingreso de 40 cm (2 kg o 4 libras), 60 cm (5 kg o 12 libras), 90 cm (17 kg o 38 libras), 120 cm (40 kg o 87 libras), y 150 cm (76 kg o 167 libras) y valores de F de 0.0 a 1.6. En cada caso, el rendimiento por recluta fue mínimo a una talla de ingreso de 150 cm, así que el estudio se limitará a los otros cuatro valores, 40, 60, 90, y 120 cm. Según las Figuras 21 y 86, parece que la mayoría del patudo capturado por cerqueros y palangreros se recluta a una talla de unos 60 a 90 cm y 90 a 120 cm, respectivamente. Sin embargo, en 1980 y 1982-1984 se capturaron en la pesca cerquera grandes cantidades de patudo entre los 40 y 60 cm. A un valor de M de 0.4, el rendimiento por recluta es aproximadamente igual para todas las tallas de ingreso con valores de Fhasta 0.4. A valores de F de 0.6 o más, el rendimiento por recluta es menor para una talla de ingreso de 40 cm, y a valores de F de 0.8 o más es menor para una talla de ingreso de 60 cm. A un valor de M de 0.6, el rendimiento por recluta es aproximadamente igual a todos valores de F para tallas de ingreso de 60, 90 y 120 cm. Es asimismo aproximadamente igual para una talla de ingreso de 40 cm con valores de F hasta 0.6, pero a valores mayores de F el rendimiento por recluta es menor. A un valor de M de 0.8 el rendimiento por recluta es aproximadamente igual a todos valores de F, a cualquier talla de ingreso. A un valor de M de 1.0 el rendimiento por recluta es aproximadamente igual a todos valores de F para tallas de ingreso de 40, 60 y 90 cm, pero menor para una talla de ingreso de 120 cm. En general, a valores elevados de M se obtienen los rendimientos por recluta mayores con tallas de ingreso pequeñas o intermedias (40, 60, y 90 cm), y a valores bajos de M se obtienen los rendimientos por recluta mayores con tallas de ingreso intermedias (90 y 120 cm). Aunque actualmente no se sabe cuál valor de M es más aplicable a la población de patudo explotada por la pesca epipelágica y palangrera del Pacífico oriental, lo más probable es que caiga entre 0.6 y 0.8. A estos niveles, los análisis anteriores indican que el rendimiento por recluta alcanzaría el máximo a una talla de ingreso entre unos 90 y 120 cm. Esto significa que la talla de ingreso promedio para la pesca epipelágica es inferior a aquella que lograría un rendimiento por recluta máximo, y que aquella de la pesca palangrera es superior a esa talla. Sin embargo, se recalca que estas estimaciones se basan en datos inadecuados, así que son poco confiables.

#### Modelos de producción

Los modelos de producción pueden ser aplicados solamente a peces de poblaciones separadas; en consecuencia, sólo se pueden usar para el patudo del Océano Pacífico oriental si hay relativamente poco intercambio entre estos peces y aquellos de las zonas más el oeste. En la Tabla 36 se presentan los movimientos de patudos marcados por varias organizaciones que permanecieron en libertad durante períodos largos. Las distancias recorridas son inferiores a aquellas registradas para las otras especies de atunes de importancia comercial, pero no se debe exagerar el significado de ésto, dada la escasez de las devoluciones.

En la Figura 88 se presentan los datos del esfuerzo, la captura, y la captura por unidad de esfuerzo (cantidad de peces capturados por cien anzuelos) correspondientes a 1954–1984, en la parte del Océano Pacífico oriental delineada en la Figura 85. Se escogió esta zona porque incluye las zonas

