

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

Bulletin—Boletín

Vol. 21, No. 4

**STANDARDIZING CATCH AND EFFORT STATISTICS USING
PHYSIOLOGICAL, ECOLOGICAL, OR BEHAVIORAL CONSTRAINTS
AND ENVIRONMENTAL DATA, WITH AN APPLICATION TO BLUE
MARLIN (*MAKAIRA NIGRICANS*) CATCH AND EFFORT DATA FROM
JAPANESE LONGLINE FISHERIES IN THE PACIFIC**

**ESTANDARDIZACION DE ESTADISTICAS DE CAPTURA Y
ESFUERZO USANDO RESTRICCIONES FISIOLÓGICAS,
ECOLÓGICAS, O DE COMPORTAMIENTO Y DATOS AMBIENTALES,
CON APLICACION A DATOS DE CAPTURA Y ESFUERZO DEL
MARLIN AZUL (*MAKAIRA NIGRICANS*) DE LAS PESQUERIAS
PALANGRERAS JAPONESAS EN EL PACIFICO**

by—por

Michael G. Hinton and—y Hideki Nakano

La Jolla, California

1996

The Inter-American Tropical Tuna Commission operates under the authority and direction of a convention originally entered into by Costa Rica and the United States. The convention, which came into force in 1950, is open to adherence by other governments whose nationals fish for tropical tunas in the eastern Pacific Ocean. Under this provision Panama adhered in 1953, Ecuador in 1961, Mexico in 1964, Canada in 1968, Japan in 1970, France and Nicaragua in 1973, Vanuatu in 1990, and Venezuela in 1991. Ecuador withdrew from the Commission in 1968, Mexico in 1978, and Canada in 1984.

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

The Commissioners serving at the time of publication are:

COSTA RICA

Jaime Basadre Oreamuno
Alvaro Moreno Gomez
Luis Paris Chaverri

FRANCE

Philippe Peronne

JAPAN

Minoru Morimoto
Yasuo Takase
Yamato Ueda

NICARAGUA

Sergio Martínez Casco

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

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

Los Comisionados actuales son:

PANAMA

Ricardo A. Martáns
Armando Martínez Valdés
José A. Troyano

UNITED STATES OF AMERICA

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

VANUATU

Julian Ala

VENEZUELA

Hugo Alsina Lagos
Roberto Ortisi
Jean-François Pulvenis
Miriam R. de De Venanzi

*Director
James Joseph*

*Headquarters and Main Laboratory—Oficina y Laboratorio Principal
Scripps Institution of Oceanography
La Jolla, California 92037-1508, U.S.A.*

Price per copy—\$2.00—Precio del ejemplar

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

Bulletin—Boletín

Vol. 21, No. 4

**STANDARDIZING CATCH AND EFFORT STATISTICS USING
PHYSIOLOGICAL, ECOLOGICAL, OR BEHAVIORAL CONSTRAINTS
AND ENVIRONMENTAL DATA, WITH AN APPLICATION TO BLUE
MARLIN (*MAKAIRA NIGRICANS*) CATCH AND EFFORT DATA FROM
JAPANESE LONGLINE FISHERIES IN THE PACIFIC**

**ESTANDARDIZACION DE ESTADISTICAS DE CAPTURA Y
ESFUERZO USANDO RESTRICCIONES FISIOLÓGICAS,
ECOLÓGICAS, O DE COMPORTAMIENTO Y DATOS AMBIENTALES,
CON APLICACION A DATOS DE CAPTURA Y ESFUERZO DEL
MARLIN AZUL (*MAKAIRA NIGRICANS*) DE LAS PESQUERIAS
PALANGRERAS JAPONESAS EN EL PACIFICO**

by—por

Michael G. Hinton and—y Hideki Nakano

La Jolla, California

1996

CONTENTS—INDICE

ENGLISH VERSION – VERSION EN INGLES

	Page
ABSTRACT	171
INTRODUCTION	171
EFFORT STANDARDIZATION—THE MODEL	172
DATA AND METHODS	174
Catch and effort data	174
Time at temperature—vertical distribution of the population	175
Hydrographic data	175
Annual relative abundance data	176
RESULTS AND DISCUSSION	176
CONCLUSION	179
ACKNOWLEDGMENTS	179

FIGURES	180
---------------	-----

TABLES	186
--------------	-----

VERSION EN ESPAÑOL – SPANISH VERSION

	Página
RESUMEN	187
INTRODUCCION	187
ESTANDARDIZACION DEL ESFUERZO—EL MODELO	189
DATOS Y METODOS	190
Datos de captura y esfuerzo	190
Tiempo a temperatura—distribucion vertical de la población de peces	192
Datos hidrográficos	192
Indices anuales de abundancia relativa	192
RESULTADOS Y DISCUSION	193
CONCLUSION	196
RECONOCIMIENTOS	196

LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA	197
--	-----

STANDARDIZING CATCH AND EFFORT STATISTICS USING PHYSIOLOGICAL,
ECOLOGICAL, OR BEHAVIORAL CONSTRAINTS AND ENVIRONMENTAL DATA,
WITH AN APPLICATION TO BLUE MARLIN (*MAKAIRA NIGRICANS*) CATCH AND
EFFORT DATA FROM JAPANESE LONGLINE FISHERIES IN THE PACIFIC

by

Michael G. Hinton and Hideki Nakano¹

ABSTRACT

A methodology for standardizing fishing effort that incorporates ancillary information on the ecological, physiological or behavioral constraints of a species and the distribution of environmental conditions is presented. The methodology is applicable to a wide range of problems requiring the standardization of (sampling) effort used in catch-per-unit-effort (CPUE) statistics. Departures from key assumptions for using CPUE as an index of population abundance are addressed by defining effective effort as a function of (1) limiting constraints, (2) the distribution of environmental conditions and (3) the distribution of nominal effort. The methodology provides estimates of relative abundance within defined regions, even if only part of a region is sampled by the effort. An application to catch and effort data of the Japanese longline fishery, which has experienced significant changes in gear configuration in recent decades, is presented. Such changes must be accounted for in estimates of relative abundance based on the data. Estimates of the spatial and temporal distributions of the relative abundance of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific Ocean from standardized CPUE are shown to be significantly different from estimates obtained from nominal CPUE. Analyses indicate an increasing trend in estimates of annual abundance of blue marlin during the 1974-1989 period, which is not evidenced by nominal CPUE and has not been identified in previously published analyses. The increase follows and is attributed, at least in part, to changes in gear configuration, which reduced fishing effort in the habitat of blue marlin.

Key words: CATCH/EFFORT, STANDARDIZATION, METHODOLOGY, FISHING EFFORT, ENVIRONMENTAL FACTORS, LIMITING FACTORS, INTERACTIONS, LONGLINING, *MAKAIRA NIGRICANS*, PACIFIC OCEAN

INTRODUCTION

This paper describes a method that directly incorporates basic physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data into catch-per-unit-of-effort (CPUE) statistics used to estimate relative population abundance. To demonstrate its utility, the method was applied to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries operating in the Pacific Ocean. Utilizing CPUE statistics in ecological research and management applications commonly requires assumptions of random mixing and uniform population distributions that are difficult to verify. The methodology described herein may be used to relax these assumptions. In fisheries, catch statistics often provide the sole measure of fish presence and abundance. This is especially true for billfish, including blue marlin, for which it is necessary to utilize data from various fisheries and fishing gear configurations to obtain estimates of the large-scale spatial and temporal distributions of these pan-oceanic species. Because no independent estimates of blue marlin population levels are available to calibrate models based on fisheries statistics, development of adequate methodologies and data analysis techniques are of primary importance in studies of their ecology and population status.

Catch and effort statistics have long been used in abundance estimation, and the general catch equation provides the basis of this estimation: $C = N * q_a * f_n$; where C = catch, N = mean abundance in a given area during a given time period, q_a = catchability coefficient, and f_n =

¹ Present address: National Research Institute of Far Seas Fisheries, 7-1, Orido 5 Chome, Shimizu-shi, Shizuoka, 424 Japan

nominal fishing effort. When solved for N , the resulting catch per unit of nominal effort (CPUNE) statistic is proportional to mean abundance if a population is homogeneously distributed and if all units of effort are equal and proportional to the rate of fishing. These conditions are seldom achieved (Ricker, 1975). Shomura (1980) noted that for longline gear the underlying assumption that catch rate is proportional to average stock abundance is sensitive to "changes in the construction or deployment of [the] gear, shifts in fishing strategy or target species, and changes in [vulnerability] of the fish to the gear...." Though targeted by a relatively small segment of the longline fishery, incidental harvest of marlins occurs in many fisheries directed at tunas. The longline fishery historically deployed hooks in the upper layers of the ocean where the primary target species was yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), but over the last two decades significant portions of the effort have been shifted from shallow to deeper ocean zones to more effectively target the deeper-swimming and more valuable bigeye tuna (*T. obesus*) (Suzuki, 1989). Suzuki et al. (1977) showed that for shallow- and deep-fishing longlines the difference in marlin CPUNE can be significant.

It has long been recognized that environmental factors influence CPUE statistics (Blackburn, 1965; Green, 1967; Hanamoto, 1974; Sharp, 1978; Sund et al., 1981). Green (1967) noted that use of thermocline data would likely "improve estimation of tuna abundance from catch-effort data" by allowing differentiation between variations in abundance and variations in availability, which may result when vertical distributions of tunas are influenced by temperature. Previous efforts to explain variability resulting from environmental factors have sometimes incorporated geographical and seasonal effects (e.g., Honma, 1974; Punsly, 1987; Suzuki, 1989; Punsly and Deriso, 1991) and sometimes have directly included environmental variables (e.g., Allen and Punsly, 1984; Forsbergh, 1989; Punsly and Fiedler, 1995). General linear models (GLMs), which may include environmental factors, have been used successfully (Allen and Punsly, 1984), but Punsly and Nakano (1992) noted that longline hooking rates standardized by GLM may not be related to abundance due to variability in fish depth distributions resulting from variation in thermal structure.

Ultrasonic telemetry studies (Yuen *et al.*, 1974; Jolley and Irby, 1979; Holts and Bedford, 1990; Holland *et al.*, 1990; Block et al., 1992a; Block et al., 1992b) and the observed distribution of fish by hook position on longlines (Yurov and Gonzales, 1971; Saito and Sasaki, 1974; Suzuki et al., 1977; Hanamoto, 1979; Nishi, 1990; Boggs, 1992) show marlins and sailfish have restricted depth distributions. By comparing striped marlin (*Tetrapturus audax*) depth distributions measured off Hawaii and California to the local temperatures, Brill et al. (1993) showed that it is not absolute temperature that limits local distributions of striped marlin. Rather, their distribution is limited to depths in which temperatures are no colder than 8°C below the temperature of the mixed layer (MLT). This is a reflection of some limiting behavioral or physiological constraint. Such constraints are commonplace: for example, in the case of tunas, both temperature and oxygen are factors influencing their distributions (Brill, 1994).

EFFORT STANDARDIZATION—THE MODEL

Departures from key assumptions for using CPUNE as a measure of population abundance are addressed by defining effective (standardized) effort (f_e) as a function of (1) a species' limiting physiological or ecological requirements or behavior (P), (2) the distribution of environmental conditions (H) within the species range, and (3) the distribution of nominal (unstandardized) effort (f_n).

For fishing operations harvesting from a population that is homogeneously distributed in a given region i , the catch is proportional to average stock density over some time period:

$$C(i) = q_a * N(i) * f_n(i) * A(i)^{-1} \quad (1)$$

where C , q_a , N and f_n are as previously noted, A = area, and i are subregions of A such that for $i = (1, \dots, n_j)$, $A(\bullet) = \Sigma A(i)$, and $N(\bullet) = \Sigma N(i)$ (see Gulland, 1969, equation 4.1 and subsequent discussions). Gulland's (1969) methodological development notes that "... the catch [a particular gear] takes from a given density of fish ..." may be described in terms of the "area or volume of water." Thus, (1) may be written with volume $V(i) = A(i) * h(i, \bullet)$, where $h(i, \bullet)$ is the depth of the water column in $A(i)$ such that for zones $h(i, j)$, $j = (1, \dots, n_j)$, $h(i, \bullet) = \Sigma h(i, j)$ and q_v = catchability coefficient for the formulation in volume (as opposed to q_a), as:

$$C(i) = q_v * N(i) * f_n(i) * V(i)^{-1} = q_v * N(i) * f_n(i) * (A(i) * h(i, \bullet))^{-1}.$$

In particular, catch within any depth zone (j) of subregion (i) can be written as:

$$C(i, j) = q_v * N(i, j) * f_n(i, j) * (A(i) * h(i, j))^{-1}.$$

Let $p(j) = N(i, j) * N(i, \bullet)^{-1}$. Then we can rewrite the catch equation as:

$$C(i, j) = q_v * N(i, \bullet) * p(j) * f_n(i, j) * (A(i) * h(i, j))^{-1}$$

Note that the above catch equation requires that the population be homogeneously distributed within stratum (i, j), rather than throughout the entire subregion (i).

