

**EVIDENCIAS DE DISTINTOS GRUPOS POBLACIONALES DE  
MACARELA *Scomber japonicus***

**EVIDENCE OF DIFFERENT STOCKS OF MACKEREL  
*Scomber japonicus***

María Georgina Gluyas-Millán<sup>1</sup>  
Casimiro Quiñónez-Velázquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera La Paz  
Instituto Nacional de la Pesca  
Carretera a Pichilingue km 1 s/n  
La Paz, Baja California Sur  
México

<sup>2</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas  
Instituto Politécnico Nacional  
Apartado postal 592  
La Paz, Baja California Sur 23000  
México

*Recibido en enero de 1996; aceptado en junio de 1996*

**RESUMEN**

A partir de muestras de la captura comercial de la macarela *Scomber japonicus* en Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y el Golfo de California, se presentan evidencias biológicas que soportan una hipótesis de dos grupos poblacionales de macarela. Esas evidencias son el periodo de reproducción y ciclo de madurez, patrón de deposición de las bandas de los otolitos, talla  $L_{50\%}$  y edad  $E_{50\%}$  de reproducción, y composición por talla y edad de la captura. Se distinguen dos grupos poblacionales, uno que se distribuye desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno y el otro en el Golfo de California. Una zona de sobreposición de ambos grupos poblacionales fue Bahía Magdalena, la cual parece ser un sitio de alimentación donde habitan individuos que aún no se reclutan completamente a la fracción del grupo poblacional reproductor.

*Palabras clave:* *Scomber japonicus*, Baja California, grupo poblacional, otolito, edad.

**ABSTRACT**

Samples of the commercial catch of mackerel *Scomber japonicus* from Ensenada, Vizcaino Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California were analyzed to show biological evidence that supports a hypothesis of two stocks of mackerel. This evidence is the reproductive period, maturity cycle, deposition pattern of the otolith bands, length ( $L_{50\%}$ ) and age ( $E_{50\%}$ ) of reproduction and composition by length and age of the catch. Two stocks were identified, one that is distributed from southern California to Vizcaino Bay and the other in the Gulf of California. Both stocks overlapped at Magdalena Bay, which seems be a feeding site where young individuals that have not been recruited to the spawning stock inhabit.

*Key words:* *Scomber japonicus*, Baja California, stock, otolith, age.

## INTRODUCCIÓN

La macarela y algunos atunes pertenecen a la familia Scombridae que agrupa a 49 especies de peces marinos que viven en aguas tropicales y templadas (Collete y Nauen, 1983). La macarela *Scomber japonicus* es una de las especies que habitan en el Océano Pacífico; su distribución en la porción nororiental es desde Columbia Británica hasta el Golfo de California (Schaefer, 1980). En las costas mexicanas existen cuatro zonas de pesca de macarela: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California. En ellas se captura la especie todo el año, y los mayores volúmenes se obtienen desde finales de invierno hasta mediados de verano (Gluyas-Millán, 1989). La captura de *S. japonicus* es por naturaleza altamente variable (MacCall *et al.*, 1985; Prager y MacCall, 1988) y presenta amplias fluctuaciones en su abundancia. Estas fluctuaciones son característica común en los pelágicos menores (Csirke, 1988). Para la identificación de las causas de esas fluctuaciones y definir un sistema de manejo del recurso, es necesario primero establecer la identidad del grupo poblacional. A la fecha, los antecedentes (Fry y Roedel, 1949; Roedel, 1952) no muestran claramente esa identidad.

Fry y Roedel (1949), con base en los resultados de un estudio de marcado, señalan que en el sur de California la disponibilidad de macarela marcada en la Bahía Vizcaíno y la Bahía San Roque fue baja, y que la disponibilidad de los individuos marcados al norte del sur de California fue mayor. Los años en que el estudio se realizó (1939-41) corresponden a un periodo de calentamiento del agua, que condujo a una fuerte migración hacia el norte de muchas especies de peces (Radovich, 1961) y la macarela posiblemente pudo ser afectada (Parrish y MacCall, 1978). Roedel (1952), analizando algunos caracteres merísticos de vértebras, mediciones de la cabeza y la longitud furcal, encontró que la población del Golfo de California y Cabo San Lucas se distingue de aquella de peces más norteños. Concluyó que hubo poca mezcla entre los peces de Bahía Vizcaíno y Ensenada, y admite que sus conclusiones no son

## INTRODUCTION

Mackerel and some tuna belong to the family Scombridae that includes 49 species of marine fish that inhabit tropical and warm waters (Collete and Nauen, 1983). The mackerel *Scomber japonicus* is one species that inhabits the Pacific Ocean; its north-eastern distribution extends from British Columbia to the Gulf of California (Schaefer, 1980). There are four mackerel fishing areas along the coast of Mexico: Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California. This species is caught throughout the year in these areas, with the greatest volumes occurring from the end of winter to the middle of summer (Gluyas-Millán, 1989). The catch of *S. japonicus* is, by nature, highly variable (MacCall *et al.*, 1985; Prager and MacCall, 1988), presenting wide fluctuations in its abundance. These fluctuations are a common characteristic of small pelagic fish (Csirke, 1988). In order to identify the causes of these fluctuations and define a management program for this resource, the stock(s) must first be identified. To date, this identity has not yet been clearly established in previous studies (Fry and Roedel, 1949; Roedel, 1952).

Fry and Roedel (1949), based on the results of a tagging experiment, indicate that in southern California the availability of mackerel tagged in Vizcaíno Bay and San Roque Bay was low, whereas availability of individuals tagged to the north of southern California was greater. The years during which that study was conducted (1939-41) correspond to a period of warm water that caused a strong northward migration of many species of fish (Radovich, 1961), possibly affecting the mackerel (Parrish and MacCall, 1978). Roedel (1952) analyzed meristic characters in vertebrae, head measurements and fork length, and found that populations from the Gulf of California and Cabo San Lucas are distinguishable from those of more northerly fish. This author concluded that there was little mixing between the fish of Vizcaíno Bay and Ensenada, and admits that his results do not concur with those of Fry and

compatibles con los resultados del estudio de marcado de Fry y Roedel (1949), debido a la heterogeneidad de los cardúmenes y/o al periodo en el que se tomaron las muestras. Gluyas-Millán (1989) reporta diferencias en tallas y en el periodo de reproducción entre la macarela del Golfo de California y Bahía Vizcaíno, y sugiere la posibilidad de la existencia de más de un grupo poblacional.

La macarela se distribuye en una amplia zona, donde es posible reconocer grupos poblacionales con características biológicas definidas. Este trabajo presenta evidencias que sustentan una hipótesis de la existencia de dos grupos poblacionales de macarela en la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. Las características biológicas que definen los grupos poblacionales son: el periodo de desove, ciclo de madurez, patrón de deposición de la banda opaca e hialina en los otolitos, talla y edad al 50% de madurez y composición por edad de la captura comercial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizan muestras de macarela de Ensenada, la Bahía Magdalena y el Golfo de California (fig. 1). Se usó la metodología de Fitch (1951), Gluyas-Millán y Félix-Uraga (1990) y Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz (1993), quienes estudiaron la macarela del sur de California y Bahía Vizcaíno. Los resultados de esas investigaciones se integran en el análisis y se contrastan con los del presente trabajo.