principales de pesca de patudo, y se cree que la inclusión de datos de zonas con grandes cantidades de esfuerzo y pocas capturas de patudo ocultaría la posible relación entre el esfuerzo y la captura de patudo. En 1954-1960, el esfuerzo y la captura fueron bajos, y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) elevada. De 1961 a 1964, el esfuerzo y la captura fueron muy superiores a los de 1954–1960. En 1961 la CPUE fue ligeramente inferior a 3 peces por 100 anzuelos, y en 1964 se redujo a menos de 1.5 peces por 100 anzuelos. De 1964 a 1984 el esfuerzo fluctuó entre 38 y 114 millones de anzuelos, y la captura entre 0.37 y 1.07 millones de peces, pero la CPUE permaneció aproximadamente constante, cerca de 1 pez por 100 anzuelos. Es normal que la CPUE disminuya al aumentar el esfuerzo, y una pequeña reducción no indica necesariamente una pesca excesiva (desde el punto de vista de reducir el rendimiento promedio máximo sostenible (RPMS), como se informa en la sección sobre el aleta amarilla). Sin embargo, la reducción de la CPUE a menos de la mitad de lo que era cuando el esfuerzo era bajo puede indicar una reducción de la población a un nivel inferior al necesario para producir el RPMS. No obstante, puede resultar significativo el hecho de que las capturas se hayan más que duplicado en el período 1965-1980, mientras que las CPUE permanecieron casi iguales. Esto puede deberse a una intensificación de la pesca de patudo por parte de los pescadores palangreros debido al precio elevado del mismo. Por ejemplo, es posible que el mayor empleo de las artes palangreras de profundidad a fines de los años setenta haya mantenido la CPUE del patudo al mismo nivel mientras se reducía su abundancia. El desconocimiento actual sobre los niveles de intercambio de peces entre la zona analizada y las zonas adyacentes contribuye también a la incertidumbre en la interpretación de los datos.

#### BARRILETE NEGRO

El barrilete negro forma solamente una muy pequeña parte de los descargues de atunes capturados en el Pacífico oriental, pero tiene bastante importancia comercial en varios países latinoamericanos. Forma además un recurso de magnitud importante, que probablemente será explotado más fuertemente a medida que aumente la demanda de atún. Por consiguiente, es prudente obtener todo conocimiento posible sobre esta especie.

El conocimiento actual del barrilete negro proviene principalmente de los datos de bitácora de los barcos, de datos sobre los pesos de peces descargados en las enlatadoras, de estómagos, gónadas, y mediciones de peces obtenidas en las enlatadoras, de gónadas recolectadas en cruceros de marcado para estudios histológicos, de estudios de larvas (orientados principalmente a otras especies), de datos de recaptura de barriletes negros marcados incidentalmente cuando se marca aleta amarilla o barrilete, y de estudios actuales en el Laboratorio de la CIAT en Achotines.

En la Tabla 1 se presentan los datos sobre los descargues de barrilete negro por barcos atuneros de 1961 a 1989. Estos datos incluyen sólo el pescado descargado; se sabe que se capturan cantidades mayores, pero como no se descargan, no se incluyen en las estadísticas. Además, esta especie es capturada por pequeños barcos basados en Latinoamérica, de los cuales no se obtienen datos. Las capturas reales son así superiores a las indicadas en la tabla. En la Figura 89 se presentan las zonas de captura de 1980 a 1983 de barcos de los que se obtuvieron datos de bitácora.

En el Informe Interno 17 de la CIAT se presenta un análisis de la relación peso-talla del barrilete negro. En un crucero de marcado, realizado en 1981, se hicieron algunas observaciones sobre la habilidad natatoria, la temperatura del cuerpo, y el tiempo requerido para la evacuación gástrica; el análisis de los resultados se publicó en una revista científica en 1984. Se terminaron recientemente estudios para determinar las zonas y la duración de desove, la talla al alcanzar la madurez sexual, la proporción de sexos, la fecundidad, y la frecuencia del desove, y se publicaron los resultados en el Boletín de la CIAT, Vol. 19, № 2. El cálculo del potencial reproductivo tiene una importancia primordial en lo referente a la dinámica de poblaciones de los peces, ya que es un determinante básico de la productividad. Además, ya que la cantidad de peces de tamaño capturable

disponible a la pesca depende en gran parte del éxito del desove y de la sobrevivencia durante los primeros estadios del ciclo vital, los estudios de este tipo pueden producir información de valor potencial para realizar pronósticos.

Se han capturado grandes cantidades de larvas y juveniles de barrilete negro y de otras especies de escómbridos (atunes y caballas), en particular frente a América Central y cerca de la desembocadura del Mar de Cortez. Además, se han marcado 1,502 barriletes negros, de los cuales se han recapturado 107. En el Informe Anual de la CIAT de 1982 se presenta información sobre las migraciones y el crecimiento del barrilete negro, basada en estos datos.

Los datos sobre larvas y juveniles, junto con los datos de marcado y de bitácora, proporcionan los índices de abundancia del barrilete negro con relación a las demás especies de escómbridos. Esta información parece indicar que la producción anual potencial de esta especie es muy superior a los niveles actuales de descargue.