Define effective effort as $f_e(i, j) = f_n(i, j) * p(j) * h(i, j)^{-1}$. Then, by summing the catch equation over depth zones, the direct estimate of average population density in A is seen to be:

$$N(i, \bullet) * A(i)^{-1} = C(i, \bullet) * (q_v * f_e(i, \bullet))^{-1}$$

Thus, the average density of the population in $A(i)$ is estimated using $C(i, \bullet)$ and $f_n(i, j)$ weighted by factors that are proportional to the fraction of the population in the $h(i, j)$ and that are inversely proportional to the volume, *i.e.* factors that are proportional to population density in volumes $V(i, j)$. Since $p(j) = 0$ when $N(i, j) = 0$, effort outside the range of the population does not bias this density estimate, as for example can occur when hooks on a longline are fished outside the depth range of a species, but they are included in estimates based on the total hooks fished. And finally, the estimate of average density is applicable not just to the sampled zones, but rather to the subregion, which is important since longline hooks often may not sample the entire depth range of a species.

To illustrate that this standardization performs as expected, consider the special case wherein $p(j) = h(j) * h(\bullet)^{-1}$, *i.e.*, the population is homogeneously distributed in the n_j zones. Under this condition, average population density in A is:

$$\begin{aligned} N * A^{-1} &= C(\bullet) * (q_v * \Sigma f_n(j) * (h(j) * h(\bullet)^{-1}) * h(j)^{-1})^{-1} \\ &= C(\bullet) * h(\bullet) * (q_v * \Sigma f_n(j))^{-1}, \end{aligned}$$

and dividing both sides of the equation by $h(\bullet)$ yields:

$$N * V^{-1} = C(\bullet) * (q_v * f_n(\bullet))^{-1}$$

At this point it should be clear that for any heterogeneously distributed population whose distribution within its range (S) is known with respect to H and P , catch may be expressed as:

$$C(S) = q * N(S) * f_e(P, H, f_n) * S^{-1}$$

In the application to blue marlin, the resolution of available hydrographic data (Steve Pazan, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA, pers. comm., 1992) lead to resolutions of 2° latitude by 5° longitude for subregions i and of bimonthly period for time. Thus, these were the spatial-temporal dimensions within which $C(i, \bullet)$ and $f_n(i, \bullet)$ were estimated. The distributions of $f_n(i, j)$ were estimated from gear configuration data. Habitat $h(i, j)$ of blue marlin was delimited by 1°C increments in temperature relative to MLT, and $p(j)$ were estimated using results from ultrasonic depth telemetry studies.

DATA AND METHODS

Catch and effort data

The Japanese longline (Figure 1) fishery catch and effort data used in this study were collected by the Japanese Government from over 90 percent of the registered Japanese-flag longline vessels fishing in the Pacific. These logbook data were subsequently compiled by the National Research Institute of Far Seas Fisheries, Shimizu, Japan. Formats of available fishery data were: (1) total catch and effort estimates at 5° latitude by 5° longitude by month (5x5 data), (2) 5x5 catch and effort by month by number of hooks per basket (HPB data), and (3) catch and effort at 1° latitude by 1° longitude by month (1x1 data).

The 5x5 total catch and effort data included the numbers of hooks fished, the number of sets made and the number of fish caught by species. The 5x5 data do not contain information on gear configuration. The 5x5 data were developed by obtaining information from a portion of the vessel fishing logbooks and the fish landings data, and then adjusting these sample data using sample correction factors to estimate total catch and effort at a resolution of 5° latitude by 5° longitude by month. They are the best estimate of total hooks fished, sets made, and catch for this fishery.

Prior to 1975, nearly all Japanese longlines were fished with from four to seven hooks between floats (the basket) on the mainline. This gear configuration is often referred to as regular longline gear (Suzuki *et al.*, 1977; Suzuki and Kume, 1982; Nakano and Bayliff, 1992). Deep longline gear, which appeared in the western equatorial Pacific fisheries in 1974 (Nakano and Bayliff, 1992) and began to spread throughout the fishery in 1975, has higher numbers of hooks per basket and fishes deeper in the water column (Suzuki *et al.*, 1977).

The HPB data, collection of which began in 1975, includes, for each value of HPB, the number of hooks fished, the number of sets made, and the number of fish caught by species. HPB values ranged from 4 to 15. These data are a representative sample from the fishery and provide the best estimate of the distribution of HPB for this fishery. The best estimate of the distribution of HPB for regular longline gear prior to 1975 is obtained from the 1975 to 1976 HPB data, because the proportion of deep longline gear being fished has increased since 1975 and because the proportion of HPB values in the range of four to seven (regular gear) remained relatively constant until 1977. Therefore, because no sample data exist for the pre-1975 period, the regular longline HPB effort distribution for this period was estimated using the relative percent of the pooled 1975 and 1976 HPB data for HPB values on the range of four to seven. These percentages were 5.7, 41.6, 44.1, and 8.6 for HPB of four to seven, respectively.

The 1x1 catch and effort data, like the HPB and the 5x5 total catch and effort data, included the numbers of hooks fished, the number of sets made, and the catch by species. As with the HPB data, it was a sample and not an estimate of total catch and effort, and as with the total catch and effort data, it did not include data on gear configuration. These data provide the best available small geographical scale estimate of the distribution of catch and effort in this fishery.

The 1x1 catch and effort data and the HPB data were used to apportion the 5x5 total catch data into requisite strata prior to effort standardization. This assignment of monthly data to spatial strata was made by first apportioning the 5x5 data by HPB and then by the 1x1 data. The resulting 1x1 total catch and effort by month and HPB were summed to yield data resolved to 2° latitude by 5° longitude (2x5 data) by bimonthly period by HPB. Bimonthly periods were [January-February, ..., November-December] to match the oceanographic data.

Finally, to resolve the effort data to depth of hooks, a catenary curve model was assumed in which hook depth was considered to be 85 percent of the derived fishing depth for each hook (Suzuki *et al.*, 1977). The 85-percent adjustment partially accounts for the fact that measured hook depth is shallower than the derived depth. This approach provided hook-depth estimates within the range of observations (Saito, 1975; Nishi, 1990; Boggs, 1992) and estimates from other studies (Wright, 1980; Gong *et al.*, 1989).

Time at temperature—vertical distribution of the population

The vertical distribution of the blue marlin population was estimated from acoustic telemetry data (Richard W. Brill, NMFS, Honolulu, Hawaii, USA, pers. comm., 1993: see Holland *et al.*, 1990; and Barbara A. Block, Stanford University, Pacific Grove, California, USA, pers. comm., 1991: see Block *et al.* (1992a)). The telemetry data provided by Brill for three blue marlin tagged off Hawaii in 1988 included expendable bathythermograph (XBT) records and fish depth-at-time tracking records. These fish ranged in size from about 60 to over 160 kg. Time at temperature relative to temperature of the mixed layer (MLT) for each tracking record was determined using a computer program (Brill, pers. comm., 1993) which integrated the fish tracking data within the temperature profiles derived from the XBT data. The telemetry data provided by Block for six blue marlin tagged off Hawaii in 1989 were in the form of plots of fish depth-at-time, with isotherm profiles overlaid. The fish ranged in size from about 60 to 220 kg. Depth records were digitized using UN-SCAN-IT™ (ver. 2.0) for input into the previously described program. The data for the nine individual fish were averaged to obtain a species-specific estimate of time at temperature relative to MLT (Δt) on the range of $\Delta t = (0, -1^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}, \dots, -8^\circ\text{C})$. This distribution translated directly into a distribution of population proportions in temperature-space (Table 1) under the assumption that the sampled fish were representative of the species. The 90-percent confidence intervals for the proportions were estimated using the bias-corrected and accelerated (BC_a) bootstrap method (Efron and Tibshirani, 1993) with 1,200 replicates and a resample size equal to the number of fish (nine) tracked.

Hydrographic data

Distributions of Δt at 2x5 by bimonthly period resolution were developed from temperature-at-depth (TZ) data (Warren White, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA, pers. comm., 1995) with depth resolution of (0, 20, ..., 80, 120, ..., 240, 300, 400) m. These monthly data were available for the 1971 to 1989 period. The bimonthly period TZ was estimated as the average of the monthly observations at each depth. Mixed-layer depth was defined as the depth at which the temperature was 1°C below sea-surface temperature, matching the interval of Brill *et al.* (1993). Isotherm depths were estimated from the bimonthly TZ data by linear

interpolation between depths of the nearest bounding temperatures. In cases where TZ data were lacking for a specific area and bimonthly period, the respective climatology was used. In a few instances, the full range of isotherms Δt did not occur within the 400-m water column. When the lowest temperature in the upper 400-m region of the water column was greater than MLT -8°C [*i.e.*, when $\Delta t > -8^{\circ}\text{C}$], then only that portion of the population expected to be present in that temperature region [determined using the $p(j)$'s] was subject to fishing effort. When temperature data were missing below a given depth z , that portion of the population distributed at depths greater than z was assumed to be homogeneously distributed within [z , 400 m].

Annual relative abundance indices

The relative abundance over a large geographical region may be estimated by combining the density estimates obtained for each $A(i)$ using area or a function of effort as weighting factors (Gulland, 1969; Quinn *et al.*, 1982). Results from both are presented. As a note on weighting factors based on area, the area of 2° latitude by 5° longitude regions varies from about 9,600 km² for zones bounded by 38° to 40° latitude to about 12,300 km² for zones bounded by the Equator and 2° latitude. For weighting factors based on a function of effort, the square-root of effort was used. The number of individual CPUSE observations in a year, from 2° latitude by 5° longitude area by bimonth period strata, ranged from about 1,850 to 2,400. The 90-percent confidence interval for the annual abundance indices based on CPUSE were estimated using the BC_a method with 5,000 replicates and a resample size equal to the number of observations in a year.

RESULTS AND DISCUSSION

To illustrate the method, the 1979-1989 average distributions of catch rates of blue marlin for two representative and consecutive bimonthly periods are presented here. The years 1979-1989 were chosen for comparisons of the distributions based on the catch-per-unit-of-nominal-effort (CPUNE) and catch-per-unit-of-standardized-effort (CPUSE) because this was the period for which complete fisheries and oceanographic data bases were available.

In Figures 2 and 3 we show the distribution of the ranked CPUNE of blue marlin for the September-October and the November-December bimonthly periods, respectively. There were essentially no differences in the distributions. The September-October bimonthly period is the period of warmest oceanographic conditions in the northern regions of the Pacific due to the delay in heat transfer via current systems from more southerly regions. It is the period when the northern and western limits of the distribution of blue marlin, which shifts westward and to higher latitudes with warming water conditions, should be maximal (see Howard and Ueyanagi, 1965). It includes the final months of summer/fall spawning activity of blue marlin in a large northern region ranging from the waters off Japan (Howard and Ueyanagi, 1965; Nishikawa *et al.*, 1985) to north of Hawaii (Matsumoto and Kazama, 1974; Nishikawa *et al.*, 1985; Hopper, 1990).

In Figures 4 and 5 we show the distribution of the ranked CPUSE of blue marlin for the same bimonthly periods. There are clear differences, both between the respective estimates based on CPUNE and those based on CPUSE, and between the former and latter periods within those based on CPUSE. Contrast the distribution of blue marlin based on CPUSE extending westwardly well into the northern hemisphere during the September-October period (Figure 4), with the distribution for that period based on CPUNE (Figure 2). The September-October distribution based on CPUSE was followed by a November-December distribution (Figure 5) reflecting a transitional period during the eastward and southerly shift of the distribution of blue marlin to its austral summer/fall pattern. In the November-December distribution based on

CPUSE, contrast the intensification toward the eastern and southern Pacific (Figure 5), a region with a documented spawning period peak during December-March (Nakano and Bayliff, 1992), with the respective distribution based on CPUNE (Figure 3). This north-south seasonal shift of about 10° latitude in the distribution of blue marlin is well documented, and the average distributions based on CPUSE agree quite well with the distributions that would be expected based on earlier studies (Howard and Ueyanagi, 1965; Kume and Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974); these shifts are not well evidenced in the distributions based on CPUNE. Thus, the average distributions based on CPUSE share an overall agreement with the data on spawning times and areas, with the documented shifts in the limits of blue marlin distribution, and with the plots and descriptions of the distribution of average catch rates from earlier studies, that is not shared by the respective distributions based on CPUNE estimated from deep longline data.

About 75 percent of the distribution of blue marlin is within the mixed layer (Table 1). CPUNE from regular gear and those regions with relatively high vertical temperature gradients and shallow mixed layers may have fairly low bias with respect to estimates of abundance of blue marlin. However, in those regions with lower temperature gradients and deeper mixed layers, it would have a negative bias and underestimate abundance, since much of the population would be distributed below the fishing gear and would not be sampled. CPUNE estimated using data from deep gear would be expected to have a negative bias in those regions with relatively high vertical temperature gradients and shallow mixed layers, because effort expended outside the population range would be included in the analyses. However, it may provide a better estimate than regular gear under the low temperature gradient and deeper mixed layer conditions. The geographical bounds of the distribution of blue marlin generally exhibit the shallower mixed layer, higher temperature gradient, conditions under which the deep longline gear exhibits the maximum negative bias for a species with a MLT-based distribution such as blue marlin. Though no simple reduction of the differences between estimates based on CPUSE and CPUNE was possible, under these conditions it is not surprising that the estimates of CPUNE based on deep longline data (1979-1989) failed to yield satisfactory estimates of the limits and shifts of the distribution of blue marlin. It is also not surprising that under these conditions the estimates based on CPUSE, as previously noted, are more closely resembled by the estimates from earlier studies, which were made using catch rates from regular gear.