Las muestras provienen de la pesca comercial; las de Bahía Magdalena corresponden al periodo de 1980 a 1989 (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas), y las de Ensenada y el Golfo de California a 1989, 1990 y 1993, y de 1984 a 1992, respectivamente (Instituto Nacional de la Pesca). Las actividades de la pesca se efectuaron principalmente durante la fase de oscuro lunar. Se tomaron dos tipos de muestras: una masiva (MM) y otra biológica (MB). En la MM se recolectaron al azar un promedio de 30 individuos por embarcación. De cada individuo se midió la longitud estándar (LE) y se distribuyó en intervalos de 5 mm. La MB

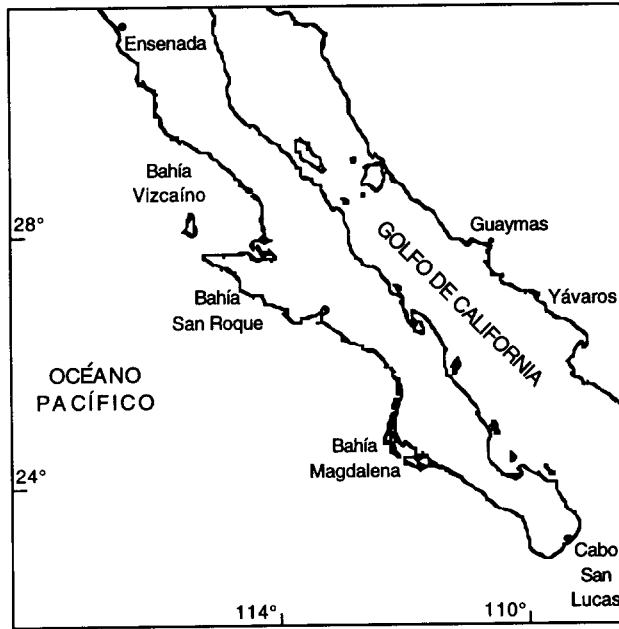
Roedel's (1949) tagging experiment, due to the heterogeneity of the schools and/or the sampling period. Gluyas-Millán (1989) reports differences in sizes and period of reproduction for mackerel from the Gulf of California and Vizcaíno Bay, and suggests the possibility of more than one stock.

Mackerel are widely distributed, making it possible to recognize stocks with definite biological characteristics. This study provides evidence that supports the hypothesis of the existence of two stocks of mackerel along the west coast of the Baja California Peninsula and the Gulf of California. The biological characteristics that define the stocks are: spawning period, maturity cycle, deposition pattern of the opaque and hyaline bands in the otoliths, size and age at 50% maturity and age composition of the commercial catch.

## MATERIALS AND METHODS

Mackerel samples from Ensenada, Magdalena Bay and the Gulf of California are analyzed (fig. 1). The methods of Fitch (1951), Gluyas-Millán and Félix-Uraga (1990) and Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz (1993) were used. These authors studied the mackerel of southern California and Vizcaíno Bay. The results of these studies are included in the analysis and compared with those of the present study.

The samples came from commercial landings; those of Magdalena Bay correspond to the period from 1980 to 1989 (Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas), and those of Ensenada to 1989, 1990 and 1993, and of the Gulf of California from 1984 to 1992 (Instituto Nacional de la Pesca). The fishing activities were conducted mainly during the new moon phase. Two types of samples were taken: one massive (MS) and one biological (BS). In the MS, an average of 30 individuals per boat were randomly collected. The standard length (SL) of each individual was measured and distributed in 5 mm intervals. The BS



**Figura 1.** Zona de pesca de *Scomber japonicus*: Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California.

**Figure 1.** Fishing areas of *Scomber japonicus*: Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and Gulf of California.

consistió de una submuestra del MM; a cada individuo se midió su LE y longitud furcal (LF) en milímetros, peso total, peso sin vísceras en gramos y se registró el sexo, el estadio de madurez y se recolectaron otolitos para determinar la edad. La muestra total del MM de Ensenada, Bahía Magdalena y el Golfo de California fue  $n = 982$ ,  $n = 5,298$  y  $n = 18,137$ , y del MB de  $n = 842$ ,  $n = 1,439$  y  $n = 3,793$ , respectivamente. Los estadios de madurez se definieron de acuerdo con la escala morfocromática de Knaggs y Parrish (1973). Únicamente las hembras fueron incluidas para definir el ciclo reproductivo. Se consideraron maduras cuando el pez presentó grandes huevos transparentes que son expulsados con facilidad (estadio 3), en proceso de maduración si la gónada presentó huevos amarillos visibles a simple vista (estadio 2), e inmaduras si los huevos no fueron visibles a simple vista (estadio 1).

was a subsample of the MS. The SL and fork length (FL) of each individual were measured in millimeters, as well as total weight and weight without viscera in grams. The sex and maturity stage of each individual were recorded. Otoliths were collected to determine age. The total MS sample from Ensenada, Magdalena Bay and the Gulf of California was  $n = 982$ ,  $n = 5,298$  and  $n = 18,137$ , and the BS was  $n = 842$ ,  $n = 1,439$  and  $n = 3,793$ , respectively. The maturity stages were defined according to the morphochromatic scale of Knaggs and Parrish (1973). Only females were used to establish the reproductive cycle. The specimens were considered mature when the fish had large transparent eggs that were easily expelled (stage 3); developing, if the gonad had easily observable yellow eggs (stage 2); and immature if the eggs could not be observed with the naked eye (stage 1).

Para establecer la relación entre el tamaño del pez y el tamaño del otolito, se midió el radio del otolito con un micrómetro ocular en un microscopio estereoscópico. Con un análisis de regresión se estimó la relación entre ambos y con un análisis de covarianza se determinó si las pendientes fueron diferentes. Los otolitos se montaron en portaobjetos con resina sintética, se observaron al microscopio con luz reflejada bajo un fondo oscuro y se determinó la edad contando el número de bandas opacas. Bajo estas condiciones, la zona opaca se observó blanca y la hialina más oscura. Para validar la naturaleza temporal (anual) de la formación de la banda opaca e hialina, se graficó la proporción mensual de la característica del borde opaco e hialino. Posteriormente, se determinó la edad en años contando el número de bandas en los otolitos. La edad y la talla a la cual el 50% de los individuos maduran ( $E_{50\%}$  y  $L_{50\%}$ ) se estimó en hembras maduras (estadio 3). La distribución de frecuencias acumuladas de talla y edad se ajustó a un modelo logístico con el módulo NONLIN de SYSTAT (Wilkinson, 1990).

La distribución de frecuencia de tallas de la captura total por mes y una relación peso-longitud se utilizaron para obtener la composición por tallas de la captura. Posteriormente, se integró la distribución de frecuencias de edad, se construyeron claves edad-longitud (Ricker, 1975) y se estimó la composición por edades de la captura. Esto se hizo con una frecuencia mensual y anual. La composición por edades de la captura de macarela del Golfo de California corresponde a un promedio de 1984-1990, de Bahía Magdalena de 1984-1989, y de Bahía Vizcaíno de 1984-1986 (Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993). La composición por edades de la macarela de Ensenada corresponde a 1990.