Actualmente se están realizando estudios extensivos del barrilete negro en el laboratorio de la CIAT en Achotines (Panamá). Se está estudiando el crecimiento de larvas y juveniles mediante la cría en el laboratorio de peces capturados en el mar y la examinación de los otolitos de peces capturados en el mar. Se están realizando experimentos más extensos para ampliar los estudios preliminares de 1988, los cuales indicaron que se forma un incremento cada día en los otolitos. Se está experimentando con varias dietas para determinar cuál de ellas resulta en la mayor sobrevivencia de las larvas y juveniles cautivos. Se están comprobando varios anestéticos con larvas cautivas de barrilete negro para desarrollar métodos de medir escómbridos vivos en el laboratorio para estudios del crecimiento. Se están examinando con microscopio secciones histológicas de larvas y juveniles para determinar su estado nutritivo, con miras a comprender el potencial de mortalidad causada por la inanición. Se están realizando estudios de campo para averiguar más a fondo el efecto del ambiente sobre el crecimiento y la sobrevivencia de las larvas en el océano. También se está llevando a cabo un estudio del desarrollo muscular y del intercambio térmico. Los resultados de estos estudios podrán ser aplicados en gran parte a otras especies de atunes. Ha sido aceptado para la publicación un manuscrito en el cual se describe el crecimiento de barriletes negros criados en cautiverio.

#### APPENDIX 1-ANEXO 1 STAFF\*-PERSONAL\*

#### DIRECTOR

James Joseph, Ph.D. (University of Washington)

#### SCIENTIFIC-CIENTIFICO

#### Chief Scientists-Científicos Dirigentes

Richard B. Deriso, Ph.D. (University of Washington)

Tuna-billfish Program — Programa Atún-picudo

Martín A. Hall, Ph.D. (University of Washington)

Tuna-dolphin Program — Programa Atún-delfín

#### Senior Scientists-Científicos Principales

Pablo R. Arenas, Ph.D. (University of Washington)

 $\begin{array}{cc} {\rm Biology} & -{\rm Biolog\'ia} \\ {\rm (from\ March\ 1} & {\rm desde\ el\ 1\ de\ marzo)} \end{array}$ 

William H. Bayliff, Ph.D. (University of Washington)

Biology — Biología

David A. Bratten, B.S. (San Diego State University)
Biology

—Biología

Michael G. Hinton, M.S. (University of Washington)

Biology: statistics —Biología: estadística

Witold L. Klawe, M.A. (University of Toronto)

Biology — Biología

 $For rest\ R.\ Miller,\ M.A.\ (University\ of\ California\ at\ Los\ Angeles)$ 

Meteorología — Meteorología

Robert J. Olson, M.A. (San Diego State University)

Biology - Biología

Patrick K. Tomlinson, B.S. (Humboldt State University)

Biology: population dynamics —Biología: dinámica de poblaciones

Alexander Wild, Ph.D. (University of British Columbia)

Biology —Biología

#### Associate Scientists-Científicos Asociados

Alejandro A. Anganuzzi, Lic. (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Biology: population dynamics — Biología: dinámica de poblaciones

Thomas P. Calkins, B.S. (University of Washington)

Biology —Biología

Edward H. Everett, B.A. (San Jose State University)

Biology: statistics —Biología: estadística

Terry J. Foreman, M.S. (San Diego State University)

Biology — Biología

Richard J. Lindsay, B.S. (Long Island University) Biology —Biología
Milton F. López, B.S. (University of Rhode Island)  Computer science — Ciencia de computadoras
Ashley J. Mullen, B.A. (University of Warwick) Biology: mathematics  —Biología: matemática
Richard G. Punsly, M.S. (University of Washington) Biology: population dynamics —Biología: dinámica de poblaciones
Kurt M. Schaefer, M.S. (San Diego State University) Biology —Biología
Vernon P. Scholey, B.S. (University of Washington) Biology —Biología (Achotines, Panamá)
Michael D. Scott, M.A. (University of California at Los Angeles) Biology —Biología
Sachiko Tsuji, Ph.D. (University of Tokyo) Biology: population dynamics (to March 31  —Biología: dinámica de poblaciones hasta el 31 de marzo)
Gayle Ver Steeg, B.S. (Iowa State University)  Computer programming —Programación de computadoras
Assistant Scientists-Científicos Auxiliares
Ernesto Altamirano Nieto, B.S. (Universidad Autónoma de Baja California) Biology —Biología
Armando Carrasco Arevalo, B.S. (University of West Florida) Biology: statistics  —Biología: estadística (Cumaná, Venezuela)
Richard K. Childers, B.S. (Humboldt State University) Biology: statistics  —Biología: estadística (Manta, Ecuador)
David R. Cormany, B.A. (Western Washington University) Biology —Biología
Alvin Delgado Martínez, Lic. (Universidad de Oriente) Biology: statistics —Biología: estadística (Manta, Ecuador)
Leonardo García, Lic. (Universidad de Guayaquil) Biology: statistics —Biología: estadística (Manta, Ecuador)
Craig F. Heberer, B.S. (Humboldt State University) Biology: statistics —Biología: estadística (Mayaguez, Puerto Rico)