Fisheries scientists rely on indices of annual relative abundance at the stock or population level when creating harvest and conservation recommendations. Catch and effort data must be standardized to account for shifts in gear design, operation patterns, and efficiency so that the requisite long-time series of data may be used in these analyses. These scientists are frequently forced to resort to using ratios of catch rates, collected from various gear configurations operating over large geographical regions and long time periods, in attempts to standardize effort. This results in significant confounding of variability of catch rates with variability in distributions of populations, of limiting factors, of gear configurations and operating patterns, and of environmental conditions.

The basis of the original temperature at depth (TZ) data were all valid temperature observations within geographical and temporal strata. Thus TZ is an average across all structure found within a stratum. Given a species' environmental preferences, fishermen's catch rates on either side of a temperature frontal zone, or at a given depth at different locations within a 2°x5° region might be significantly different, but the limits of available environmental data make it impossible to account for factors on such small scales. In an analogous manner, the limits of the gear configuration (HPB) data (5°x5° region and monthly period) make it impossible to account for the fact that fishermen often attempt to place their effort at locations and depths where they

expect to maximize their catch rates of a given species. Finally, lacking the information necessary to model hook depth distributions in the plethora of hydrographic conditions in which the gear may be deployed, and which can influence hook depth on individual longline sets, it was assumed the modified catenary curve model holds for all sets. This does not account for the fact that individual sets, which occur on scales of 10s of kms and days, experience localized currents and hydrographic structure which may impact the fishing depth of hooks. Nevertheless, the scale on which assumptions were required in this application are insignificant in comparison to those that have previously been required. Contrast these relatively small geographical, temporal and depth averaging scales with those of Suzuki (1989), wherein for each of the three species of Pacific marlin it was necessary to standardize catch rates using the average of the 1975 to 1985 annual estimates of "the ratio of average hook rate of deep longlining to that of regular longlining" within eight large geographical regions, each including anywhere from about 22 to 48 areas of 5° latitude by 5° longitude. The estimates of catch rates developed herein (CPUSE) are preferable to estimates obtained from such approaches. Recall that there are no independent estimates of the relative abundance of blue marlin with which to calibrate our model. However, we have undertaken studies to examine the relationships among the distributions of marlins based on CPUNE and the estimates of distributions of ocean productivity and hydrographic conditions. In addition to expanding our knowledge of the ecology of marlins, such investigations may provide quasi-tests of the results obtained in this particular application of our new method.

The annual relative abundance for the total Pacific Ocean was examined for the 1971-1989 period using catch rates by incorporating estimates from both the full data sets and the additional partial data sets and estimates available for the 1971-1978 period. Linear regression analyses were used to provide a simple demonstration of differences between series based on CPUNE and CPUSE. Neither the area-weighted nor the effort-weighted estimates of catch rates of blue marlin based on CPUNE evidenced an increasing or decreasing trend. However, the respective estimates based on CPUSE did show increasing levels during the period (Table 2, and Figures 6 and 7). This increasing trend in the annual catch rate estimates, which appears to start shortly after the 1975 shift to deep longline gear, was not an a priori hypothesis, but it should not be considered entirely unexpected. Blue marlin are generally not a target of this major component of Pacific fishing effort, as previously noted, and the pre-1975 distribution of regular longline effort placed more hooks in the upper ocean zones, where blue marlin distributions are concentrated, than did the post-1974 deep-longline effort. This comparative difference in nominal effort strata with respect to catch strata could easily be considered a contributor to the observed upward trends, *i.e.*, the change in gear configuration effectively lowered fishing effort "targeted" at blue marlin, which was followed by increasing abundance levels that, in part, might be attributed to this reduction in effective fishing effort. These results should not be interpreted as a statement of the status of blue marlin stocks in the Pacific, however, the authors are incorporating CPUSE in investigations of stock status.

Although the behavioral and physiological basis for formulation of the population distribution function employed has been well established (Brill *et al.*, 1993), applicability of the distribution function to fish of various sizes can be questioned. Block *et al.* (1992a) noted the small size heater organ of the blue marlin brain and the relatively narrow range (< 5°C) of temperature excursions they experience. In comparison, they noted the larger relative size of the organ in swordfish and their excursions across wide temperature ranges (up to 19°C in 30 to 60 minutes). If analogous intraspecific differences in excursions are found, as a result of developmental state of heater organs with respect to other tissue or organ development or condition, or with respect to size, then this standardization methodology may be structured to account for such differences.

CONCLUSION

The methodology developed and illustrated herein is applicable to a wide range of problems requiring the standardization of effort used in CPUE statistics. It has been applied to blue marlin (shown herein), striped marlin (current work by the authors), and swordfish populations (Hinton and Deriso, In Press), and the requisite data exist to apply the methodology to other species (*e.g.*, bigeye tuna, *Thunnus obesus*, and yellowfin tuna, *T. albacares*). The CPUE obtained from this methodology may be directly used in preference to other CPUE measures in various models. For example, factors in a GLM that had accounted for variation that was subsequently removed by f_e might be expected to show reduced levels of significance. This could provide an opportunity for inclusion of other factors, such as those previously exhibiting low significance or those which might not have been considered due to concerns about overparameterization. Punsly and Nakano (1992) noted that in their GLM model (which was used to standardize yellowfin and bigeye tuna longline hook rates to estimate annual abundance) the “depth of the fish, resulting from variations in vertical thermal structure (Green, 1967), oxygen level, or food availability, could have a greater effect on hook rates than does abundance.” Including limits for such factors in P and using f_e would be superior to using f_n and could provide significant improvement in this GLM and other models.

Data and conditions suitable for application of this methodology may be found for other species and situations, well outside the realm of pelagic fisheries oceanography. The minimal requisite data are: (1) an estimate, independent of catch and effort, of the distribution of the population with respect to limiting conditions in its range, (2) an estimate of the distribution of the limiting conditions within the range, (3) an estimate of the distribution of nominal sampling effort with respect to the conditions, and (4) the total catch resulting from the nominal effort.

ACKNOWLEDGMENTS

The following reviewed this work at various points in its development and provided helpful suggestions for its improvement: William H. Bayliff, Christofer H. Boggs, Richard W. Brill, Martín Hall, and Cleridy Lennert. We thank Barbara A. Block and Richard Brill for acoustic telemetry data, and Richard for use of his computer programs. We thank Warren White for hydrographic data. I (Hinton) thank the members of my doctoral committee at Scripps Institution of Oceanography: Richard H. Rosenblatt, Paul E. Smith, Richard T. Carson, David M. Checkley, Richard B. Deriso, and Dean H. Roemmich for their assistance and support.

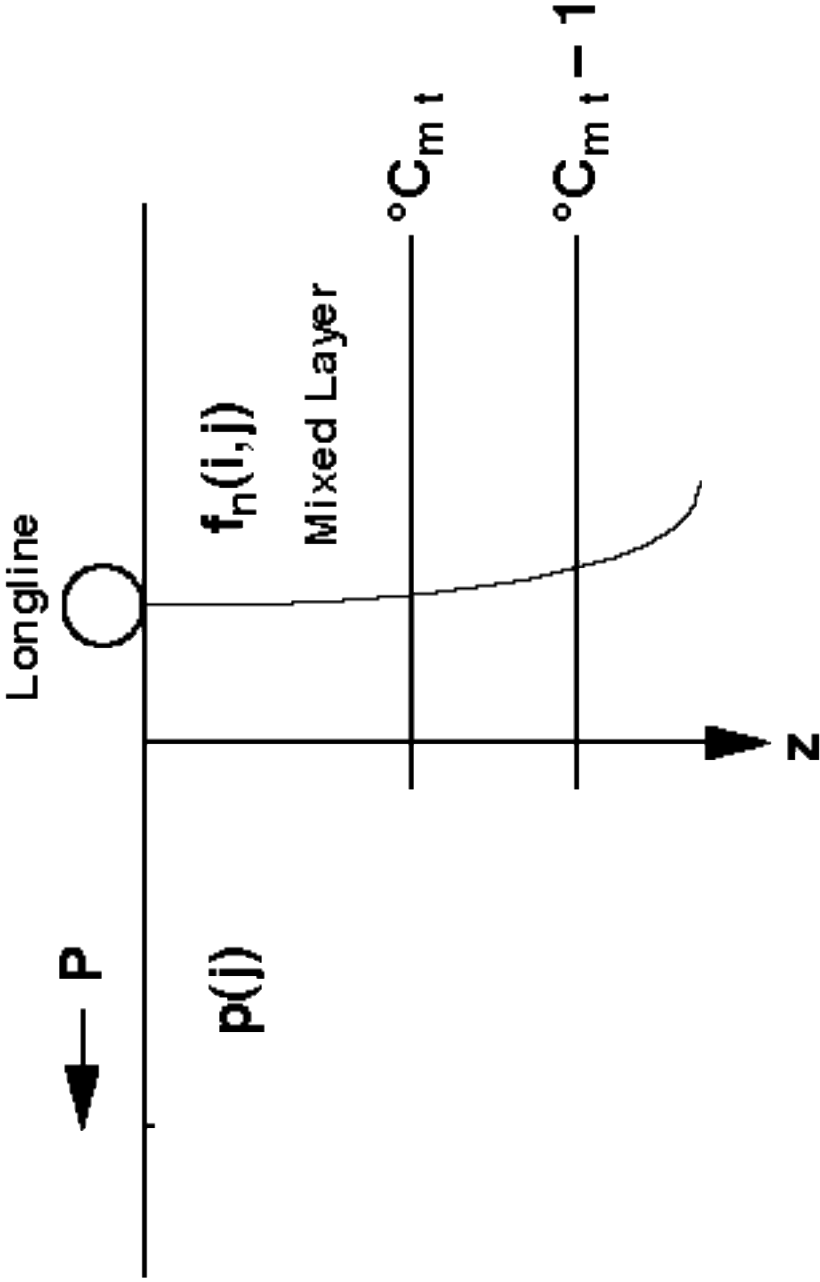


FIGURE 1. Schematic of longline fishing gear within the context of the oceanographic environment and a species distribution.
FIGURA 1. Diagrama esquemático del arte de pesca palangrero en el contexto de un ambiente oceanográfico y la distribución de una especie.

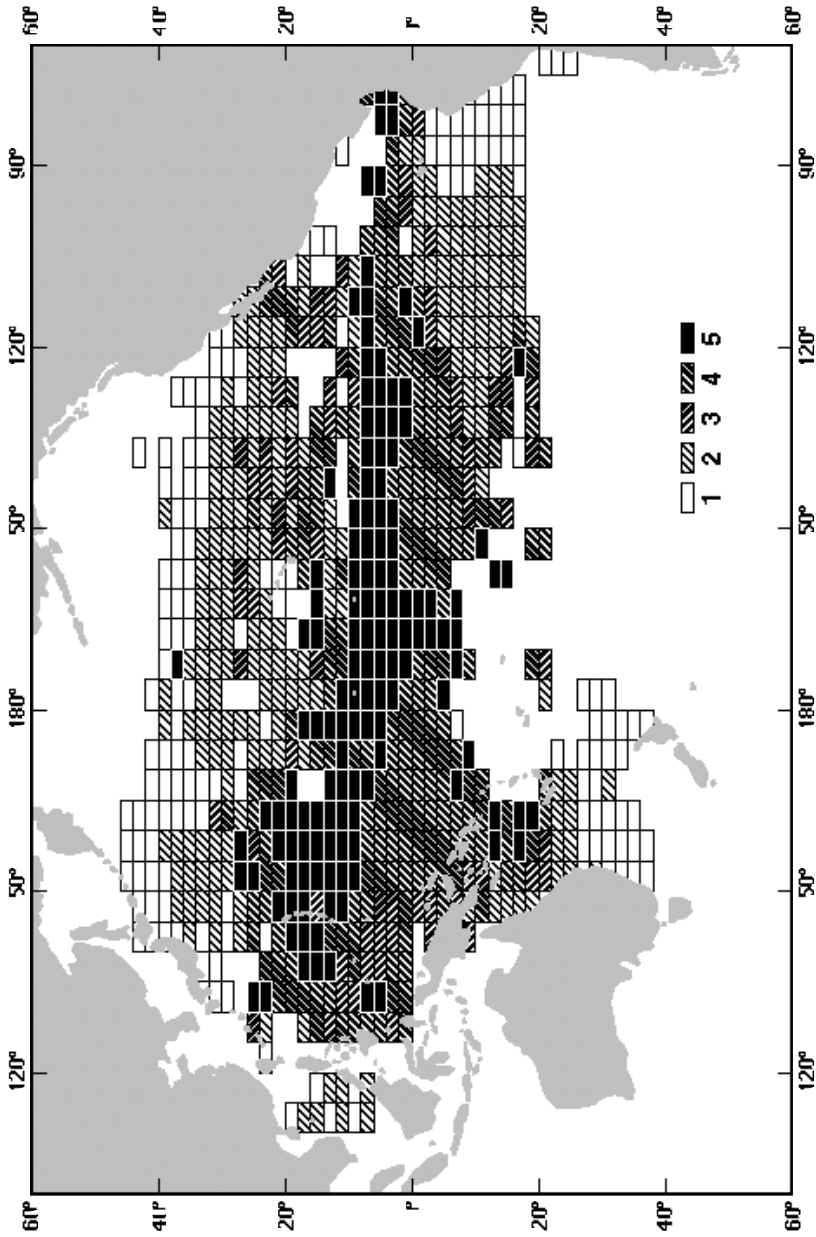


FIGURE 2. Blue marlin average catch-per-unit-nominal-effort (CPUNE) area rankings for the September-October period, 1979-1989. Area rankings are: (1) CPUNE = 0 and decile 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decile 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