## RESULTADOS

### Relación entre el tamaño del pez y del otolito

Una relación lineal positiva se encontró entre la longitud del cuerpo y radio del otolito de la macarela de Ensenada, Bahía Vizcaíno, Bahía Magdalena y Golfo de California:

In order to establish the relationship between fish and otolith size, the radius of the otolith was measured with a micrometer eyepiece on a stereoscopic microscope. A regression analysis was used to determine the relationship between them, and an analysis of covariance to determine if the slopes were different. The otoliths were mounted on slides with synthetic resin and were observed under a microscope with reflected light against a dark background. Age was determined by counting the number of opaque bands. Under these conditions, the opaque zone appeared white and the hyaline darker. In order to validate the temporal nature (annual) of the formation of the opaque and hyaline bands, the monthly proportion of the characteristics of the opaque and hyaline margin was plotted. Age in years was then determined by counting the number of otolithic bands. The age and size at which 50% of the individuals mature ( $E_{50\%}$  and  $L_{50\%}$ ) was estimated in mature females (stage 3). The accumulated size and age frequency distribution was fit to a logistical model using the NONLIN mode of SYSTAT (Wilkinson, 1990).

The size frequency distribution of the total catch per month and a weight/length relationship were used to obtain the size composition of the catch. The age frequency distribution was later integrated, the age/length keys constructed (Ricker, 1975) and the age composition of the catch estimated. This was done with a monthly and annual frequency. The age composition of the mackerel catch from the Gulf of California corresponds to an average of 1984-1990, from Magdalena Bay to 1984-1989 and from Vizcaíno Bay to 1984-1986 (Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993). The age composition of the mackerel from Ensenada corresponds to 1990.

## RESULTS

### Relationship between fish and otolith size

A positive linear relationship was found between body length and otolith radius of the mackerel from Ensenada, Vizcaíno Bay, Magdalena Bay and the Gulf of California:

Ensenada	LE = 42.51266 + 113.3756 R ( $n = 248$ , $r^2 = 0.55$ , R = 1.5-3.0 mm)
Bahía Vizcaíno	LE = 77.23205 + 96.3176 R ( $n = 328$ , $r^2 = 0.49$ , R = 1.2-2.4 mm)
Bahía Magdalena	LE = 53.71849 + 92.0774 R ( $n = 467$ , $r^2 = 0.52$ , R = 1.1-2.2 mm)
Golfo de California	LE = 20.39705 + 109.872 R ( $n = 381$ , $r^2 = 0.73$ , R = 0.4-2.4 mm)

donde LE es la longitud estándar y R el radio del otolito. Los coeficientes de correlación resultaron significativamente diferentes de cero ( $P < 0.05$ ).

Se observaron diferencias en el tamaño de los otolitos de macarela entre las distintas zonas de pesca. Los de Ensenada fueron mayores que los del Golfo de California y Bahía Magdalena. Un análisis de covarianza, para un mismo intervalo de longitud, indicó diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre la relación longitud estándar del pez (LE) y radio del otolito (R), lo que sugiere diferencias geográficas en el crecimiento.

#### **Patrón de formación de bandas opacas e hialinas en los otolitos**

Los otolitos de macarela del sur de California, Ensenada, Bahía Vizcaíno y el Golfo de California muestran un patrón claro en la formación de bordes opacos e hialinos en años diferentes, por lo cual se integró la información por mes y se construyó una distribución de frecuencia de enero a diciembre para cada sitio (fig. 2). Un rasgo común en los otolitos de la macarela desde el sur de California a Bahía Vizcaíno fue una elevada proporción de bordes opacos entre abril y octubre, con un máximo en julio, mientras que para la macarela del Golfo de California ese máximo ocurrió en invierno. Esto indica que en un periodo de reproducción se genera una cohorte anual pero en distintos periodos. En cambio, los otolitos de macarela de Bahía Magdalena no mostraron un patrón bien definido. Se observan varios máximos de bordes opacos durante el periodo de invierno y un mínimo en verano (fig. 2). La falta de un patrón definido en la deposición de las bandas en los otolitos de la macarela en Bahía Magdalena nos indica: (1) dos patrones de deposición que caracterizan a dos grupos poblacionales, uno que se distribuye desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno y otro en el Golfo de

where LE is the standard length and R the radius of the otolith. The correlation coefficients were significantly different from zero ( $P < 0.05$ ).

There were differences in the size of the mackerel otoliths from the different fishing areas. Those from Ensenada were larger than those from the Gulf of California and Magdalena Bay. An analysis of covariance of a same length range indicated significant differences ( $P < 0.001$ ) in the relationship between the standard length (SL) of the fish and radius of the otolith (R), suggesting geographic differences in their growth.

#### **Formation pattern of the opaque and hyaline bands in the otoliths**

The otoliths of the mackerel from southern California, Ensenada, Vizcaíno Bay and Gulf of California show a clear pattern in the formation of the opaque and hyaline margins during different years. Hence, the monthly data were integrated and a frequency distribution established from January to December for each site (fig. 2). A common trait of the otoliths of mackerel from southern California to Vizcaíno Bay was the high percentage of opaque margins between April and October and a maximum in July. The maximum for the mackerel from the Gulf of California, however, occurred during winter. This indicates that during one reproduction period, an annual cohort is generated but in different periods. The otoliths of the mackerel from Magdalena Bay did not show a well-defined pattern. Various maximums are observed in the opaque margins during winter and a minimum during summer (fig. 2). This lack of a definite pattern in the deposition of the bands in the otoliths of the mackerel from Magdalena Bay indicates: (1) two deposition patterns that characterize two stocks, one that is distributed from southern California to Vizcaíno Bay and another in the Gulf of California; (2) the

California; (2) la irregularidad del patrón de deposición es evidencia de una sobreposición de los dos grupos poblacionales; (3) los grupos de edad determinados en Bahía Magdalena son anuales y ellos pueden pertenecer a uno u otro grupo poblacional; (4) la sobreposición de los grupos poblacionales sería durante invierno y primavera, y en el resto del año predominarían individuos con características del Golfo de California.

### **Reproducción, talla y edad de madurez**

El ciclo de madurez de la macarela en las zonas de pesca se determinó con la información mensual de varios años, después de verificar que en cada zona se presentó anualmente un patrón similar en la disposición de estadios de madurez. Únicamente la macarela de Bahía Magdalena no mostró un patrón claro. El ciclo de madurez en cada zona de pesca (fig. 3) indica que la macarela, desde el sur de California hasta Bahía Vizcaíno, se reproduce de abril a octubre, con un máximo alrededor de junio, es decir, genera grupos de edad anuales en la misma época. Mientras que la macarela del Golfo de California se reproduce de noviembre a abril, con un máximo entre enero y marzo. Esas diferencias temporales en el ciclo reproductivo entre la macarela de la costa occidental y aquella del Golfo de California, pueden conducir a la existencia de dos grupos poblacionales. La macarela de Bahía Magdalena mostró evidencias de reproducción de febrero a mayo y en septiembre, una fracción de ese periodo es similar a el de la macarela del Golfo de California. Sin embargo, los individuos son más jóvenes que en cualquier otra zona de pesca, como se observa posteriormente.

La distribución de tallas de hembras con evidencia de reproducción en las distintas zonas de pesca (fig. 4) muestra más de un grupo modal, una disminución del intervalo de tallas de norte a sur, y un desplazamiento hacia tallas pequeñas en el mismo sentido. Las hembras más pequeñas con evidencias de reproducción midieron 148 mm LE y se capturaron en el Golfo de California. Las más grandes midieron 368 mm LE y se capturaron en Ensenada.