Yoshio Ishizuka, B. Agri. (University of Tokyo) -Biología Biology (to January 20 hasta el 20 de marzo) Robert R. Lauth, M.S. (University of Washington) -Biología Biology (Achotines, Panamá) Alberto Morales Yañez, B.S. (Universidad Autónoma de Baja California) -Biología desde el 21 de diciembre) (from December 1 (Ensenada, México) Eric E. Pedersen, B.S. (Humboldt State University) -Biología: estadística Biology: statistics (Ensenada, México) Andris Purmalis, B.S. (University of Michigan) -Biología: estadística Biology: statistics (Panamá, R.P.) Lesly Rodríguez, Lic. (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua) Biology —Biología Jorge L. Sayegh, Lic. (Universidad de Oriente) Biology: statistics Biología: estadística (Cumaná, Venezuela) Osvaldo A. Silva, Ict. Pis. (Instituto de Altos Estudios de la Técnica en la Industria y Economía Pesquera, Astrakhan, USSR) -Biología: estadística Biology: statistics (Panamá, R.P.) Karen L. Smith, M.Sc. (University of Strathclyde) -Biología: matemática Biology: mathematics (to November 30 hasta el 30 de noviembre) Enrique Ureña Portales, B.S. (Universidad Autónoma de Baja California) Biology: statistics Biología: estadística (Ensenada, México) Jeanne B. Wexler, B.S. (Humboldt State University) Biology -Biología TECHNICAL-TECNICO Javier Barandiarán, B.A.C (Universidad de Puerto Rico) Waterfront contact: laboratory technician -Representante en el muelle: técnico de laboratorio Sharon A. Booker Data secretary Secretaria de datos Joanne E. Boster Statistical technician -Técnica en estadística

TUNA COMMISSION Jesús Mario Budra Gracia Diesel mechanic Mecánico de diésel (Achotines, Panamá) (from March 1 desde el 1 de marzo) Julio Carranza Waterfront contact: laboratory technician -Representante en el muelle: técnico de laboratorio (Coishco, Perú) Nannette Y. Clark Statistical technician -Técnica en estadística Juan A. Gracia, J.D. (Universidad Católica de Puerto Rico) Waterfront contact: laboratory technician -Representante en el muelle: técnico de laboratorio (Mayaguez, Puerto Rico) Gary A. Hunt Diesel mechanic Mecánico de diésel (to February 19 hasta el 19 de febrero) (Achotines, Panamá) C. Aníbal Orbes A. Waterfront contact: laboratory technician -Representante en el muelle: técnico de laboratorio (to March 31 hasta el 31 de marzo) (Manta, Ecuador) Lisa L. Ruddick, B.A. (University of California at San Diego) Laboratory technician -Técnica de laboratorio ADMINISTRATIVE-ADMINISTRATIVO Lydia M. Avila Bilingual secretary -Secretaria bilingüe (from November 13 desde el 13 de novembre) Berta N. Juárez Bilingual secretary to the Director -Secretaria bilingüe del Director James M. Lannon Administrative assistant Ayudante administrativo (to December 31 hasta el 31 de diciembre) Rosa G. López

Bilingual secretary -Secretaria bilingüe (from February 6 to September 30 -desde el 6 de febrero hasta el 30 de septiembre)

Nicholas J. Webb, B.A. (University of York)

Technical translator -Traductor técnico

<sup>\*</sup> All staff members at La Jolla unless otherwise noted

<sup>\*</sup> Todos en La Jolla, a menos que se indique lo contrario

#### APPENDIX 2-ANEXO 2

### INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION—COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL Balance Sheet, September 30, 1989— Balance General, 30 de Septiembre de 1989