FIGURA 2. Clasificación de las áreas por unidad de esfuerzo nominal (CPUNE) media de marlín azul correspondiente al bimestre de septiembre-octubre, 1979-1989. Las categorías son: (1) CPUNE = 0 y decil 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decil 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

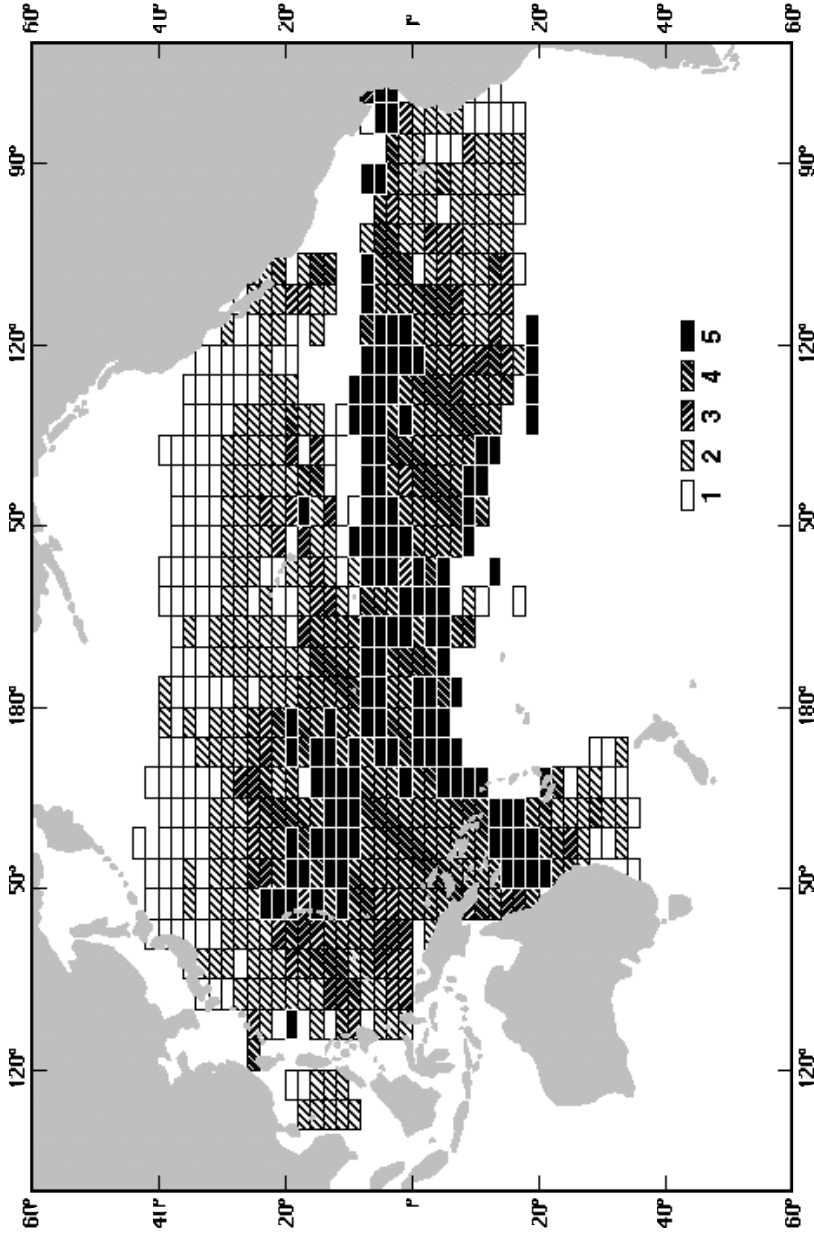


FIGURE 3. Blue marlin average catch-per-unit-nominal-effort (CPUNE) area rankings for the November-December period, 1979-1989. Area rankings are: (1) CPUNE = 0 and decile 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decile 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

FIGURA 3. Clasificación de las áreas por captura por unidad de esfuerzo nominal (CPUNE) media de marlín azul correspondiente al bimestre de noviembre-diciembre, 1979-1989. Las categorías son: (1) CPUNE = 0 y decil 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decil 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

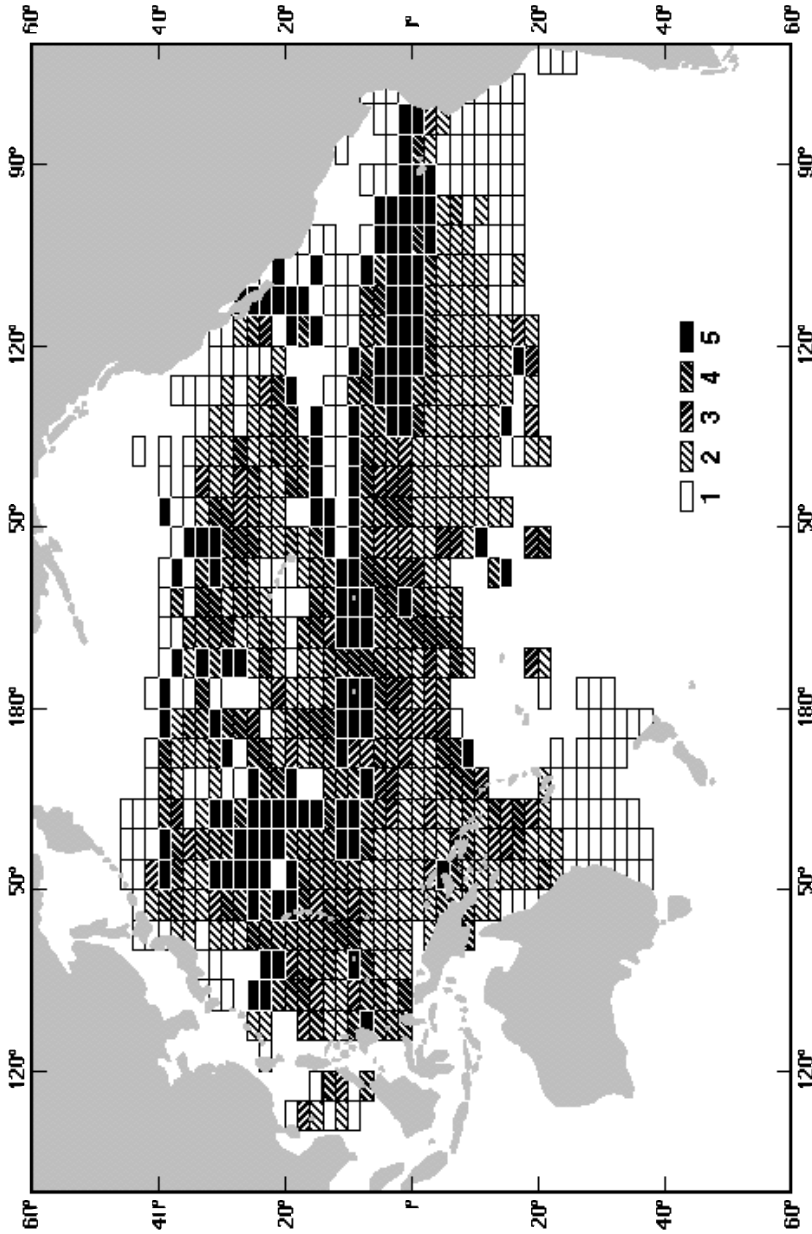


FIGURE 4. Blue marlin average catch-per-unit-standardized-effort (CPUSE) area rankings for the September-October period, 1979-1989. Area rankings are: (1) CPUSE = 0 and decile 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decile 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

FIGURA 4. Clasificación de las áreas por unidad de esfuerzo estandarizado (CPUSE) media de marlín azul correspondientes al bimestre de septiembre-octubre, 1979-1989. Las categorías son: (1) CPUSE = 0 y decil 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decil 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

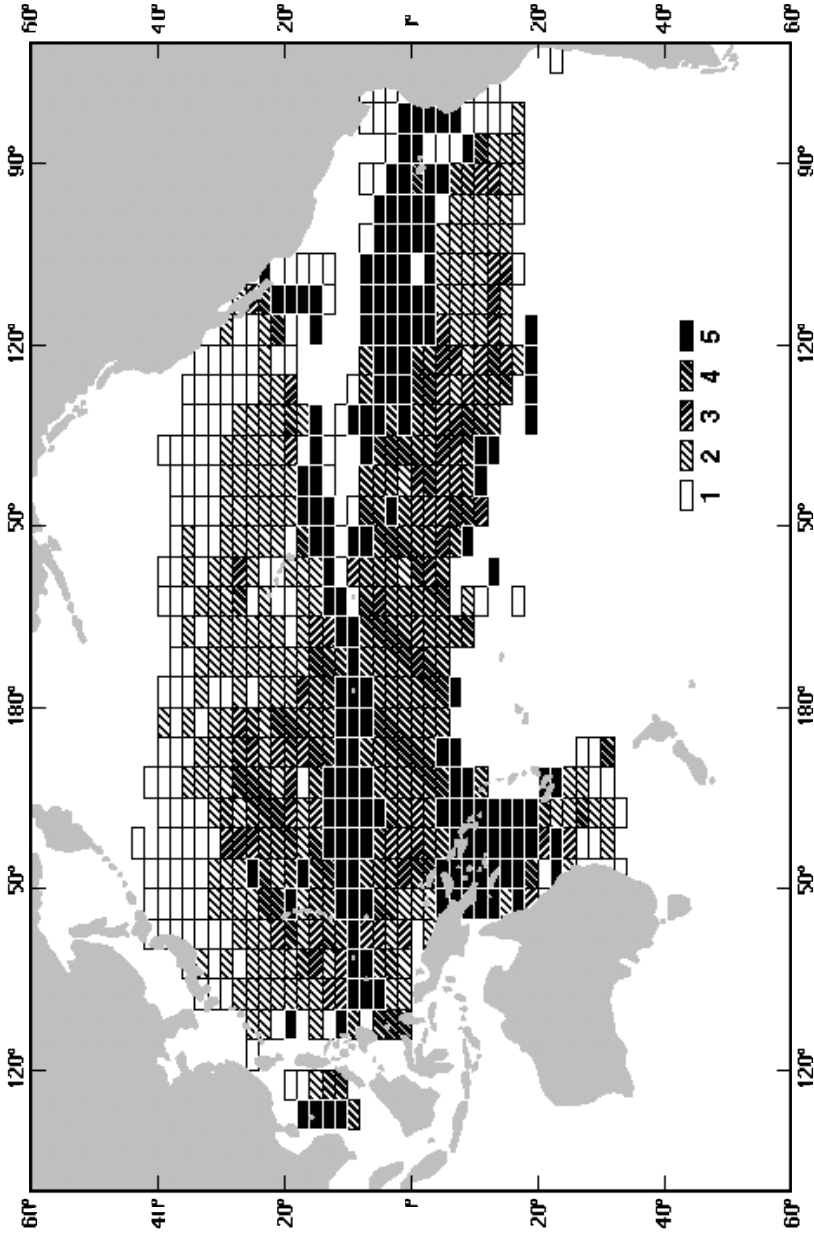


FIGURE 5. Blue marlin average catch-per-unit-standardized-effort (CPUSE) area rankings for the November-December period, 1979-1989. Area rankings are: (1) CPUSE = 0 and decile 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decile 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

FIGURA 5. Clasificación de las áreas por captura por unidad de esfuerzo estandarizado (CPUSE) media de marlín azul correspondiente al bimestre de noviembre-diciembre, 1979-1989. Las categorías son: (1) CPUSE = 0 y decil 1, (2) deciles 2 - 4, (3) decil 5, (4) deciles 6 - 8, and (5) deciles 9 - 10.

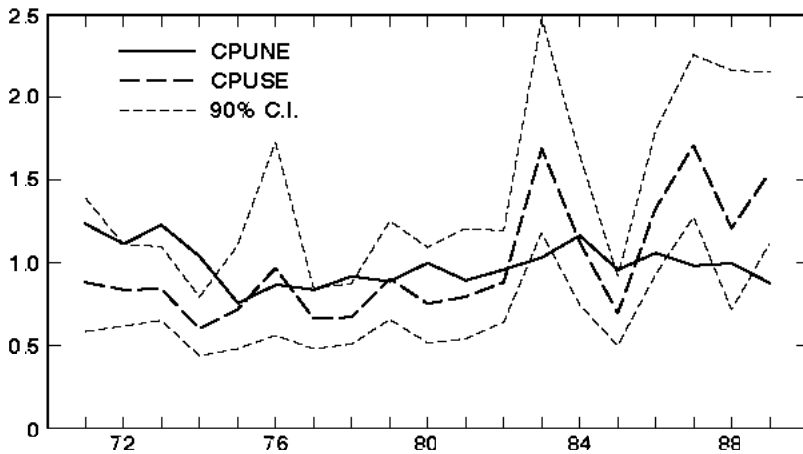


FIGURE 6. Annual abundance indices of Pacific blue marlin as determined using catch-per-unit-nominal (CPUNE) and -standardized [CPUSE, with bootstrapped 90-percent C.I. (BC_a method)] longline fishing effort. Area-weighting used to combine catch-rate estimates from 2° latitude by 5° longitude areas by bimonthly periods within years.