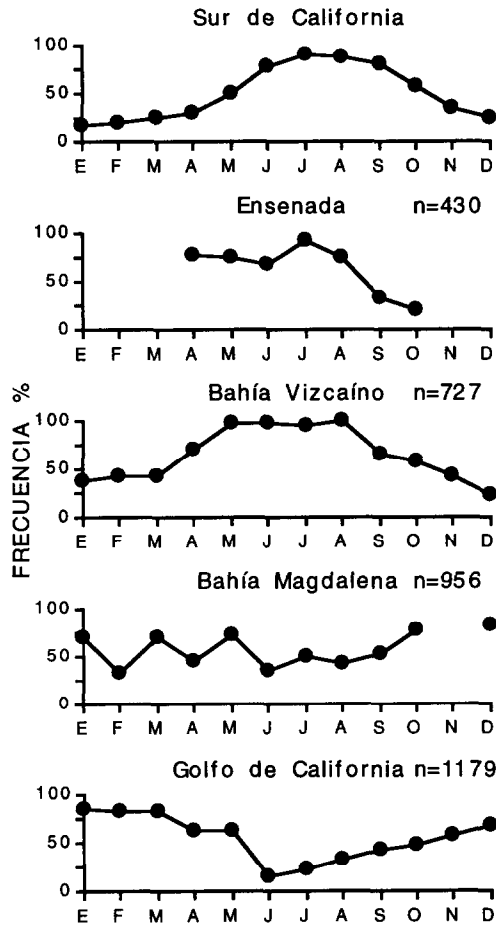
irregularity in the deposition pattern is evidence of an overlapping of the two stocks; (3) the age groups determined for Magdalena Bay are annual and can belong to either stock; and (4) the overlapping of the two stocks occurs during winter and spring and individuals from the Gulf of California would dominate during the rest of the year.

### **Reproduction, size and age of maturity**

The maturity cycle of the mackerel in the fishing areas was determined with monthly data from various years, after verifying that each area had a similar annual pattern in the disposition of maturity stages. Only the mackerel from Magdalena Bay did not show a clear pattern. The maturity cycle in each fishing area (fig. 3) indicates that the mackerel from southern California to Vizcaíno Bay reproduce from April to October, with a maximum around June, that is, it generates annual age groups during the same season. However, the mackerel from the Gulf of California reproduce from November to April, with a maximum between January and March. These temporal differences in the reproductive cycle between west coast and Gulf of California mackerel might indicate two stocks. The mackerel from Magdalena Bay showed evidence of reproduction from February to May and, in September, a portion of this period is similar to that of the mackerel from the Gulf of California. However, the individuals are younger than in any other fishing area, as will be shown below.

The size distribution of females with evidence of reproduction in the different fishing areas (fig. 4) shows more than one modal group, with a decrease in the size range from north to south, and a displacement towards smaller sizes in the same direction. The smallest females with evidence of reproduction measured 148 mm SL and were caught in the Gulf of California. The largest measured 368 mm SL and were caught in Ensenada.

In the different fishing areas, 1 to 7 year old females were recorded with mature gonads. The age frequency distributions of mature females per fishing area (fig. 5) show a maximum of



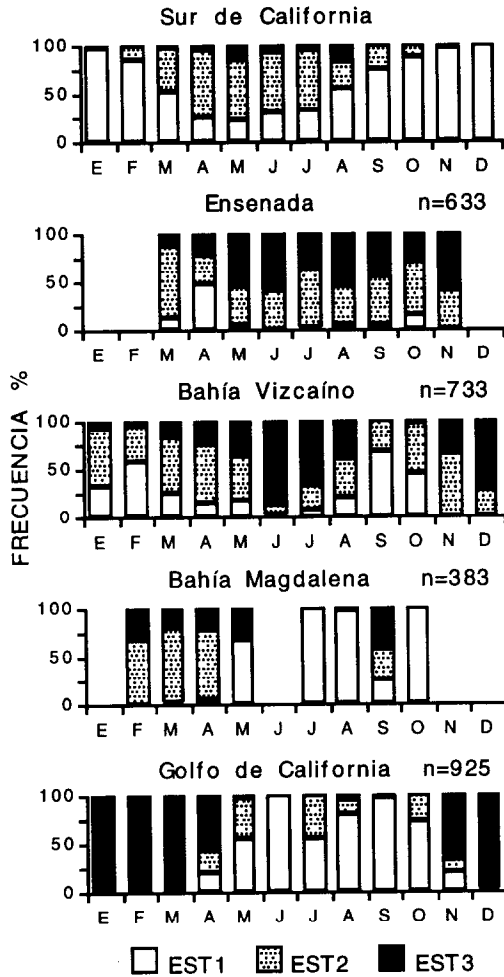
**Figura 2.** Proporción mensual de bordes opacos en los otolitos de *Scomber japonicus* del sur de California (de Fitch, 1951), Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

**Figure 2.** Monthly proportion of opaque margins in the otoliths of *Scomber japonicus* from southern California (from Fitch, 1951), Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

En las distintas zonas de pesca se registran hembras con gónadas maduras de 1 a 7 años de edad. Las distribuciones de frecuencia de edades, por zona de pesca, de hembras maduras (fig. 5) muestran un máximo de individuos de 4, 5 y 3 años en Ensenada, Bahía Vizcaíno y el Golfo de California, respectivamente. En Bahía Magdalena, 78% de las macarelas tuvieron de 1 a 3 años de edad, más jóvenes que en cualquier otra zona. Esto indica que hacia el sur de

individuals of 4, 5 and 3 years in Ensenada, Vizcaíno Bay and the Gulf of California, respectively. In Magdalena Bay, 78% of the mackerels were 1 to 3 years old, younger than in any other area. This indicates that in the southern distribution of the mackerel, the predominant age is younger than in the northern. Magdalena Bay is different; 80% of the individuals with evidence of maturity were younger than 3 years of age, suggesting that this fishing





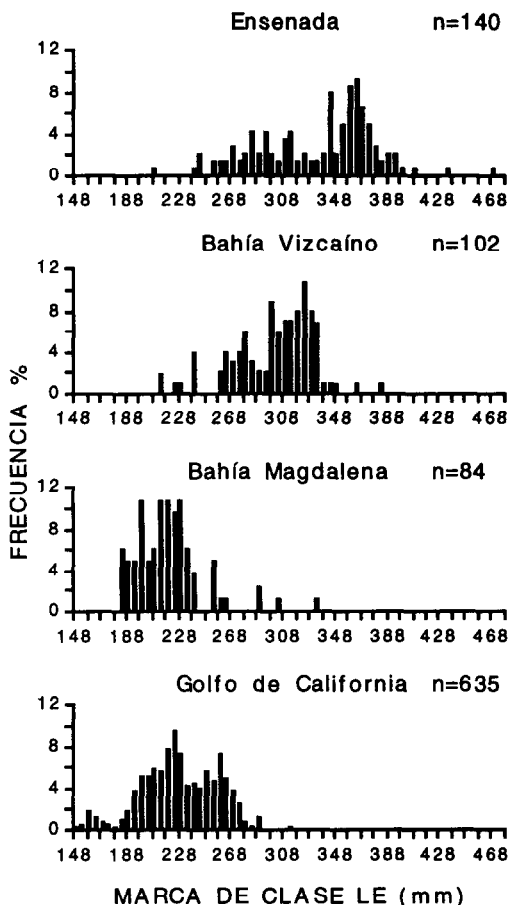
**Figura 3.** Proporción mensual de estadios de madurez gonádica de *Scomber japonicus* del sur de California (de Knaggs y Parrish, 1973), Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California. Estadio 1, inmaduro; estadio 2, en proceso de maduración; estadio 3, maduro.