Balance Sheet, September 30, 1989— Balance General, 30 de Septiembre de 1989		
Assets-Activo		
Current assets—Activo circulante	4	
Cash—Efectivo	\$194,055	
Accounts receivable—Cuentas por cobrar	2,166	
Employee advances—Adelantos a los empleados Deposits and other assets—Depósitos y otros bienes	116,981 1,519	
Deposits and other assets—Depositos y otros bienes		
Total current assets—Activo total circulante	314,721	A
Real property, at cost—Propiedad raíz, al costo	_325,775	NNU
	\$640,496	ANNUAL REPORT 1989
	<del></del>	POR
		T 19
Liabilities and fund balances – Pasivo y balance de los fondos		89
Current liabilities—Pasivo circulante		
Accounts payable—Cuentas por pagar	\$ 28,800	
Accrued expenses—Gastos acumulados	$_{230,651}$	
Total current liabilities—Pasivo total circulante	259,451	
Fund balance — Balance de los fondos		
General fund (deficiency)—Fondo general (deficit)	55,270	
Real property fund—Fondo propiedad raíz	325,775	
Total fund balance—Balance total de los fondos	381,045	265
	$\frac{\$640,\!496}{}$	Ŏi,

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION—COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL Statement of Changes in Financial Position for the Year Ended September 30, 1989— Declaración de Cambios en la Situación Financiera Correspondiente al Año Fiscal que Termina el 30 de Septiembre de 1989		
Uses of working capital—Utilización del capital de trabajo Deficiency of revenues over expenses—Déficit de ingresos sobre los gastos Decrease in working capital—Reducción del capital de trabajo	\$ 186,565 186,565	
Changes in components of working capital—Cambios in componentes de capital de trabajo Decrease in current assets—Reducción del activo circulante Cash—Efectivo Accounts receivable—Cuentas por cobrar Employee advances—Adelantos a los empleados Deposits and other assets—Depósitos y otros bienes	$   \begin{array}{r} 175,474 \\ 14,908 \\ 2,183 \\ \\ \hline                             $	I UNA COMMISSION
Increase (decrease) in current liabilities—Aumento (reducción) en el pasivo circulante Accounts payable—Cuentas por pagar Accrued expenses and other liabilities—Gastos acumulados por pagar y otros pasivos	(14,400) 8,400 (6,000)	ION
Decrease in working capital—Reducción en el capital de trabajo	<u>\$ 186,565</u>	

# ANNUAL REPORT 1989

## INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION—COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL Statement of Revenue and Expenses for the Year Ended September 30, 1989—Declaración de Ingresos y Gastos Correspondiente al Año Fiscal que Termina el 30 de Septiembre de 1989

Revenue—Ingresos Government contributions for joint expenses—Contribuciones de los gobiernos a los gastos combinados United States of America—Estados Unidos de América Japan—Japón France—Francia Panama—Panamá Nicaragua	\$2,679,000 105,668 60,342 1,000
Total contributions—Contribuciones totales	2,846,010
Contract revenue—Ingresos por contrato Interest income—Ingresos por interés Other revenue—Otros ingresos	56,899 19,365 94,021
Total revenue—Ingreso total	3,016,295
Expenses—Gastos Salaries—Sueldos Employee benefits—Beneficios laborales Contract expenses—Gastos por contratos Travel expenses—Gastos por viajes Scientific technician costs—Gastos de los técnicos científicos Printing and postage—Imprenta y franqueo Legal and professional—Legales y profesionales Materials and supplies—Materiales y suministros Rent and utilities—Alquiler y servicios públicos Insurance and taxes—Seguros e impuestos Tag rewards—Recompensas por marcas de peces Miscellaneous—Miscelánea	1,600,747 $277,607$ $227,745$ $235,286$ $367,408$ $67,952$ $22,582$ $276,887$ $66,094$ $34,836$ $22$ $25,694$
Total expenses—Gastos totales	_3,202,860
Excess (deficiency) of revenue over expenses—Exceso (déficit) de gastos sobre ingresos	\$ (186,565)

#### 268

## INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION—COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL Statement of Changes in Fund Balances for the Year Ended September 30, 1989— Declaración de Cambios en el Balance de los Fondos Correspondiente al Año Fiscal que Termina el 30 de Septiembre de 1989