FIGURA 6. Indices de abundancia anual del marlín azul del Pacífico determinados usando captura por unidad de esfuerzo de pesca palangrero nominal (CPUNE) y estandarizado [CPUSE, con intervalos de confianza de 90% obtenidos con *bootstrap* (método BC_a)]. Se usó ponderación por área para combinar estimaciones de tasa de captura de áreas de 2° de latitud por 5° de longitud por bimestre en cada año.

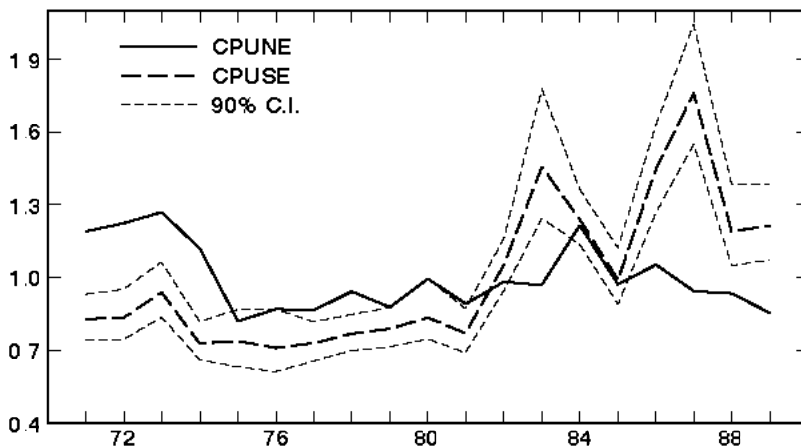


FIGURE 7. Annual abundance indices of Pacific blue marlin as determined using catch-per-unit-nominal (CPUNE) and -standardized [CPUSE, with bootstrapped 90-percent C.I. (BC_a method)] longline fishing effort. Effort-weighting used to combine catch-rate estimates from 2° latitude by 5° longitude areas by bimonthly periods within years.

FIGURA 7. Indices de abundancia anual del marlín azul del Pacífico determinados usando captura por unidad de esfuerzo de pesca palangrero nominal (CPUNE) y estandarizado [CPUSE, con intervalos de confianza de 90% obtenidos con *bootstrap* (método BC_a)]. Se usó ponderación por esfuerzo para combinar estimaciones de tasa de captura de áreas de 2° de latitud por 5° de longitud por bimestre en cada año.

TABLE 1. The percentage (P), and 90-percent confidence intervals (C.I.), of the population of blue marlin at temperatures (°C) relative to temperature of the mixed layer (°t) as determined by acoustic telemetry.

TABLA 1. El porcentaje (P), e intervalos de confianza de 90% (C.I.), de la población de marlín azul a temperaturas (°C) en relación a la temperatura de la capa mixta (°t) determinada por telemetría acústica.

°t	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
P	75.9	13.8	5.8	2.1	1.2	0.5	0.5	0.2	0.02
C.I.	69.9, 81.9	7.3, 20.5	4.3, 8.4	1.4, 3.2	0.5, 2.2	0.1, 1.2	0.03, 1.2	0.01, 0.3	0.01, 0.03

TABLE 2. Results of linear regressions of estimates of annual abundance indices of Pacific blue marlin versus year. Annual abundance indices were determined using catch-per-unit-nominal (CPUNE) and -standardized (CPUSE) longline fishing effort, with both area- and effort-weighting used to combine catch-rate estimates from 2° latitude by 5° longitude areas by bimonthly periods within years.

TABLA 2. Resultados de regresiones lineales de estimaciones de índices de abundancia anual del marlín azul del Pacífico contra año. Se determinaron los índices de abundancia anual usando captura por unidad nominal (CPUNE) y estandarizada (CPUSE) de esfuerzo de pesca palangrero, con ponderación por área y esfuerzo para combinar estimaciones de tasa de captura de áreas de 2° de latitud por 5° de longitud por bimestre en cada año. C.I.: intervalo de confianza; d.f.: grados de libertad.

CPUNE					
Area weighted. Regression Coefficient: -0.005, 95% C.I.: (-0.0164, 0.0068)					
Area ponderada. Coeficiente de regresión: -0.005, 95% C.I.: (-0.0164, 0.0068)					
		d.f.	SS	F	Significance-Significación
Regression-Regresión		1	0.0132	0.766	0.394
Residual		17	0.2920		
Effort weighted. Regression Coefficient: -0.009, 95% C.I.: (-0.0212, 0.0022)					
Esfuerzo ponderado. Coeficiente de regresión: -0.009, 95% C.I.: (-0.0212, 0.0022)					
		d.f.	SS	F	Significance-Significación
Regression-Regresión		1	0.0512	2.922	0.106
Residual		17	0.2979		
CPUSE					
Area weighted. Regression Coefficient: 0.041, 95% C.I.: (0.0171, 0.0652)					
Area ponderada. Coeficiente de regresión: 0.041, 95% C.I.: (0.0171, 0.0652)					
		d.f.	SS	F	Significance-Significación
Regression-Regresión		1	0.9640	13.042	0.002
Residual		17	1.2565		
Effort weighted. Regression Coefficient: 0.039 95% C.I.: (0.0201, 0.0579)					
Esfuerzo ponderado. Coeficiente de regresión: 0.039 95% C.I.: (0.0201, 0.0579)					
		d.f.	SS	F	Significance-Significación
Regression-Regresión		1	0.8673	18.957	<0.001
Residual		17	0.7778		

ESTANDARDIZACION DE ESTADISTICAS DE CAPTURA Y ESFUERZO USANDO RESTRICCIONES FISIOLÓGICAS, ECOLÓGICAS, O DE COMPORTAMIENTO Y DATOS AMBIENTALES, CON APLICACION A DATOS DE CAPTURA Y ESFUERZO DEL MARLIN AZUL (*MAKAIRA NIGRICANS*) DE LAS PESQUERIAS PALANGRERAS JAPONESAS EN EL PACIFICO

por

Michael G. Hinton y Hideki Nakano¹

RESUMEN

Se presenta una metodología para estandarizar el esfuerzo de pesca que incorpora información sobre las restricciones ecológicas, fisiológicas, o de comportamiento de una especie y la distribución de las condiciones ambientales. La metodología puede ser aplicada a una amplia gama de problemas que requieren la estandarización del esfuerzo de muestreo usado en las estadísticas de captura por unidad de esfuerzo (CPUE). La CPUE estandarizada obtenida con esta metodología puede ser usada directamente en preferencia a otras medidas de CPUE en varios modelos. Los datos mínimos necesarios son: (1) una estimación, independiente de la captura y el esfuerzo, de la distribución de la población con respecto a condiciones limitantes en el área que ocupa, (2) una estimación de la distribución de las condiciones limitantes en esa área, (3) una estimación de la distribución del esfuerzo nominal de muestreo con respecto a las condiciones, y (4) la captura total. La metodología produce estimaciones de abundancia relativa en regiones definidas, aun si solamente parte de la región es muestreada por el esfuerzo. Se presenta una aplicación a los datos de captura y esfuerzo de la pesquería palangrera japonesa. En esta pesquería han ocurrido cambios importantes en la configuración del arte de pesca en las últimas décadas, y estos cambios deben ser tomados en cuenta en las estimaciones de abundancia relativa. Se demuestra que las estimaciones de las distribuciones espacial y temporal de la abundancia relativa del marlín azul (*Makaira nigricans*) en el Océano Pacífico calculadas a partir de CPUE estandarizada son significativamente diferentes de aquellas basadas en CPUE nominal. Los análisis indican una tendencia ascendente en la abundancia del marlín azul durante el periodo de 1974-1989, fenómeno no evidente en los datos de CPUE nominal y no identificado en análisis publicados anteriormente. El aumento sigue, y se atribuye al menos parcialmente a, cambios en la configuración del arte de pesca, que redujeron el esfuerzo de pesca efectivo en el hábitat del marlín azul.

Key words: CATCH/EFFORT, STANDARDIZATION, METHODOLOGY, FISHING EFFORT, ENVIRONMENTAL FACTORS, LIMITING FACTORS, INTERACTIONS, LONGLINING, *MAKAIRA NIGRICANS*, PACIFIC OCEAN

INTRODUCCION

En este trabajo se describe un método que incorpora directamente restricciones básicas fisiológicas, ecológicas, o de comportamiento y datos ambientales en las estadísticas de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) usadas para estimar la abundancia relativa de una población. Para demostrar su utilidad, el método fue aplicado a datos de captura y esfuerzo del marlín azul (*Makaira nigricans*) de las pesquerías palangreras japonesas faenando en el Océano Pacífico. Utilizar estadísticas de CPUE en la investigación y administración ecológicas requiere normalmente supuestos de mezcla aleatoria y distribuciones uniformes de la población, difíciles de verificar. La metodología aquí descrita puede ser usada para relajar estos supuestos. En las

¹ Dirección actual: National Research Institute of Far Seas Fisheries, 7-1, Orido 5 Chome, Shimizu-shi, Shizuoka, 424 Japón

pesquerías, las estadísticas de captura son a menudo la única medida de la presencia y abundancia de los peces. Esto vale especialmente en el caso de los peces de pico, inclusive el marlín azul, para los cuales es necesario usar datos de varias pesquerías y configuraciones de artes de pesca para obtener estimaciones de las distribuciones espaciales y temporales a gran escala de estas especies panoceánicas. Ya que no se dispone de estimaciones independientes de los niveles de población del marlín azul para calibrar modelos basados en estadísticas pesqueras, la elaboración de metodologías y técnicas adecuadas de análisis de datos es de importancia primaria en los estudios de la ecología y condición de la población de la especie.

Esta bien establecido el uso de estadísticas de captura y esfuerzo en la estimación de la abundancia, y la ecuación general de captura proporciona las bases de esta estimación: $C = N * q_a * f_n$; donde C = captura, N = abundancia promedio en un área dada durante un cierto periodo de tiempo, q_a = coeficiente de capturabilidad, y f_n = esfuerzo nominal de pesca. Cuando se despeja N , la estadística de captura por unidad de esfuerzo nominal (CPUNE) resultante es proporcional a la abundancia media si una población esta distribuida homogéneamente y si todas las unidades de esfuerzo son iguales y proporcionales a la tasa de pesca. Rara vez se logran estas condiciones (Ricker, 1975). Shomura (1980) notó que para las artes palangreras el supuesto subyacente de que la tasa de captura es proporcional a la abundancia media del stock es sensible a “modificaciones en la construcción o uso del arte, cambios de la estrategia de pesca o especie objetivo de la misma, y cambios en la vulnerabilidad de los peces al arte...” A pesar de ser el blanco de un segmento relativamente pequeño de la pesquería palangrera, la captura incidental de marlines ocurre en muchas pesquerías dirigidas hacia los atunes. Históricamente, la pesquería palangrera cala los anzuelos en las capas superiores del océano, donde la especie objetivo primaria era el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), pero en las dos últimas décadas porciones significativas del esfuerzo han sido trasladadas de zonas oceánicas someras a otras más profundas, a fin de capturar los atunes patudo (*T. obesus*) que nadan a mayor profundidad y son de mayor valor económico (Suzuki, 1989). Suzuki *et al.* (1977) demostraron que para los palangres someros y de profundidad la diferencia en la CPUNE de marlines puede ser significativa.

Se reconoce desde hace tiempo que los factores ambientales afectan las estadísticas de CPUE (Blackburn, 1965; Green, 1967; Hanamoto, 1974; Sharp, 1978; Sund *et al.*, 1981). Green (1967) notó que el uso de datos de la termoclina probablemente “mejoraría la estimación de abundancia de atunes basada en datos de captura y esfuerzo” ya que permitiría diferenciar entre variaciones en la abundancia y variaciones en la disponibilidad, situación que podría surgir cuando las distribuciones verticales de los atunes son afectadas por la temperatura. Esfuerzos previos por explicar la variabilidad que resulta de factores ambientales incorporaron a veces efectos geográficos y estacionales (por ejemplo, Honma, 1974; Punsly, 1987; Suzuki, 1989; Punsly y Deriso, 1991) y a veces incluyeron directamente variables ambientales (por ejemplo, Allen y Punsly, 1984; Forsbergh, 1989; Punsly y Fiedler, 1995). Modelos lineales generales (MLG), que pueden incluir factores ambientales, han sido usados con éxito (Allen y Punsly, 1984), pero Punsly y Nakano (1992) notaron que tasas de captura de palangre estandarizadas usando un MLG podrían no estar relacionadas a la abundancia debido a variabilidad en las distribuciones de profundidad de los peces que resulta de variación en la estructura térmica.

Estudios de telemetría ultrasónica (Yuen *et al.*, 1974; Jolley e Irby, 1979; Holts y Bedford, 1990; Holland *et al.*, 1990; Block *et al.*, 1992a; Block *et al.*, 1992b) y la distribución observada de los peces por posición del anzuelo en los palangres (Yurov y Gonzales, 1971; Saito y Sasaki, 1974; Suzuki *et al.*, 1977; Hanamoto, 1979; Nishi, 1990; Boggs, 1992) demuestran que los marlines y peces vela tienen distribuciones de profundidad restringidas. Mediante una comparación de las distribuciones de profundidad del marlín rayado (*Tetrapturus audax*) medidas frente a Hawaii y

California con las temperaturas locales, Brill *et al.* (1993) demostraron que no es la temperatura absoluta que limita la distribución local del marlín rayado. Es más bien que su distribución esta limitada a profundidades a las cuales la temperatura no están a más de 8°C por debajo de la temperatura de la capa de mezcla (TCM). Esto refleja alguna limitación del comportamiento o restricción fisiológica. Restricciones de este tipo son comunes: por ejemplo, en el caso de los atunes, tanto la temperatura como el oxígeno son factores que afectan su distribución (Brill, 1994).