**Figure 3.** Monthly proportion of gonadal maturity stages of *Scomber japonicus* from southern California (from Knaggs and Parrish, 1973), Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California. Stage 1, immature; stage 2, developing; stage 3, mature.

la distribución de la macarela, la edad que predomina es menor que en el norte. Bahía Magdalena se comporta diferente; 80% de individuos con evidencias de maduración tuvieron menos de 3 años de edad. Este esquema sugiere que esa zona no es estrictamente de reproducción, sino posiblemente de alimentación.

area is not strictly for reproduction, but possibly for feeding.

The size distribution at Vizcaíno Bay has a greater percentage of smaller individuals than at Ensenada, whereas the age distributions present an inverse situation (figs. 4, 5). Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz (1993) comment that from



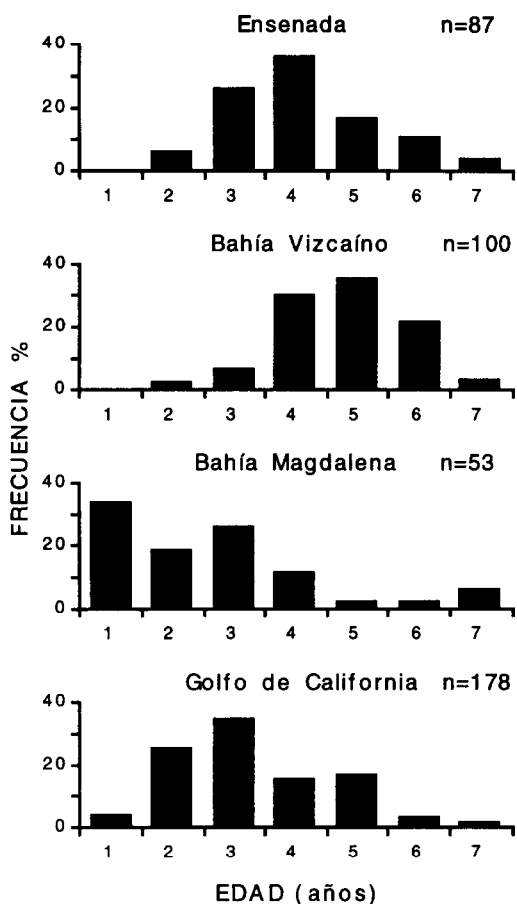
**Figura 4.** Distribución de frecuencia de tallas de hembras de macarela en el estadio 3 de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

**Figure 4.** Size frequency distribution of stage 3 female mackerels from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

En la distribución de tallas de Bahía Vizcaíno se observa una proporción mayor de individuos pequeños que en Ensenada, mientras que las distribuciones de edad presentan una situación inversa (figs. 4, 5). Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz (1993) comentan al respecto que en Bahía Vizcaíno, durante julio y agosto de 1984, se capturaron individuos pequeños fuera del periodo de reclutamiento (noviembre a marzo). Es posible que se trate de individuos sureños, puesto que fueron capturados en el año que sucede a un evento El Niño y las condi-

July to August 1984 at Vizcaíno Bay, small individuals were caught outside the recruitment period (November to March). It is possible that southern individuals were involved, since they were caught during the year following the El Niño event when the environmental conditions may not have been restored, modifying the distribution of the mackerel.

The  $L_{50\%}$  and  $E_{50\%}$  values for the mackerel at Magdalena Bay were 213.7 mm SL and 1.7 years, respectively, smaller than in any other fishing area (table 1). The  $L_{50\%}$  and  $E_{50\%}$  values



**Figura 5.** Distribución de edades de hembras de macarela en el estadio 3 de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

**Figure 5.** Age frequency distribution of stage 3 female mackerels from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

**Tabla 1.**  $L_{50\%}$  y  $E_{50\%}$  de *Scomber japonicus* de Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán, 1994), Bahía Magdalena y Golfo de California.

**Table 1.**  $L_{50\%}$  and  $E_{50\%}$  of *Scomber japonicus* from Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán, 1994), Magdalena Bay and Gulf of California.

Zona	$L_{50\%}$ (LE mm)	$E_{50\%}$ (años)
Ensenada	311.3	3.5
Bahía Vizcaíno	300.6	4.3
Bahía Magdalena	213.7	1.7
Golfo de California	228.0	3.7

ciones ambientales pudieron no estar restablecidas, modificando la distribución de la macarela.

El valor de  $L_{50\%}$  y  $E_{50\%}$  para la macarela de la Bahía Magdalena fue de 213.7 mm LE y 1.7 años, respectivamente, menor que en cualquier otra zona de pesca (tabla 1). Los valores de  $L_{50\%}$  y  $E_{50\%}$  presentan una disminución de Ensenada al Golfo de California, sin considerar Bahía Magdalena.

### **Composición de la captura por talla y edad**

La composición de tallas de la captura comercial de macarela en las zonas de pesca (fig. 6) muestra, en general, una disminución del intervalo de talla y un desplazamiento hacia tallas más pequeñas desde Ensenada al Golfo de California. La composición por edades presenta una estructura similar, con un máximo de individuos de 3 años de edad en Ensenada y el Golfo de California, e individuos de 4 años de edad en Bahía Vizcaíno (fig. 7). La diferencia entre Ensenada y Bahía Vizcaíno se debe a que la composición por edades en la primera zona corresponde a 1990, año en que se registró la captura más elevada, la cual estuvo dominada por individuos de la clase anual de 1987.

Con el propósito de conocer si los individuos <3 años de edad en Bahía Magdalena provienen de algún mes en especial, se determinó mensualmente la composición promedio por edad (fig. 8). En la figura se observa que los individuos <3 años de edad representaron 85% de la captura y se capturaron de abril a octubre; los individuos >4 años de edad se encontraron en diciembre, febrero y marzo. Esto indica que Bahía Magdalena es una zona donde habitan principalmente individuos jóvenes a lo largo del año.

### **DISCUSIÓN**

Las diferencias y similitudes en las características biológicas descritas para la macarela capturada desde el sur de California hasta el Golfo de California apoyan la hipótesis de la existencia de dos grupos poblacionales. Uno se distribuye al menos desde el sur de California a Bahía Vizcaíno, donde existe un intercambio de macarela de acuerdo con los estudios de

decrease from Ensenada to the Gulf of California, without considering Magdalena Bay.

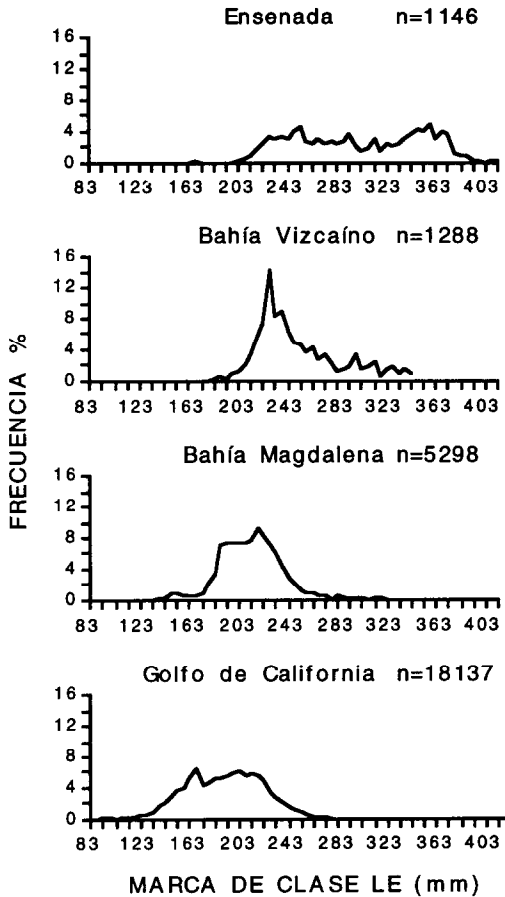
### **Catch composition per size and age**

The size composition of the commercial catches of mackerel in the fishing areas (fig. 6) shows a general decrease in the size range and a displacement towards smaller sizes from Ensenada to the Gulf of California. The age composition has a similar structure, with a maximum of 3 year old individuals at Ensenada and the Gulf of California and 4 year old individuals at Vizcaíno Bay (fig. 7). This difference between Ensenada and Vizcaíno Bay is because the age composition in the first area corresponds to 1990, year in which the largest catch was recorded that consisted mainly of individuals from the 1987 year class.

In order to determine if the individuals <3 years of age at Magdalena Bay come from a certain month, the average age composition was calculated monthly (fig. 8). The figure shows that these individuals represented 85% of the catch and were caught from April to October; individuals >4 years of age occurred in December, February and March. This indicates that Magdalena Bay is an area where mainly young individuals inhabit throughout the year.

### **DISCUSSION**

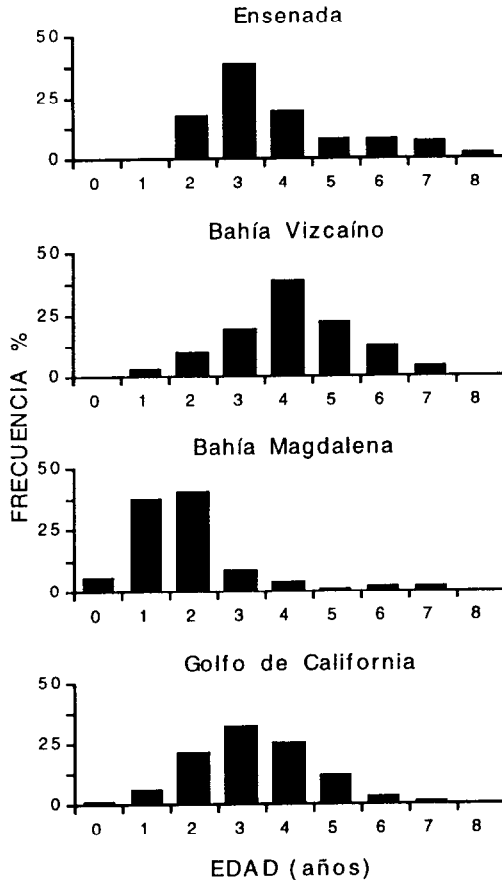
The differences and similarities in the biological characteristics of the mackerel catch from southern California to the Gulf of California support the hypothesis of the existence of two stocks. One is distributed from southern California to Vizcaíno Bay, where, according to tagging studies (Fry and Roedel, 1949), there is an exchange of mackerel. The other stock is distributed in the Gulf of California, which was distinguished from that of the west coast by morphometric and meristic characteristics (Roedel, 1952). Another factor to consider is that the yields of both stocks have shown to be partially out of phase (fig. 9), probably due to differences in the recruitment patterns. This is observed in the evolution of the catches from 1983 to 1992 in Ensenada and the Gulf of California.



**Figura 6.** Composición por tallas de la captura comercial de macarela desembarcada en Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993), Bahía Magdalena y Golfo de California.  
**Figure 6.** Size composition of the commercial catch of mackerel unloaded in Ensenada, Vizcaino Bay (from Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993), Magdalena Bay and Gulf of California.

marcado (Fry y Roedel, 1949). El otro se distribuye en el Golfo de California, el cual se logró distinguir de aquel de la costa occidental a través de caracteres morfométricos y merísticos (Roedel, 1952). Otro factor a considerar es que los rendimientos de ambos grupos poblacionales han mostrado estar parcialmente fuera de fase (fig. 9) debido probablemente a diferencias en sus patrones de reclutamiento. Esto se manifiesta al observar la evolución de las capturas de 1983 a 1992 en Ensenada y el Golfo de California.

The results obtained for Magdalena Bay, i.e., the undefined pattern in the deposition of the opaque and hyaline bands in the otoliths, the presence of females <3 years of age with evidence of maturity during a prolonged period and the catch composition of individuals <3 years of age during most of the year, can pose the hypothesis that Magdalena Bay is an area where individuals from the two stocks overlap. It could be more a feeding than reproduction area, where individuals that have not been recruited to the reproductive stock reside, since

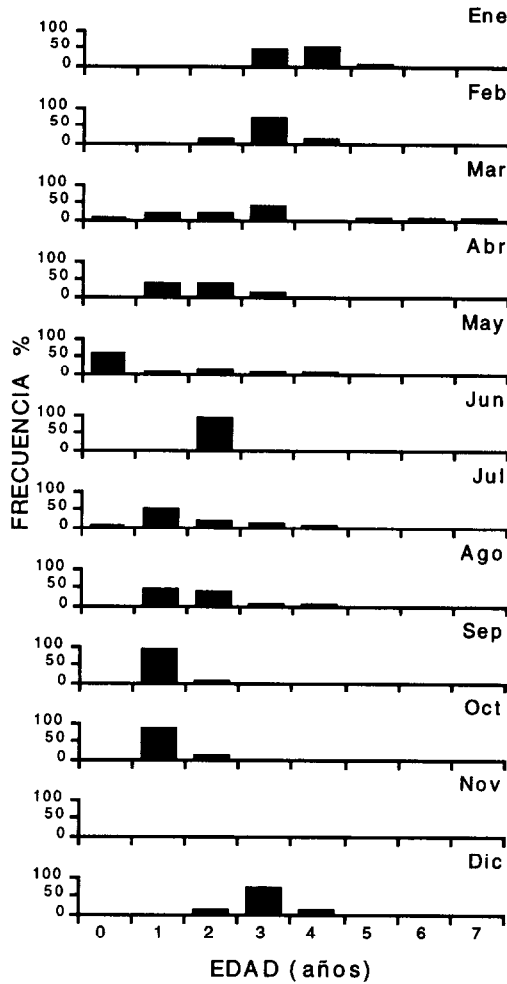


**Figura 7.** Composición de edades de la captura comercial de macarela desembarcada en Ensenada, Bahía Vizcaíno (de Gluyas-Millán y Gómez-Muñoz, 1993), Bahía Magdalena y Golfo de California. **Figure 7.** Age composition of the commercial catch of mackerel unloaded in Ensenada, Vizcaíno Bay (from Gluyas-Millán and Gómez-Muñoz, 1993), Magdalena Bay and Gulf of California.

Los resultados obtenidos para Bahía Magdalena: el patrón no definido en la deposición de las bandas opacas e hialinas en los otolitos, la presencia de hembras <3 años de edad con evidencias de maduración durante un periodo prolongado y la composición de la captura principalmente de individuos <3 años de edad durante la mayor parte del año, permiten plantear la hipótesis que esta bahía es una zona de sobreposición de individuos de los dos grupos poblacionales. Podría ser una zona de alimentación más que de reproducción, en donde permanecen individuos que aún no se reclutan

$E_{50\%}$  is >3 years. This evidence suggests that individuals from Magdalena Bay can belong to either of the two stocks.

A geographic variation in growth was evident in the results. This variation is related to sea temperature; when temperature is high,  $E_{50\%}$  is reached at a smaller size and age. The sea surface temperature here increases from north to south. However, the  $E_{50\%}$  estimates for *S. japonicus* can vary at the same site. For example, Fry (1936) reports that mackerel from southern California spawn at 2 years of age. Fitch (1951) indicates that spawning does



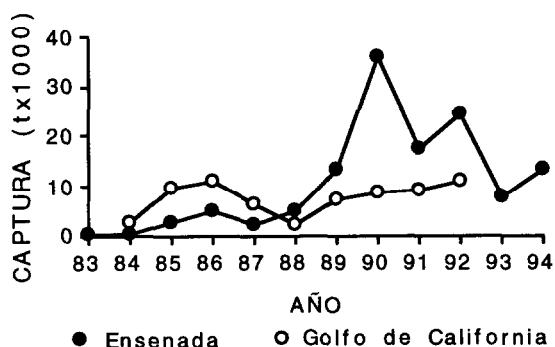
**Figura 8.** Composición promedio (1980-1989) por edades de la captura mensual de la Bahía Magdalena.

**Figure 8.** Average age composition (1980-1989) of the monthly catch at Magdalena Bay.

al grupo poblacional reproductor, ya que  $E_{50\%}$  es  $>3$  años. Estas evidencias sugieren que los individuos en Bahía Magdalena pertenecerán a cualquiera de los dos grupos poblacionales.

Una variación geográfica en crecimiento fue evidente en los resultados. Esa variación puede relacionarse con la temperatura del mar. Cuando ésta es mayor la  $E_{50\%}$  se alcanza a una talla y edad menor. En este caso, la temperatura superficial del mar aumenta de norte a sur. Sin embargo, las estimaciones de  $E_{50\%}$  para S.

not occur until the third or fourth year, and Knaggs and Parrish (1973) report that 65% of the females mature at 2+ years. On the other hand, intense exploitation produces a reduction in abundance (Gulland, 1983) and changes in age or size at first maturity (Ricker, 1981; Beacham, 1983). Compared to the other areas, the greatest fishing effort is concentrated in the Gulf of California; however, the greatest catch has been recorded at Ensenada (38,222 t in 1990). It can therefore be suggested that the



**Figura 9.** Captura anual de macarela *Scomber japonicus* en Ensenada y el Golfo de California.  
**Figure 9.** Annual catch of the mackerel *Scomber japonicus* in Ensenada and the Gulf of California.

*japonicus* pueden variar para un mismo sitio. Por ejemplo, Fry (1936) reporta que la macarela del sur de California desova a los dos años. Fitch (1951) indica que el desove ocurre hasta el tercero o cuarto año de vida, y Knaggs y Parrish (1973) reportan que el 65% de las hembras maduran a los 2+ años. Por otro lado, una intensa explotación produce una reducción en la abundancia (Gulland, 1983) y cambios en la edad o talla de primera madurez (Ricker, 1981; Beacham, 1983). En el Golfo de California se concentra el mayor esfuerzo de pesca comparado con las otras zonas. Sin embargo, la mayor captura se ha registrado en Ensenada (38,222 t en 1990). Este hecho conduce a sugerir que el tamaño de la población puede determinar la tasa de crecimiento relativa, como se ha mostrado para la macarela del Atlántico (Overholtz, 1989; Overholtz *et al.*, 1991) y otras especies (Jørgensen, 1990). Un cambio en el ambiente también puede modificar las estimaciones de  $L_{50\%}$  y  $E_{50\%}$ , pero es difícil separar los efectos ambientales de aquellos de la pesca.

El origen de la macarela que se captura en Bahía Magdalena no se evaluó. Sin embargo, al interpretarse algunos resultados se pueden hacer aproximaciones. Por ejemplo, la presencia de hembras con gónadas maduras al interior de Bahía Magdalena en febrero y marzo; las grandes proporciones de bordes opacos en algunos meses de invierno muestran patrones semejantes a los de la macarela del Golfo de California. Esto sugiere que en invierno una

population size determines the relative growth rate, as has been shown for Atlantic mackerel (Overholtz, 1989; Overholtz *et al.*, 1991) and other species (Jørgensen, 1990). A change in environment can also modify the  $L_{50\%}$  and  $E_{50\%}$  estimates, but it is difficult to separate environmental effects from those of fishing.

The origin of the mackerel caught at Magdalena Bay was not evaluated. However, it can be approximated by interpreting some results. For example, the presence of females with mature gonads inside Magdalena Bay during February and March; large proportions of opaque bands during some winter months show patterns similar to those of mackerel from the Gulf of California. This suggests that a large amount of mackerel caught at Magdalena Bay during winter can come from the Gulf of California. The stock from the gulf can reach the area of Magdalena Bay in winter, when it migrates to reproduce from the area of the big islands to the area of Guaymas, Yávaros, Santa Rosalía and Cabo San Lucas (Gluyas-Millán, unpublished data). The mackerel from southern California travel southward during the same period (Fry and Roedel, 1949) and may reach the area of Magdalena Bay, both stocks coinciding in time and space.

Magdalena Bay is not a reproductive area, but rather one of feeding for individuals from both stocks. The evidence of maturity in young individuals is a natural response to the abundance and quality of the food. The 1 to 2 year



fracción importante de la macarela capturada en Bahía Magdalena puede provenir del Golfo de California. El grupo poblacional del golfo puede alcanzar la zona de Bahía Magdalena en invierno cuando migra a reproducirse desde la zona de las grandes islas hasta la zona de Guaymas, Yávaros, Santa Rosalía y Cabo San Lucas (Gluyas-Millán, datos no publicados). Por otro lado, la macarela del sur de California se desplaza hacia el sur en el mismo periodo (Fry y Roedel, 1949) y podría alcanzar la zona de Bahía Magdalena, coincidiendo en tiempo y espacio ambos grupos poblacionales.

Bahía Magdalena no es una zona de reproducción, sino de alimentación de individuos de ambos grupos poblacionales. Las evidencias de maduración de individuos jóvenes son consecuencia natural de la abundancia y calidad del alimento. Los individuos de 1 a 2 años con gónadas maduras aún no se reclutan al grupo poblacional reproductor y permanecen en Bahía Magdalena hasta alcanzar la edad y/o la talla de reclutamiento reproductor. Por esa razón se registran escasamente individuos >4 años. Esto confirma lo sugerido por Gluyas-Millán (1989) y Arcos-Huitrón y Torres-Villegas (1990), que la especie podría desovar al exterior de la bahía.

Un procedimiento útil en futuras investigaciones para conocer el origen de los individuos en Bahía Magdalena es considerar el tipo de borde (opaco e hialino) del otolito en la composición mensual por edades de la captura. Los resultados pueden traducirse a proporciones que indiquen el grado de mezcla y la predominancia de los grupos poblacionales. Otro procedimiento es caracterizar la morfometría del otolito para cada grupo poblacional y contrastarlas (Ihssen *et al.*, 1981; Grégoire y Castonguay, 1989; Dawson, 1991) o usar técnicas discriminantes para separarlas. Los análisis morfométricos pueden ofrecer un gran potencial en la separación de grupos poblacionales, incluso más que los merísticos en algunas especies (Ihssen *et al.*, 1981; Misra y Carcadden, 1987). Por otro lado, técnicas electroforéticas permiten comparar los genes presentes en los grupos poblacionales reconocidos, como una prueba de su divergencia genética (Jamieson y Smith, 1987). Otra herramienta es a través del

old individuals with mature gonads that have not yet been recruited to the reproductive stock remain at Magdalena Bay until reaching the age and/or size of the reproductive stock. For this reason, few individuals older than 4 years of age were recorded. This concurs with that suggested by Gluyas-Millán (1989) and Arcos-Huitrón and Torres-Villegas (1990) that the species may spawn outside the bay.

A useful procedure in future studies to determine the origin of the individuals from Magdalena Bay would be to consider the type of margin (opaque or hyaline) of the otolith in the monthly age composition of the catch. The results could translate into percentages that indicate the degree of mixing and predominance of the stocks. Another procedure would be to characterize and compare the morphometry of the otolith for each stock (Ihssen *et al.*, 1981; Grégoire and Castonguay, 1989; Dawson, 1991), or use discriminant techniques to separate them. Morphometric analyses have great potential for separating stocks, even more than meristic analyses for some species (Ihssen *et al.*, 1981; Misra and Carcadden, 1987). Electrophoretic techniques can also be used to compare the genes present in the stocks identified, as a test of their genetic divergence (Jamieson and Smith, 1987). Another tool would be to study the helminthofauna (Isakov, 1976; Belyaev and Ryabov, 1987). Some parasites present a limited geographic distribution, thus the incidence of mackerels with a parasite of limited distribution would indicate its origin.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Walterio García F., Miguel A. Cisneros M. and Manuel Nevárez O., from the Instituto Nacional de la Pesca, and Roberto Félix U., from the Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, for the biological data of the mackerel. The comments and suggestions by the anonymous reviewers are appreciated. M.G. Gluyas-Millán received a grant from CONACYT (Mexico).

English translation by Jennifer Davis.

estudio de la helmintofauna (Isakov, 1976; Belyaev y Ryabov, 1987). Algunos parásitos presentan una distribución geográfica limitada; la incidencia de macarela con algún tipo de parásito de distribución limitada indicará su origen.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Walterio García F., Miguel A. Cisneros M. y Manuel Nevárez O., del Instituto Nacional de la Pesca, y a Roberto Félix U., del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN, el habernos proporcionado información biológica de la macarela. Se aprecian los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos. M.G. Gluyas-Millán fue apoyada con una beca del CONACYT de México.

## REFERENCIAS

- Arcos-Huitrón, E. y Torres-Villegas, R. (1990). Ciclo reproductor de la macarela del Pacífico *Scomber japonicus* Houttuyn (Pisces: Scombridae) en Bahía Magdalena, BCS, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 37-46.
- Beacham, T.D. (1983). Variability in median size and age at sexual maturity of Atlantic cod, *Gadus morhua*, on the Scotian shelf in the northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull.*, US, 81: 303-312.
- Belyaev, V.A. and Ryabov, V.S. (1987). Population structure of chub mackerel, *Scomber japonicus*, in the Northwestern Pacific Ocean. *Voprosy Ikhtiologii*, No. 2: 188-193 (translated into English).
- Collette, B.B. and Nauen, C.E. (1983). *FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the World. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species know to date.* *FAO Fish. Synop.*, 2(125): 135 pp.
- Csirke, J. (1988). Small shoaling pelagic fish stocks. In: J. Gulland (ed.), *Fish Population Dynamics. The implications for management.* Second Edition. John Wiley and Sons, pp. 271-302.
- Dawson, W.A. (1991). Otolith measurement as a method of identifying factors affecting first-year growth and stock separation of mackerel (*Scomber scombrus* L.). *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 47: 303-317.
- Fitch, J.E. (1951). Age composition of the southern California catch of Pacific mackerel 1939-40 through 1950-51. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 83: 1-73.
- Fry, D. (1936). A preliminary summary of the life history of the Pacific mackerel. *Calif. Fish and Game*, 22(1): 30-39.
- Fry, D. and Roedel, P.M. (1949). Tagging experiments on the Pacific mackerel (*Pneumatophorus diego*). *Calif. Fish and Game, Fish Bull.*, 73: 64 pp.
- Gluyas-Millán, M.G. (1989). Época de reproducción, distribución de tallas y relación peso-longitud de la macarela del litoral de Baja California. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1): 65-72.
- Gluyas-Millán, M.G. (1994). Reproducción, edad y talla de primera madurez de la macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) en Bahía Vizcaíno. *Ciencias Marinas*, 20(3): 409-419.
- Gluyas-Millán, M.G. y Félix-Uraga, R. (1990). Periodicidad de las marcas de crecimiento en los otolitos de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1): 33-36.
- Gluyas-Millán, M.G. y Gómez-Muñoz, V. (1993). Composición por tallas y edades de la macarela *Scomber japonicus* de Bahía Vizcaíno. *Inv. Mar. CICIMAR*, 8(1): 33-38.
- Grégoire, F. and Castonguay, M. (1989). Etude de dimensions au premier annulus d'otolithes de maquereau bleu (*Scomber scombrus*) du nord-ouest de l'Atlantique. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1680: 15 pp.
- Gulland, J. (1983). World resources of fisheries and their management. In: O. Kinne (ed.), *Marine Ecology.* John Wiley/Interscience, Chichester, pp. 839-1050.
- Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., McGlade, J.M., Payne, N.R. and Utter, F.M. (1981). Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1838-1855.
- Isakov, V.T. (1976). On some results of biological studies on mackerel from the Northwest Atlantic. *ICNAF Res. Doc.*, 76/52: 14 pp.

- Jamieson, A. and Smith, P.J. (1987). Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) stocks and genes: A review. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 44: 66-72.
- Jørgensen, T. (1990). Long term changes in age at sexual maturity of northeast Arctic cod *Gadus morhua* L. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 46: 235-248.
- Knaggs, E.H. and Parrish, R.H. (1973). Maturation and growth of Pacific mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn. *Calif. Fish and Game*, 59(2): 114-120.
- MacCall, A., Klingbeil, R. and Methot, R. (1985). Recent increased abundance and potential productivity of Pacific mackerel (*Scomber japonicus*). *CalCOFI Rep.*, XXVI: 119-129.
- Misra, R.K. and Carcadden, J.E. (1987). A multivariate analysis of morphometrics to detect differences in populations of capelin (*Mallotus villosus*). *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 43: 99-106.
- Overholtz, W.J. (1989). Density dependent growth in the northwest Atlantic stock of Atlantic mackerel. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.*, 9: 127-135.
- Overholtz, W.J., Murawski, S. and Maichaels, W. (1991). Impact of compensatory responses on assessment advice for the Northwest Atlantic mackerel stock. *Fish. Bull.*, US, 89: 117-128.
- Parrish, R.H. and MacCall, A.D. (1978). Climatic variation and exploitation in the Pacific mackerel fishery. *Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 167: 109 pp.
- Prager, M.H. and MacCall, A.D. (1988). Revised estimates of historical spawning biomass of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. *CalCOFI Rep.*, XXIX: 81-90.
- Radovich, J. (1961). Relationships of some marine organisms of the northeast Pacific to water temperature particularly during 1957 through 1959. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 112: 62 pp.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 191: 382 pp.
- Ricker, W.E. (1981). Changes in the average size and average age of Pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1936-1956.
- Roedel, P. (1952). A racial study of the Pacific mackerel *Pneumatophorus diego*. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, 84: 53 pp.
- Schaefer, K. (1980). Synopsis of biological data on the chub mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn 1782, in the Pacific Ocean. In: W. Bayliff (ed.), *Synopsis of Biological Data on Eight Species of Scombrids*. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Spec. Rep.*, 2: 395-530.
- Wilkinson, L. (1990). SYSTAT: The system for statistics. *Evanson, II. SYSTAT, Inc.*