	Unrestricted fund balance— Balance ilimitado de los fondos	Real property fund— Fondo propiedad raíz	Total	
Balance (deficiency) at September 30, 1987— Balance (deficit) hasta el 30 de septiembre de 1987	\$478,594	\$325,775	\$804,369	
Excess of revenue over expenses Exceso de ingresos sobre los gastos	(236,759)		(236,759)	TUNA
Balance (deficiency) at September 30, 1988 Balance (déficit) hasta el 30 de deciembre de 1988	241,835	325,775	567,610	A COMMISSION
Excess of revenue over expenses Exceso de ingresos sobre los gastos	(186,565)		(186,565)	ISSION
Balance (deficiency) at September 30, 1989— Balance (déficit) hasta el 30 de septembre de 1989	<u>\$_55,270</u>	\$325,775	\$381,045	

#### APPENDIX 3—ANEXO 3 CONTRIBUTIONS BY LATTC STAFF MEMBERS PUBLISHED DURING 1989 CONTRIBUCIONES POR PERSONAL DE CIAT PUBLICADOS DURANTE 1989

#### Annual Report-Informe Anual

1988

#### Bulletins-Boletines

Schaefer, Kurt M. Morphometric analysis of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from the eastern Pacific Ocean—Análisis morfométrico del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, del Océano Pacífico oriental, Vol. 19, No. 5.

Forsbergh, Eric D. The influence of some environmental variables on the apparent abundance of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the eastern Pacific Ocean—La influencia de algunas variables ambientales sobre la abundancia aparente del atún barrilete, *Katsuwonus pelamis*, en el Océano Pacífico oriental, Vol. 19, No. 6.

#### Outside journals-Revistas externas

Mullen, A. J. Mobility of tuna [letter to the editor—carta al redactor]. Mar. Policy, 13 (1): 77-78.

Majors, Anthony P., Christina H. Perrin, and Forrest R. Miller. Summary of the 1988 North and South Pacific albacore fisheries data. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Admin. Rep., LJ-89-19: 53 pp.

Staff, Inter-American Tropical Tuna Commission. Inter-American Tropical Tuna Commission holds 46th meeting. Tuna Newsletter (U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Southwest Fish. Center, La Jolla), 94: 4–6.

Mullen, Ashley J. Aggregation of fish through variable diffusivity. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., Fish. Bull., 87 (2): 353–362.

Greenough, Joseph W., and Barbara K. Rothschild. Billfish management in the Pacific and Indian Oceans. *In* Stroud, Richard H. (editor), Planning the Future of Billfishes: Research and Management in the 90s and Beyond. Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1–5, 1988, Part 1: Fishery and Stock Synopses, Data Needs and Management, National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia: 293–311.

Joseph, James. Strategies for successful management. *In* Stroud, Richard H. (editor), Planning the Future of Billfishes: Research and Management in the 90s and Beyond. Proceedings of the Second International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, August 1–5, 1988, Part 1: Fishery and Stock Synopses, Data Needs and Management, National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia: 347–351.

Hohn, Aleta A., Michael D. Scott, Randall S. Wells, J. C. Sweeney, and A. Blair Irvine. Growth layers in teeth from known-age free-ranging bottlenose dolphins. Mar. Mam. Sci., 5 (4): 315–342.

Scott, Michael D., Randall S. Wells, and A. Blair Irvine. A long-term study of bottlenose dolphins on the west coast of Florida. *In* Leatherwood, Stephen, and Randall R. Reeves (editors), The Bottlenose Dolphin, Academic Press, New York: 235–244.

Scott, Michael D., and Susan J. Chivers. Distribution and herd structure of bottlenose dolphins in the eastern tropical Pacific Ocean. *In* Leatherwood, Stephen, and Randall R. Reeves (editors), The Bottlenose Dolphin, Academic Press, New York: 387–402.

Scott, Michael D., Randall S. Wells, A. Blair Irvine, and Bruce R. Mate. Tagging and marking studies on small cetaceans. *In* Leatherwood, Stephen, and Randall R. Reeves (editors), The Bottlenose Dolphin, Academic Press, New York: 489–514.

Hall, M. A., and S. D. Boyer. Estimates of incidental mortality of dolphins in the eastern Pacific fishery for tropical tunas in 1987. Inter. Whaling Comm., Rep., 39: 321–322.

Anganuzzi, A. A., and S. T. Buckland. Reducing bias in trends in dolphin relative abundance, estimated from tuna vessel data. Inter. Whaling Comm., Rep., 39: 323–334.