ESTANDARDIZACION DEL ESFUERZO—EL MODELO

Se tratan las desviaciones de los supuestos básicos para el uso de la CPUNE como medida de la abundancia de una población definiendo el esfuerzo efectivo (estandarizado) (f_e) como función de (1) los requisitos o comportamiento fisiológicos o ecológicos limitantes de una especie (P), (2) la distribución de las condiciones ambientales (H) en el área ocupada por la especie, y (3) la distribución de esfuerzo nominal (no estandarizado) (f_n).

Para la pesca que explota una población homogéneamente distribuida en una región i , la captura es proporcional a la densidad media del stock durante un cierto periodo:

$$C(i) = q_a * N(i) * f_n(i) * A(i)^{-1} \quad (1)$$

donde C , q_a , N y f_n tienen el significado arriba detallado, A = área, y i son subregiones de A tales que para $i = (1, \dots, n_i)$, $A(\bullet) = \Sigma A(i)$, y $N(\bullet) = \Sigma N(i)$ (ver Gulland (1969), ecuación 4.1 y comentarios subsiguientes). La elaboración metodológica de Gulland (1969) nota que "... la captura que [una cierta arte] extrae de una cierta densidad de peces ..." puede ser descrita en términos de el "área o volumen de agua." Por lo tanto, se puede formular (1) con volumen $V(i) = A(i) * h(i, \bullet)$, donde $h(i, \bullet)$ es la profundidad de la columna de agua en $A(i)$ de tal forma que para las zonas $h(i, j) = (1, \dots, n_j)$, $h(i, \bullet) = \Sigma h(i, j)$ y q_v = coeficiente de capturabilidad para la formulación en volumen (por contraste con q_a), como:

$$C(i) = q_v * N(i) * f_n(i) * V(i)^{-1} = q_v * N(i) * f_n(i) * (A(i) * h(i, \bullet))^{-1}.$$

En particular, la captura en cualquier zona de profundidad (j) de la subregión (i) puede ser formulada como:

$$C(i, j) = q_v * N(i, j) * f_n(i, j) * (A(i) * h(i, j))^{-1}.$$

Si $p(j) = N(i, j) * N(i, \bullet)^{-1}$, la ecuación de captura puede ser formulada como sigue:

$$C(i, j) = q_v * N(i, \bullet) * p(j) * f_n(i, j) * (A(i) * h(i, j))^{-1}$$

Nótese que esta ecuación de captura requiere que la población esté distribuida homogéneamente en el estrato (i, j), y no por la subregión entera (i).

Defínase el esfuerzo efectivo como $f_e(i, j) = f_n(i, j) * p(j) * h(i, j)^{-1}$. Tras sumar la ecuación de captura sobre las zonas de profundidad, la estimación directa de la densidad media de la población en A es:

$$N(i, \bullet) * A(i)^{-1} = C(i, \bullet) * (q_v * f_e(i, \bullet))^{-1}$$

Se estima así la densidad promedio de la población en $A(i)$ usando $C(i, \bullet)$ y $f_n(i, j)$ ponderados por factores proporcionales a la fracción de la población en el $h(i, j)$ e inversamente proporcionales al volumen, es decir, factores proporcionales a la densidad de la población en los volúmenes $V(i, j)$. Ya que $p(j) = 0$ cuando $N(i, j) = 0$, el esfuerzo afuera de esta área ocupada por la población no sesga esta estimación de la densidad, como puede ocurrir por ejemplo cuando los anzuelos en un palangre pescan a profundidades mayores a las que alcanza una especie, pero son incluidos en las estimaciones basadas en número total de anzuelos calados. Y finalmente, la estimación de la densidad promedio es aplicable no solamente a las zonas muestreadas, sino más bien a la subregión, consideración importante ya que los anzuelos de palangre a menudo no muestrean todas las profundidades ocupadas por una especie.

A fin de demostrar que esta estandarización funciona de la forma esperada, considérese el caso especial en el cual $p(j) = h(j) * h(\bullet)^{-1}$, es decir, la población se encuentra distribuida de forma homogénea en las zonas n_j . Bajo esta condición, la densidad promedio de la población en A es:

$$\begin{aligned} N * A^{-1} &= C(\bullet) * (q_v * \Sigma f_n(j) * (h(j) * h(\bullet)^{-1}) * h(j)^{-1})^{-1} \\ &= C(\bullet) * h(\bullet) * (q_v * \Sigma f_n(j))^{-1}, \end{aligned}$$

y dividir ambos lados de la ecuación por $h(\bullet)$ arroja:

$$N * V^{-1} = C(\bullet) * (q_v * f_n(\bullet))^{-1}$$

Queda ahora claro que para cualquier población heterogéneamente distribuida cuya distribución dentro de su área (S) es conocida con respecto a H y P , la captura puede ser expresada de la forma:

$$C(S) = q * N(S) * f_e(P, H, f_n) * S^{-1}$$

En la aplicación al marlín azul, la resolución de los datos hidrográficos disponibles (Steve Pazan, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA, com. pers., 1992) lleva a una resolución espacial de 2° de latitud por 5° de longitud para las subregiones i y temporal de bimestre. Estas fueron por lo tanto las dimensiones espaciotemporales en las cuales se estimaron $C(i, \bullet)$ y $f_n(i, \bullet)$. Las distribuciones de $f_n(i, j)$ fueron estimadas a partir de datos de configuración de arte de pesca. El hábitat $h(i, j)$ del marlín azul fue delimitado por incrementos de 1° C en la temperatura relativa a la TCM, y $p(j)$ fueron estimados usando los resultados de estudios de telemetría ultrasónica de profundidad.

DATOS Y METODOS

Datos de captura y esfuerzo

Los datos de captura y esfuerzo de la pesquería palangrera japonesa (Figura 1) usados en el presente estudio fueron reunidos por el Gobierno del Japón de más del 90% de los barcos palangreros de matrícula japonesa faenando en el Pacífico. Estos datos de bitácora fueron compilados posteriormente por el National Research Institute of Far Seas Fisheries en Shimizu (Japón). Los formatos de los datos disponibles de la pesquería eran: (1) estimaciones de captura y esfuerzo totales en áreas de 5° de latitud por 5° de longitud por mes (datos 5x5), (2) captura y esfuerzo mensuales 5x5 por número de anzuelos por canasta (datos de HPB, o *hooks per basket*), y (3) captura y esfuerzo en áreas de 1° de latitud por 1° de longitud por mes (datos 1x1).

Los datos de captura y esfuerzo totales 5x5 incluían el número de anzuelos calados, el número de caladas realizadas y el número de peces capturado por especie. Los datos 5x5 no incluyen información sobre la configuración del arte de pesca. Se elaboraron los datos 5x5 usando información de una porción de las bitácoras de pesca de los barcos y de los datos de descarga del pescado, y luego ajustando estas muestras de datos usando factores de corrección de muestra para estimar la captura y esfuerzo totales con una resolución de 5° de latitud por 5° de longitud por mes. Constituyen la mejor estimación para esta pesquería del número total de anzuelos calados, caladas realizadas, y captura.

Antes de 1975, casi todos los palangres japoneses pescaban con de cuatro a siete anzuelos entre flotadores (la canasta) en la línea madre. Esta configuración es llamada comúnmente palangre regular (Suzuki *et al.*, 1977; Suzuki y Kume, 1982; Nakano y Bayliff, 1992). El palangre profundo, que apareció en las pesquerías del Pacífico occidental ecuatorial en 1974 (Nakano y Bayliff, 1992) y se difundió por toda la pesquería en 1975, usa mayores cantidades de anzuelos por canasta y pesca a mayor profundidad en la columna de agua (Suzuki *et al.*, 1977).

La toma de datos HPB comenzó en 1975. Incluyen, para cada valor de HPB, el número de anzuelos calado, el número de caladas realizadas, y la cantidad de pescado capturado, por especie. Los valores HPB variaron de 4 a 15. Estos datos constituyen una muestra representativa de la pesquería y proporcionan la mejor estimación de la distribución de HPB para esta pesquería. La mejor estimación de la distribución de HPB para los palangres regulares antes de 1975 proviene probablemente de los datos de HPB de 1975 a 1976, ya que la proporción de palangres profundos usados ha aumentado desde 1975 y la proporción de valores de HPB en el rango de cuatro a siete (arte regular) permaneció relativamente constante hasta 1977. Por lo tanto, ya que no existen datos de muestra del periodo antes de 1975, se estimó la distribución del esfuerzo de palangre regular en HPB correspondiente a este periodo usando el porcentaje relativo de los datos HPB de 1975 y 1976 agrupados para valores de HPB en el rango de cuatro a siete. Estos porcentajes fueron 5,7%, 41,6%, 44,1%, y 8,6% para HPB de cuatro a siete, respectivamente.

Los datos de captura y esfuerzo 1x1, al igual que los de HPB y de captura y esfuerzo totales 5x5, incluían el número de anzuelos calado, el número de caladas realizadas, y la captura por especie. Al igual que los datos HPB, era una muestra y no una estimación de captura y esfuerzo totales, y al igual que con los datos de captura y esfuerzo totales, no incluía información sobre la configuración del arte de pesca. Estos datos proporcionan la mejor estimación disponible a pequeña escala geográfica de la distribución de captura y esfuerzo en esta pesquería.

Los datos de captura y esfuerzo 1x1 y HPB fueron usados para distribuir los datos de captura total 5x5 en los estratos pertinentes antes de estandarizar el esfuerzo. Se efectuó esta distribución de datos mensuales en estratos espaciales distribuyendo primero los datos 5x5 por HPB, y luego por los datos 1x1. Se sumaron la captura y el esfuerzo totales 1x1 por mes y HPB resultantes para producir datos resueltos a 2° de latitud por 5° de longitud (datos 2x5) por bimestre por HPB. Los bimestres eran [enero-febrero, ..., noviembre-diciembre] para concordar con los datos oceanográficos.

Finalmente, para resolver los datos de esfuerzo a profundidad de anzuelos, se supuso un modelo de curva catenaria en el cual se consideró la profundidad del anzuelo ser el 85% de la profundidad de pesca derivada para cada anzuelo (Suzuki *et al.*, 1977). El ajuste de 85% compensa parcialmente el hecho que la profundidad medida de los anzuelos es inferior a la derivada. Este método produjo estimaciones de profundidad de los anzuelos dentro del rango de las observaciones (Saito, 1975; Nishi, 1990; Boggs, 1992) y estimaciones de otros estudios (Wright, 1980; Gong *et al.*, 1989).

Tiempo a temperatura—distribución vertical de la población de peces

La distribución vertical de la población del marlín azul fue estimada a partir de datos de telemetría acústica (Richard W. Brill, NMFS, Honolulu, Hawaii, EE.UU., com. pers., 1993; ver Holland et al. (1990); y Barbara A. Block, Stanford University, Pacific Grove, California, EE.UU., com. pers., 1991; ver Block *et al.* (1992a)). Los datos de telemetría proporcionados por Brill para tres marlines azules frente a Hawaii en 1988 incluían los registros de batitermógrafos desechables (XBT, de *expendable bathythermograph*) y registros de rastreo de profundidad de los peces a tiempo. El peso de estos peces varió de unos 60 a más de 160 kg. Se determinó el tiempo a temperatura en relación a la temperatura de la capa de mezcla (TCM) para cada registro de rastreo usando un programa de computadora (Brill, com. pers., 1993) que integra los datos de rastreo de los peces en los perfiles de temperatura derivados de los datos de XBT. Los datos de telemetría proporcionados por Block para seis marlines azules marcados frente a Hawaii en 1989 estaban en la forma de gráficos de profundidad de los peces a tiempo, con perfiles isotérmicos superpuestos. El peso de los peces varió de unos 60 a 220 kg. Los registros de profundidad fueron digitalizados usando UN-SCAN-IT™ (ver. 2.0) para introducirlos al programa arriba descrito. Se promediaron los datos de los nueve peces individuales para obtener una estimación específica para la especie del tiempo a temperatura relativo a la TCM (Δt) en el rango de $\Delta t = (0, -1^\circ\text{C}, -2^\circ\text{C}, \dots, -8^\circ\text{C})$. Esta distribución fue transformada directamente en una distribución de proporciones de la población en temperatura-espacio (Tabla 1) bajo el supuesto de que los peces muestreados eran representativos de la especie. Los intervalos de confianza de 90% para los proporciones fueron estimados usando el método de *bootstrap* corregido por sesgo y acelerado (*bias-corrected and accelerated*) (BC_a) (Efron y Tibshirani, 1993) con 1.200 réplicas y un tamaño de remuestra igual al número de peces (nueve) rastreados.

Datos hidrográficos

Distribuciones de Δt a una resolución de 2×5 por bimestre fueron preparadas a partir de datos de temperatura a profundidad (TZ) (Warren White, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, EE.UU., com. pers., 1995) con una resolución de profundidad de (0, 20, ..., 80, 120, ..., 240, 300, 400) m. Se disponía de estos datos mensuales para el periodo de 1971 a 1989. El TZ bimestral fue estimado como el promedio de las observaciones mensuales a cada profundidad. Se definió la profundidad de la capa de mezcla como la profundidad a la cual la temperatura era 1°C inferior a la temperatura superficial del mar, el intervalo usado por Brill *et al.* (1993). Se estimaron las profundidades de las isotermas a partir de los datos bimestrales de TZ por interpolación lineal entre las profundidades de las temperaturas más cercanas conocidas. En casos donde faltaban datos de TZ para un área y bimestre específicos, se usó la climatología respectiva. En unos pocos casos no ocurrió el rango completo de isotermas t en la columna de agua de 400 m. Cuando la temperatura más baja en los 400m superiores de la columna de agua fue superior a TCM -8°C [es decir, cuando $\Delta t > -8^\circ\text{C}$], solamente aquella porción de la población que se esperaba estar presente en esa región de temperatura [determinado usando las $p(j)$] estaba sujeta a esfuerzo de pesca. Cuando faltaban datos de temperatura debajo de una cierta profundidad z , se supuso que aquella porción de la población distribuida a profundidades superiores a z estaba homogéneamente distribuida en $[z, 400 \text{ m}]$.

Indices anuales de abundancia relativa

La abundancia relativa en una región geográfica grande puede ser estimada combinando las estimaciones de densidad obtenidas para cada $A(i)$ usando área o una función del esfuerzo

como factores de ponderación (Gulland, 1969; Quinn *et al.*, 1982). Se presentan los resultados de ambos métodos. Con respecto a los factores de ponderación basados en área, el área de las regiones de 2° de latitud por 5° de longitud varía de unos 9.600 km² para las zonas entre latitud 38° y 40° a unos 12.300 km² para aquellas entre el ecuador y latitud 2°. Para factores de ponderación basados en una función del esfuerzo, se usó la raíz cuadrada del esfuerzo. El número de observaciones individuales de CPUSE en un año, en estratos de área de 2° de latitud por 5° de longitud por bimestre, varió de unas 1.850 a 2.400. El intervalo de confianza de 90% para los índices de abundancia anual basados en CPUSE fueron estimados usando el método de BCa con 5.000 réplicas y un tamaño de remuestra igual al número de observaciones en un año.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para ilustrar el método, se presentan aquí las distribuciones promedio de 1979-1989 de las tasas de captura de marlín azul correspondientes a dos bimestres representativos y consecutivos. Se eligieron los años 1979-1989 para las comparaciones de las distribuciones basadas en la captura por unidad de esfuerzo nominal (CPUNE) y captura por unidad de esfuerzo estandarizado (CPUSE) porque se disponía de bases de datos completas de pesquerías y oceanográficas para ese periodo.

En las Figuras 2 y 3 se presentan las distribuciones de la CPUNE en rangos de marlín azul correspondientes a los bimestres de septiembre-octubre y noviembre-diciembre, respectivamente. No habían esencialmente diferencias entre las distribuciones. El bimestre de septiembre-octubre es el periodo de condiciones oceanográficas más cálidas en las regiones norteñas del Pacífico, debido a la demora en la transferencia de calor de las regiones más sureñas. Es el periodo en el cual deberían ser máximos los límites norteños y occidentales de la distribución del marlín azul, que se trasladan hacia occidente y a latitudes mayores con el calentamiento del agua (ver Howard y Ueyanagi, 1965). Abarca los últimos meses de actividad de desove veraniego/otoñal del marlín azul en una gran región del norte que se extiende desde las aguas frente al Japón (Howard y Ueyanagi, 1965; Nishikawa *et al.*, 1985) hasta el norte de Hawaii (Matsumoto y Kazama, 1974; Nishikawa *et al.*, 1985; Hopper, 1990).

En las Figuras 4 y 5 se presentan las distribuciones de las CPUSE en rangos de marlín azul correspondientes a los mismos bimestres. Hay diferencias claras, tanto entre las estimaciones basadas en la CPUNE y aquellas basadas en la CPUSE, y entre los dos bimestres para las estimaciones basadas en la CPUSE. Se contrasta la distribución de marlín azul basada en CPUSE que se extiende hacia el oeste a una distancia considerable en el hemisferio norte durante el bimestre de septiembre-octubre (Figura 4) con aquella del mismo bimestre basada en la CPUNE (Figura 2). La distribución de septiembre-octubre basada en la CPUSE fue seguida por una distribución en noviembre-diciembre (Figura 5) que refleja un periodo de transición durante el traslado hacia este y sur de la distribución del marlín azul a su configuración de verano/otoño austral. En la distribución de noviembre-diciembre basada en la CPUSE, se contrasta la intensificación hacia el Pacífico oriental y sur (Figura 5), una región con un periodo pico de desove documentado durante diciembre-marzo (Nakano y Bayliff, 1992), con la distribución respectiva basada en la CPUNE (Figura 3). Este traslado estacional de norte a sur de unos 10° de latitud en la distribución del marlín azul está bien documentado, y las distribuciones promedio basadas en la CPUSE concuerdan bien con las distribuciones esperadas a partir de estudios anteriores (Howard y Ueyanagi, 1965; Kume y Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974); no se manifiestan bien estos cambios en las distribuciones basadas en la CPUNE. Las distribuciones promedio basadas en la CPUSE comparten una concordancia general con los datos de periodos y áreas de desove, con los cambios

documentados en los límites de distribución del marlín azul, y con los gráficos y descripciones de la distribución de las tasas medias de captura de estudios anteriores, a diferencia de las distribuciones correspondientes basadas en la CPUNE estimadas de datos de palangres profundos.

Alrededor del 75% de la distribución del marlín azul ocurre en la capa de mezcla (Tabla 1). La CPUNE de artes regulares y de esas regiones con pendientes verticales de temperatura relativamente altas y capa de mezcla poco profunda podrían ser bastante inesgadas en comparación con las estimaciones de abundancia de marlín azul. Sin embargo, en esas regiones con pendientes de temperatura más bajas y capa de mezcla más profunda, el sesgo sería negativo y subestimaría la abundancia, ya que gran parte de la población se encontraría distribuida debajo del arte de pesca y no sería muestreada. Se esperaría que la CPUNE estimada con datos de palangres profundos tendría un sesgo negativo en las regiones con pendientes verticales de temperatura relativamente altas y capa de mezcla poco profunda, ya que se incluiría en los análisis el esfuerzo ejercido afuera del área ocupada por la población. Sin embargo, es posible que brinde una estimación mejor que el arte regular bajo condiciones de pendiente de temperatura baja y capa de mezcla más profunda. Los límites geográficos de la distribución del marlín azul presentan generalmente las condiciones de capa de mezcla menos profunda y pendiente de temperatura más alta bajo las cuales el arte de palangre profundo demuestra el sesgo negativo máximo para una especie con distribución basada en la TCM, como es el marlín azul. Aunque no fue posible una sencilla reducción de las diferencias entre estimaciones basadas en la CPUSE y CPUNE, bajo estas condiciones no es sorprendente que las estimaciones de la CPUNE basadas en datos de palangres profundos (1979-1989) no hayan producido estimaciones satisfactorias de los límites y cambios de la distribución del marlín azul. Tampoco sorprende que bajo estas condiciones las estimaciones basadas en la CPUSE, tal como se nota arriba, sean más parecidas a las estimaciones de estudios anteriores, calculadas a partir de datos tasas de captura de artes regulares.

Los científicos pesqueros dependen de los índices de abundancia anual relativa a nivel de stock o población al formular recomendaciones para la captura y conservación. Los datos de captura y esfuerzo necesitan ser estandarizados para tomar en cuenta cambios en el diseño de las artes de pesca, los patrones de operación, y la eficacia, y así poder usar las series de datos a largo plazo requeridas en estos análisis. Estos científicos a menudo se ven obligados a recurrir al uso de razones de tasas de captura, reunidas de varias configuraciones de artes de pesca faenando en grandes regiones geográficas y largos periodos de tiempo, al intentar estandarizar el esfuerzo. Esto lleva a una confusión significativa de la variabilidad de las tasas de captura con la variabilidad en la distribución de las poblaciones, los factores limitantes, las configuraciones de las artes de pesca y patrones de operación, y las condiciones ambientales.

La base de los datos originales de temperatura a profundidad (TZ) eran observaciones válidas de la temperatura en estratos geográficos y temporales. TZ es por lo tanto un promedio de toda la estructura hidrográfica que se encuentra en un estrato. Dadas las preferencias ambientales de una especie, las tasas de captura logradas por los pescadores a cada lado de una zona frontal de temperatura, o a una cierta profundidad en distintos puntos de una región de $2^{\circ} \times 5^{\circ}$, podrían ser significativamente diferentes, pero los límites de los datos ambientales disponibles imposibilitan tomar en cuenta factores a escala tan pequeña. Similarmente, los límites de los datos de configuración de arte de pesca (HPB) (región $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ y mes) imposibilitan tomar en cuenta el hecho de que los pescadores a menudo intentan concentrar su esfuerzo en lugares y profundidades donde esperan maximizar sus tasas de captura de una cierta especie. Finalmente, a falta de la información necesaria para modelar la distribución de la profundidad de los anzuelos en la gran variedad de condiciones hidrográficas en las cuales pueden ser calados, y que puede influir sobre la profundidad de los anzuelos en caladas individuales de palangre, se supuso que el modelo

de curva catenaria modificada vale para todas las caladas. Esto no toma directamente en cuenta el hecho de que caladas individuales, que tienen lugar a escalas de decenas de kilómetros y días, tienen lugar en corrientes y estructuras hidrográficas locales que podrían afectar la profundidad a la cual pescan los anzuelos. No obstante, la escala a la cual se requerían supuestos en esta aplicación era insignificativa en comparación con las previas. Se contrastan estas escalas de promediación geográfica, temporal y de profundidad relativamente pequeñas con aquellas de Suzuki (1989), donde para cada una de las tres especies de marlines del Pacífico fue necesario estandarizar las tasas de captura usando el promedio de las estimaciones anuales de 1975 a 1985 de "la razón de tasa de captura promedio de los palangres profundos a aquella de los palangres regulares" en ocho regiones grandes, cada una de las cuales contenía de unas 22 a 48 áreas de 5° de latitud por 5° de longitud. Las estimaciones de las tasas de captura aquí elaboradas (CPUSE) son preferibles a las estimaciones obtenidas con estos otros métodos. Se ha de tener en cuenta que no existen estimaciones independientes de la abundancia relativa del marlín azul con las que calibrar nuestro modelo. Sin embargo, hemos emprendido estudios para examinar las relaciones entre las distribuciones de marlines basadas en CPUSE y estimaciones de la distribución de condiciones de productividad oceánica e hidrográficas. Además de ampliar nuestros conocimientos de la ecología de los marlines, estas investigaciones proporcionarán quizás cuasipruebas de los resultados obtenidos en esta aplicación particular de nuestro nuevo método.

Se examinó la abundancia relativa anual para el Océano Pacífico entero en el periodo de 1971-1989, usando tasas de captura incorporando estimaciones de los conjuntos de datos completos y de los conjuntos de datos y estimaciones parciales adicionales disponibles para el periodo de 1971-1978. Se usaron análisis de regresión lineal para realizar una demostración sencilla de las diferencias entre series basadas en CPUNE y CPUSE. Ni las estimaciones ponderadas por área ni las ponderadas por esfuerzo de las tasas de captura de marlín azul basadas en CPUNE señalaron tendencias positivas ni negativas. Sin embargo, las estimaciones correspondientes basadas en CPUSE sí presentaron niveles crecientes durante el periodo (Tabla 2, y Figuras 6 y 7). Esta tendencia de aumento en las estimaciones de la tasa anual de captura, que parece comenzar poco después del cambio a palangres profundos ocurrido en 1975, no era una hipótesis a *priori*, pero no se ha de considerar completamente inesperada. Los marlines azules no son generalmente un blanco de este componente importante del esfuerzo de pesca en el Pacífico, tal como se notó anteriormente, y la distribución anterior a 1975 del esfuerzo de los palangres regulares colocó más anzuelos en las zonas superiores del océano, donde se encuentra concentrada la distribución del marlín azul, que el esfuerzo de los palangres profundos a partir de 1974. Esta diferencia comparativa en los estratos de esfuerzo nominal con respecto a los estratos de captura podría fácilmente ser considerado como contribuyente a las tendencias crecientes observadas, es decir, el cambio en la configuración del arte de pesca redujo en efecto el esfuerzo de pesca "dirigido" hacia el marlín azul, fenómeno seguido por niveles crecientes de abundancia, que podrían ser atribuidos parcialmente a esta reducción en el esfuerzo de pesca efectivo. No se deben interpretar estos resultados como descripción de la condición de los stocks de marlín azul en el Pacífico, pero los autores están incorporando CPUSE en sus investigaciones de la condición de los stocks.

Aunque las bases de comportamiento y fisiológicas para la formulación de la función de distribución de población usada están bien establecidas (Brill *et al.*, 1993), se puede poner en duda la aplicabilidad de la función de distribución a peces de distintos tamaños. Block *et al.* (1992a) notaron lo pequeño del órgano de calefacción del cerebro del marlín azul y el rango relativamente estrecho (< 5°C) de las excursiones de temperatura que viven. Por contraste, notaron el tamaño relativamente mayor del órgano en el pez espada (*Xiphias gladius*) y sus excursiones por rangos

de temperatura amplios (hasta 19°C en de 30 a 60 minutos). Si se descubren diferencias análogas intraespecíficas en las excursiones, como resultado de la etapa de desarrollo del órgano de calefacción con respecto al desarrollo o condición de otros tejidos u órganos, o con respecto al tamaño, entonces se puede estructurar esta metodología de estandarización para tomar en cuenta estas diferencias.

CONCLUSION

La metodología aquí elaborada e ilustrada puede ser aplicada a una amplia gama de problemas que exigen la estandarización del esfuerzo usado en las estadísticas de CPUE. Ha sido aplicada a poblaciones del marlín azul (en el presente trabajo), marlín rayado (trabajo actual de los autores), y pez espada (Hinton y Deriso, In Press), y existen los datos necesarios para aplicarla a otras especies (por ejemplo, los atunes patudo, *Thunnus obesus*, y aleta amarilla, *T. albacares*). Las CPUE obtenidas con esta metodología pueden ser usadas directamente en preferencia a otras medidas de CPUE en varios modelos. Por ejemplo, sería de esperar que factores en un MLG que habían explicado una variación que posteriormente fue eliminada por f_e mostraran niveles de significación reducidos. Esto podría brindar una oportunidad para incluir otros factores, tales como aquellos que antes mostraban una significación baja o que no fueron considerados debido a inquietud sobre una parametrización. Punsly y Nakano (1992) notaron que en su MLG (usado para estandarizar las tasas de captura de atunes aleta amarilla y patudo a fin de estimar la abundancia anual) la "profundidad de los peces que resulta de variaciones en la estructura térmica vertical (Green, 1967), el nivel de oxígeno, o la disponibilidad de alimento, podría ejercer un efecto mayor sobre las tasas de captura que la abundancia." Incluir límites para esos factores en P y usar f_e sería mejor que usar f_n y podría mejorar significativamente este MLG y otros modelos. Es posible que se descubran datos y condiciones adecuadas para la aplicación de esta metodología para otras especies y situaciones, bien fuera del marco de la oceanografía de pesquerías pelágicas. Los datos mínimos requeridos son: (1) una estimación, independiente de captura y esfuerzo, de la distribución de la población con respecto a condiciones limitantes en el área que ocupa, (2) una estimación de la distribución de las condiciones limitantes dentro de ese área, (3) una estimación de la distribución del esfuerzo nominal de muestreo con respecto a las condiciones, y (4) la captura total que resulta del esfuerzo nominal.

RECONOCIMIENTOS

El manuscrito fue revisado en distintas etapas de su preparación por William H. Bayliff, Christofer H. Boggs, Richard W. Brill, Martín Hall, y Cleridy Lennert, cuyos comentarios ayudaron a mejorarlo. Agradecemos a Barbara A. Block y Richard Brill los datos de telemetría acústica, y a Richard el uso de sus programas de computadora. Le agradecemos a Warren White los datos hidrográficos. Michael Hinton desea expresar su agradecimiento a los miembros de su comité doctoral en la Scripps Institution of Oceanography (Richard H. Rosenblatt, Paul E. Smith, Richard T. Carson, David M. Checkley, Richard B. Deriso, y Dean H. Roemmich) por su ayuda y apoyo.

LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA

- Allen, R., and R. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18:301-379.
- Blackburn, M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 3:299-322.
- Block, B.A., F.G. Carey and D.T. Booth. 1992a. Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. Mar. Biol., 114:175-183.
- Block, B.A., D.T. Booth and F.G. Carey. 1992b. Direct measurement of swimming speeds and depth of blue marlin. J. Exp. Biol., 166:267-284.
- Boggs, C. 1992. Depth, capture time, and hooked longevity of longline-caught pelagic fish: timing bites of fish with chips. Fish. Bull., 90:642-658.
- Brill, R.W. 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments. Fish. Oceanogr., 3:204-216.
- Brill, R.W., and D.B. Holts, R.K.C. Chang, S. Sullivan, H. Dewar and F.G. Carey. 1993. Horizontal and vertical movements of striped marlin (*Tetrapturus audax*) near the Hawaiian Islands based on ultrasonic telemetry, with simultaneous measurements of ocean currents. Mar. Biol., 117:567-574.
- Efron, B., and R.J. Tibshirani. 1993. An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall, New York. 436 p.
- Forsbergh, E.D. 1989. The influence of some environmental variables on the apparent abundance of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 19:429:569.
- Gong, Y., J.-U. Lee, Y.-S. Kim, and W.-S. Yang. 1989. Fishing efficiency of Korean regular and deep longline gears and vertical distribution of tunas in the Indian Ocean. Bull. Korean Fish. Soc., 22:86-94.
- Green, R.E. 1967. Relationship of the thermocline to success of purse seining for tuna. Trans. Am. Fish. Soc., 96:126-130.
- Gulland, J.A. 1969. Manual of methods for fish stock assessment, Part 1. Fish population analysis. FAO Man. Fish. Sci. 4, 154 p.
- Hanamoto, E. 1974. Fishery-oceanographic studies of striped marlin, *Tetrapturus audax*, in waters off Baja California-I: fishing conditions in relation to the thermocline. In: Shomura, R.S., and F. Williams (eds.) Proc. Int. Billfish Symp., Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 Aug. 1972; Part 2: Review and Contributed Papers. NOAA Tech. Rpt. NMFS SSRF-675, 302-308.
- Hanamoto, E. 1979. Fishery oceanography of striped marlin—IV: swimming layer in the tuna longline fishing grounds. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 45:687-690.
- Hinton, M.G., and R.B. Deriso. (In Press). Distribution and stock assessment of swordfish in the eastern Pacific Ocean from catch and effort data standardized using biological and environmental parameters. In: Barrett, I. (ed.). Proceedings of the First International Pacific

- Swordfish Symposium, Ensenada, B.C., Mexico, December, 1994.
- Holland, K., R. Brill and R.K.C. Chang. 1990. Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. *Fish. Bull.*, 88:397-402.
- Holts, D., and D. Bedford. 1990. Activity patterns of striped marlin in the Southern California Bight. In: Stroud, R.H. (ed.) *Planning the Future of Billfishes, Part 2: Research and Management in the 90s and Beyond*. Proc. Sec. Int. Billfish Symp., Hawaii, USA, 1988. Nat. Coal. Mar. Conserv., Savannah, Georgia, 81-93.
- Honma, M. 1974. Estimation of overall effective fishing intensity of tuna longline fishery. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 10:63-85.
- Hopper, C.N. 1990. Patterns of blue marlin reproduction in Hawaiian waters. In: Stroud, R.H. (ed.) *Planning the Future of Billfishes, Part 2: Research and Management in the 90s and Beyond*. Proc. Sec. Int. Billfish Symp., Hawaii, USA, 1988. Nat. Coal. Mar. Conserv., Savannah, Georgia, 29-39.
- Howard, J.K., and S. Ueyanagi. 1965. Distribution and relative abundance of billfishes (Istiophoridae) of the Pacific Ocean. *Studies in Trop. Ocean. No. 2*, Univ. Miami Press, 134 p. (atlas published in association: 38 figs).
- Jolley, J.W., and E.W. Irby, Jr. 1979. Survival of tagged and released Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus: Istiophoridae*) determined with acoustical telemetry. *Bull. Mar. Sci.*, 29:155-169.
- Joseph, J., W.L. Klawe and C.J. Orange. 1974. A review of the longline fishery for billfishes in the eastern Pacific Ocean. In: Shomura, R.S., and F. Williams (eds.) *Proc. Int. Billfish Symp., Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 Aug. 1972; Part 2: Review and Contributed Papers*. NOAA Tech. Rpt. NMFS SSRF-675, 309-331.
- Matsumoto, W.M., and T.K. Kazama. 1974. Occurrence of young billfishes in the central Pacific Ocean. In: Shomura, R.S., and F. Williams (eds.) *Proc. Int. Billfish Symp., Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 Aug. 1972; Part 2: Review and Contributed Papers*. NOAA Tech. Rpt. NMFS SSRF-675, 238-251.
- Nakano, H., and W.H. Bayliff. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-1987. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 20:183-355.
- Nishi, T. 1990. The hourly variations of depth of hooks and the hooking depth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and bigeye tuna (*Thunnus obesus*), of tuna longline in the eastern region of the Indian Ocean. [in Japanese with English abstract, tables and figures] *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 39:81-98.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi and S. Kikawa. 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. *Far Seas Fish. Res. Lab.*, S Series 12, 99 p.
- Punsly, R.G. 1987. Estimation of the relative abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean during 1970-1985. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 19:261-305.
- Punsly, R.G., and R. Deriso. 1991. Estimation of the relative abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, by age groups and regions within the eastern Pacific Ocean. *Inter-*

- Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20:97-131.
- Punsly, R.G., and H. Nakano. 1992. Analysis of variance and standardization of longline hook rates of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean during 1975-1987. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 20:165-184.
- Punsly, R.G., and P.C. Fiedler. 1995. Purse-seiner catch rates of medium and large yellowfin tuna, with and without dolphins, in the eastern Pacific Ocean. Unpublished manuscript.
- Quinn, T.J., II, S.H. Hoag and G.M. Southward. 1982. Comparison of two methods of combining catch-per-unit-effort data from geographical regions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39:837-846.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can., No. 191, 382 p.
- Saito, S. 1975. On the depth of capture of bigeye tuna by further improved vertical long-line in the tropical Pacific. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 41:831-841.
- Saito, S., and S. Sasaki. 1974. Swimming depth of large sized albacore in the south Pacific Ocean—II: vertical distribution of albacore catch by an improved vertical longline. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 40:643-649.
- Sharp, G.D. 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. In: Sharp, G.D., and A.E. Dizon (eds.) The Physiological Ecology of Tunas. Academic Press, New York, 397-449.
- Shingu, C., P.K. Tomlinson and C.L. Peterson. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 16:65-230.
- Shomura, R.S. (ed.) 1980. Summary report of the billfish stock assessment workshop Pacific resources: Honolulu Laboratory, Southwest Fisheries Center, Honolulu, Hawaii, December 1977. NOAA Tech. Memo., NOAA-TM-NMFS-SWFC-5, 58 p.
- Sund, P.N., M. Blackburn and F. Williams. 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 19:443-512.
- Suzuki, Z. 1989. Catch and fishing effort relationships for striped marlin, blue marlin and black marlin in the Pacific Ocean, 1952-1985. In: Stroud, R.H. (ed.) Planning the Future of Billfishes, Part 1: Fishery and Stock Synopses, Data Needs and Management. Proc. Sec. Int. Billfish Symp., Hawaii, USA, 1988. Nat. Coal. Mar. Conserv., Savannah, Georgia, 165-177.
- Suzuki, Z., Y. Warashina and M. Kishida. 1977. The comparison of catches by regular and deep tuna longline gears in the western and central equatorial Pacific. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 15:51-89.
- Suzuki, Z., and S. Kume. 1982. Fishing efficiency of deep longline for bigeye tuna in the Atlantic as inferred from the operations in the Pacific and Indian Oceans. Inter. Comm. Cons. Atlan. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap., 18:471-486.
- Wright, A. 1980. An investigation of Japanese longline tuna fishing operations in the region of Papua New Guinea. Dept. of Prim. Indus., Port Moresby, Res. Bull. 23, 49 p.

- Yuen, H.S.H., A.E. Dizon and J.H. Uchiyama. 1974. Notes on the tracking of the Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. In: Shomura, R.S., and F. Williams (eds.) Proc. Int. Billfish Symp., Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 Aug. 1972; Part 2: Review and Contributed Papers. NOAA Tech. Rpt. NMFS SSRF-675, 265-268.
- Yurov, V.G., and J.C. Gonzalez. 1971. Possibility of developing a sailfish fishery in the eastern Pacific Ocean. In: Sovetsko-Kubinskie Rybokhoziaistvennye Issledovaniya, Vol. 3, Pishchevaya Promyshlennost, Moscow (translation from Russian by W.L. Klawe, IATTC, 1972), 11 p.

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

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

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

Some recent publications in the Bulletin series are:

Vol. 21, No. 1 — \$2.00

An evaluation of length-frequency sampling procedures and subsequent data analysis for purse seine-caught yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean by A. Wild

Una evaluación de los procedimientos de muestreo de frecuencia de talla y del análisis subsecuente de los datos de atún aleta amarilla capturado con red de cerco en el Océano Pacífico oriental por A. Wild

Vol. 21, No. 2 — \$2.00

Estimates of age and growth, and an assessment of ageing techniques, for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean by Terry J. Foreman

Estimaciones de la edad y crecimiento, y una evaluación de las técnicas de determinar la edad, del atún aleta azul del norte, *Thunnus thynnus*, en el Océano Pacífico por Terry J. Foreman

Vol. 21, No. 3 — \$2.00

Distribution and abundance of larval Scombridae in relation to the physical environment in the north-western Panama Bight by Robert R. Lauth and Robert J. Olson

Distribución y abundancia de escombridos larvales en relación al ambiente físico en el noroeste del Recodo de Panamá por Robert R. Lauth y Robert J. Olson

Editor — Redactor
William H. Bayliff

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

Price per copy—\$2.00—Precio del ejemplar

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

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

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

Las publicaciones recientes en la serie de Boletines son:

