

**DEMOGRAFÍA DEL CAZÓN PECH, *Sphyrna tiburo* (LINNAEUS, 1758),  
EN EL SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO**

**DEMOGRAPHY OF THE BONNETHEAD SHARK, *Sphyrna tiburo*  
(LINNAEUS, 1758), IN THE SOUTHEASTERN GULF OF MEXICO**

J. Fernando Márquez-Farías<sup>1</sup>  
J. Leonardo Castillo-Géniz<sup>1</sup>  
Ma. Concepción Rodríguez de la Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa Tiburón  
Dirección General de Investigación, Evaluación y Manejo de Recursos Pesqueros  
Instituto Nacional de la Pesca  
SEMARNAP  
Pitágoras 1320  
Santa Cruz Atoyac, CP 03310, México, DF

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico del Mar  
Km. 4 carretera al Varadero Nacional  
Guaymas, CP 85480, Sonora, México

*Recibido en marzo de 1997; aceptado en octubre de 1997*

**RESUMEN**

El cazón pech, *Sphyrna tiburo*, es una de las especies más abundantes en las capturas de tiburón del Golfo de México, particularmente de la Sonda de Campeche. Esta especie se captura principalmente con redes agalleras y se encuentra disponible durante todo el año. Se realizó un análisis demográfico incorporando la mejor información disponible sobre su historia de vida, tal como edad de primera madurez, fecundidad, longevidad, proporción sexual (1:1) y mortalidad natural a edades específicas. En relación con la información de edad y crecimiento, se utilizó la estimada para individuos de aguas norteñas del Golfo de México. La primera estimación que se realizó fue para calcular los parámetros demográficos en condiciones naturales. Posteriormente se realizaron simulaciones, variando la edad de primera captura e incorporando valores de mortalidad por pesca, con la finalidad de estimar la razón de cambio de la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ), la variación del tiempo generacional, la tasa intrínseca de incremento poblacional y el tiempo de duplicidad poblacional. Utilizando un modelo dinámico estructurado por edades, la  $R_0$  fue proyectada hasta el año 2010. Los resultados indicaron que *S. tiburo* tiene un mayor potencial reproductivo que el registrado para otras especies de tiburones. El resultado de este análisis ayudará en el establecimiento de las estrategias de manejo para esta pesquería.

*Palabras clave:* tiburones, pesquerías, demografía, Golfo de México, *Sphyrna tiburo*.

**ABSTRACT**

The bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, is one of the most abundant species in catches from the Gulf of Mexico, particularly from Campeche. It is mainly caught with gill nets and it is available throughout the year. A demographic analysis was carried out, incorporating the best available information about its life history, such as age at first maturity, fecundity, longevity, sex ratio (1:1) and

age-specific natural mortality. The age and growth data used come from northern individuals of the Gulf of Mexico. The first run was done to obtain the demographic parameters under natural conditions. Other simulations varying age at first capture and incorporating fishing mortality were made to estimate the rate of change of the net reproductive rate ( $R_0$ ), generation time, intrinsic rate of increase and doubling time. Using an age-structured dynamic model,  $R_0$  was projected until the year 2010. The results of the simulations showed that *S. tiburo* has a higher reproductive potential than other sharks. This analysis will allow us to establish the management strategies for the fishery.

*Key words:* sharks, fisheries, demography, Gulf of Mexico, *Sphyrna tiburo*.

## INTRODUCCIÓN

El cazón pech, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), es un pequeño tiburón martillo que habita en el Océano Atlántico y se distribuye desde la costa de Carolina del Norte, EUA, hasta el sureste de Brasil, incluyendo las Bahamas y Cuba (Compagno, 1984). Su reproducción es vía placenta y es una de las especies de tiburón que presenta el ciclo de gestación más corto (4 a 5 meses). El promedio de sus camadas es de 10 individuos; al nacer mide de 30 a 35 cm de longitud total (LT). Esta especie habita en aguas costeras y eventualmente penetra en aguas interiores para el alumbramiento. En el norte del Golfo de México y, en particular, en la península de Florida, este tiburón es abundante (Parsons, 1993). En aguas de México, su principal área de distribución es en la Sonda de Campeche.

Debido a que el registro de las capturas de esta pesquería se restringe a dos categorías (cazón y tiburón), poco se sabe de la proporción de las especies que participan en ellas (Applegate *et al.*, 1979; Castillo-Géniz, 1990; Bonfil, 1994); sin embargo, un intensivo monitoreo de la pesquería artesanal de tiburón del Golfo de México, llevado a cabo en el periodo de noviembre de 1993 a noviembre de 1994, permitió determinar la composición de las capturas a nivel de especie y aspectos de su historia de vida. En virtud de lo anterior, los objetivos del presente estudio son: (1) determinar la vulnerabilidad de la población de *S. tiburo* del sureste del Golfo de México, utilizando un análisis demográfico como una herramienta de evaluación y manejo; (2) explorar la tendencia hipotética de la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) bajo diferentes niveles teóricos de explotación.

## INTRODUCTION

The bonnethead shark, *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), is a small hammerhead shark that inhabits the Atlantic Ocean. Its distribution extends from the coast of North Carolina, USA, to southeastern Brazil, including the Bahamas and Cuba (Compagno, 1984). This shark reproduces by placental development and, among the shark species, it has one of the shortest gestation periods (4 to 5 months). Its average litter consists of 10 individuals; at birth they measure 30 to 35 cm total length (TL). This species inhabits coastal waters and eventually enters interior waters to give birth. This shark is abundant in the northern Gulf of Mexico and, in particular, along the Florida peninsula (Parsons, 1993). Within Mexican waters, its principal area of distribution is in Campeche.

Because the catch records of this fishery are restricted to two categories (cazon and shark), there is little information on the proportion of species recorded in them (Applegate *et al.*, 1979; Castillo-Géniz, 1990; Bonfil, 1994); however, an intense monitoring program of the artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico, carried out from November 1993 to November 1994, revealed the catch composition at the species level and aspects of their life history. In this respect, the objectives of the present study are: (1) to determine the vulnerability of the population of *S. tiburo* in the southeastern Gulf of Mexico, using a demographic analysis as a tool for assessment and management; (2) to explore the hypothetical tendency of the net reproductive rate ( $R_0$ ) under different theoretical levels of exploitation.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos se llevaron a cabo en los principales lugares de desembarque de tiburón en el Golfo de México en el periodo de noviembre de 1993 a noviembre de 1994, registrándose la zona de pesca y otros datos generales de la especie. La composición de la captura por frecuencia de longitudes se obtuvo por estado y por mes con la finalidad de describir la disponibilidad regional de los individuos.

La condición de madurez fue asignada macroscópicamente para ambos sexos basado en la siguiente escala relativa: (1) neonato; (2) juvenil; (3) subadulto; (4) maduro; (5) preñez. Los machos se consideraron maduros cuando sus *claspers* mostraron fácil rotación y calcificación. También se observó la presencia de fluido seminal en la epididimis inferior. Por otro lado, las hembras se consideraron maduras cuando mostraron evidencias de preñez y la presencia de óvulos maduros en el ovario. La principal temporada de nacimiento fue calculada dividiendo el número de embriones por mes (nem), entre el número total de embriones en el año (nte) por cien ( $nem/nte * 100$ ). La fecundidad fue estimada con una regresión lineal entre el número de embriones en la camada y la longitud total (centímetros) de la madre (tabla 1). Para llevar a cabo lo anterior, utilizamos la mejor información biológico-pesquera disponible y los parámetros de crecimiento estimados para la misma especie de aguas norteñas del Golfo de México. Esta información fue incorporada en una tabla de vida y a un modelo dinámico estructurado por edades, siguiendo la metodología descrita por Cailliet (1992) y Cortés (1995) para tiburones.

### Supuestos de los modelos

#### Tabla de vida

- La población se encuentra en equilibrio en el año  $t = 0$ .
- Para ambos sexos, el crecimiento es descrito por los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy estimados por Parsons (1993).

## MATERIAL AND METHODS

The samplings were conducted at the principal landing sites of shark in the Gulf of Mexico, from November 1993 to November 1994. The fishing area and other general data of the species were recorded. The catch composition per length frequency was recorded by state and by month, in order to describe the regional availability of the individuals.

The phase of maturity of both sexes was determined microscopically, based on the following relative scale: (1) neonate; (2) juvenile; (3) subadult; (4) mature; (5) gravid. Males were considered mature when their claspers rotated easily and showed calcification. The presence of seminal fluid in the lower epididymis was also observed. Females were considered mature when they were gravid or when there were mature ovules in the ovary. The principal parturition period was calculated by dividing the number of embryos per month (nem) by the total number of embryos per year (tne) and multiplying by one hundred ( $nem/tne * 100$ ). Fecundity was estimated with a linear regression between the number of embryos in the litter and the total length (centimeters) of the mother (table 1). For this, we used the best biological and fishery information available, as well as the growth parameters estimated for this species from northern waters of the Gulf of Mexico. This information was incorporated into a life table and an age-structured dynamic model, following the method described by Cailliet (1992) and Cortés (1995) for sharks.

### Assumptions of the models

#### Life table

- The population is in equilibrium in the year  $t = 0$ .
- Growth for both sexes is described by the parameters of the von Bertalanffy equation estimated by Parsons (1993).

- La supervivencia anual de los tiburones a partir de la edad de primera captura ( $i_{pc}$ ) está dada por  $e^{M-F}$ .
- Los procesos de fecundidad y mortalidad no son afectados por la densidad de la población y son estacionarios en el tiempo.
- El éxito reproductivo de las hembras no depende del número de machos en la población.
- La población presenta una distribución estable por edades.
- La estimación de los parámetros demográficos se lleva a cabo de forma determinística.

#### Modelo dinámico

- El número de sobrevivientes de un año dado depende de los sobrevivientes del año anterior.
- El coeficiente de mortalidad natural ( $M$ ) es constante para todos los grupos de edad y en todos los años.
- Para ambos modelos se asume que se trata de una sola población de *S. tiburo* en el sureste del Golfo de México, con parámetros de crecimiento similares a los individuos de aguas norteñas del Golfo de México.

#### Análisis demográfico (tabla de vida)

Los parámetros utilizados en la tabla de vida para *S. tiburo* fueron obtenidos de diversas fuentes (tabla 1). Primero se estimaron los parámetros demográficos en condiciones naturales (sólo  $M$ ) y después en condición de explotación teórica ( $M + F$ ). Siguiendo el mismo procedimiento y supuestos utilizados por Cailliet (1992), Cailliet *et al.* (1992), Cortés (1995), Sminkey y Musick (1995) y Cortés y Parsons (1996), la tasa instantánea de mortalidad natural ( $M$ ) fue calculada utilizando la ecuación de regresión propuesta por Hoenig (1983), la cual permite calcular la mortalidad total ( $Z$ ) como una función de la longevidad ( $i_{max}$ ), asumiendo que si la población se encuentra en equilibrio o ligeramente explotada, entonces  $Z \approx M$  (tabla 1). Para estimar los parámetros demográficos en condiciones de explotación, el coeficiente teórico de mortalidad por pesca ( $F$ ) se obtuvo por diferencia,  $F = Z - M$ ,

- The annual survivorship of the sharks at age at first capture ( $i_{pc}$ ) is given by  $e^{M-F}$ .
- The processes of fecundity and mortality are not affected by the density of the population and they are stable through time.
- The reproductive success of the females does not depend on the number of males in the population.
- The population presents a stable age distribution.
- The estimates of the demographic parameters are obtained in a deterministic manner.

#### Dynamic model

- The number of survivors in a given year depends on the survivors from the previous year.
- The natural mortality coefficient ( $M$ ) is constant for all age groups and for all years.
- It is assumed for both models that there is only one population of *S. tiburo* in the south-eastern Gulf of Mexico, which has similar growth parameters to those of individuals of the northern Gulf of Mexico.

#### Demographic analysis (life table)

The parameters used in the life table for *S. tiburo* were obtained from different sources (table 1). First, the demographic parameters were estimated under natural conditions ( $M$  only) and again under conditions of theoretical exploitation ( $M + F$ ). Following the same procedure and assumptions used by Cailliet (1992), Cailliet *et al.* (1992), Cortés (1995), Sminkey and Musick (1995) and Cortés and Parsons (1996), the instantaneous natural mortality rate ( $M$ ) was calculated using the regression equation proposed by Hoenig (1983), which calculates total mortality ( $Z$ ) as a function of longevity ( $i_{max}$ ), and assumes that if the population is in equilibrium or slightly exploited, then  $Z \approx M$  (table 1). In order to estimate the demographic parameters under exploitation conditions, the theoretical fishing mortality coefficient ( $F$ ) is obtained from  $F = Z - M$ , where  $Z$  is the total mortality coefficient.

**Tabla 1.** Valores asignados a los parámetros incorporados en los modelos.

**Table 1.** Values assigned to the parameters incorporated into the models.

---

Crecimiento (Parsons, 1993)

$K =$	0.34
$L_{\infty} =$	115 cm LT
$t_0 =$	-1.1
longevidad =	12 años

Mortalidad

$M =$	0.35*
$F =$	0.45, $F = (Z - M)$
$Z =$	0.8**

Fecundidad

$a =$	-7.16
$b =$	0.178
$r^2 =$	0.17†
$n =$	28

Edad de primera captura

$i_{pc} =$	2.11 años (75.4 cm LT, $n = 2882$ )‡
	3 años (86.47 cm LT)

Edad de primera madurez

$i_{pm} =$	3.53 años (91.2 cm LT, $n = 28$ )
------------	-----------------------------------

---

\* Estimado con la ecuación de Hoenig (1983).

\*\* Estimado con la ecuación de Beverton y Holt (1956).

†  $P < 0.05$ .

‡ Error estándar = 0.31.

donde  $Z$  es el coeficiente de mortalidad total, el cual fue calculado con la ecuación propuesta por Beverton y Holt (1956), incorporando datos de la pesquería:

which is calculated with the equation proposed by Beverton and Holt (1956), incorporating fishery data:

$$Z = K \left[ \frac{L_{\infty} - Lm}{Lm - L'} \right]$$

donde  $K$  y  $L_{\infty}$  son parámetros de la ecuación de von Bertalanffy,  $Lm$  es la longitud media de la muestra y  $L'$  es la longitud de primera captura.

where  $K$  and  $L_{\infty}$  are the von Bertalanffy equation parameters,  $Lm$  is the mean length of the sample and  $L'$  is length at first capture.

Los parámetros demográficos estimados fueron calculados de acuerdo con la metodología convencional (Krebs, 1985; Getz y Haight, 1989) y la recomendada por Cailliet (1992) y Cortés (1995) para tiburones. Dichos parámetros son la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ), la cual está dada por:

$$R_0 = \sum_{i=0}^{i_{max}} l_i Y_i$$

donde  $l_i$  y  $Y_i$  son la supervivencia y la fecundidad a la edad  $i$ . El tiempo generacional ( $G$ ) fue calculado con la siguiente función:

$$G = \frac{\sum_{i=0}^{i_{max}} l_i Y_i i}{R_0}$$

La tasa intrínseca de incremento poblacional ( $r$ ) fue calculada con el método de Newton a través de satisfacer la ecuación de Euler-Lotka (Krebs, 1985), utilizando la herramienta Resolver del programa Excel (Ver. 5.0) de Microsoft. La ecuación Euler-Lotka es:

$$\sum_{i=0}^{i_{max}} l_i Y_i e^{-r i} = 1$$

donde  $l_i$  y  $Y_i$  ya fueron descritas y  $r$  es la tasa intrínseca de incremento de la población. La tasa finita de incremento es  $\lambda = e^r$ .

El valor teórico (años) del tiempo de duplicidad poblacional ( $i_{x2}$ ) fue calculado como:

$$i_{x2} = \ln(2) / r$$

### Modelo dinámico

Para predecir la tendencia de la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ), se utilizan los mismos valores de los parámetros de la tabla de vida en un modelo estructurado por edades, siguiendo la estructura derivada por Walker (1992).

The demographic parameters estimated were calculated according to conventional methodology (Krebs, 1985; Getz and Haight, 1989) and that recommended by Cailliet (1992) and Cortés (1995) for sharks. These parameters are the net reproductive rate ( $R_0$ ), which is given by:

where  $l_i$  and  $Y_i$  are survivorship and fecundity at age  $i$ . The generation time ( $G$ ) was calculated with the following function:

The intrinsic rate of population increase ( $r$ ) was calculated with Newton's method, refined by using the Euler-Lotka equation (Krebs, 1985) with the Solver tool from the Microsoft Excel (Ver. 5.0) program. The Euler-Lotka equation is:

where  $l_i$  and  $Y_i$  have already been defined and  $r$  is the intrinsic rate of population increase. The finite rate of increase is  $\lambda = e^r$ .

The theoretical value (years) of population doubling time ( $i_{x2}$ ) was calculated as:

### Dynamic model

In order to predict the tendency of the net reproductive rate ( $R_0$ ), the same values of the parameters of the life table were used in an age-structured model, following the structure derived by Walker (1992).

El crecimiento es representado con la ecuación de von Bertalanffy:

$$LT = L_{\infty} [1 - e^{(-K(t-t_0))}]$$

donde  $K$  y  $L_{\infty}$  fueron previamente descritos y  $t_0$  representa la edad cuando  $LT = 0$ .

La supervivencia de los tiburones reclutados a la edad  $i$  en el año  $t$  se asume que está dada por:

$$e^{-M-F_{it}}$$

$F$  permanece constante para todas las edades reclutadas, desde que  $i \geq i_{pc}$ .

La supervivencia de los prereclutas en el año  $t$  está dada por:

$$e^{-M}$$

mientras que el número de tiburones reclutados de edad  $i$  en la población al inicio del año  $t$  y sobreviviendo al inicio del año  $t + 1$  está dado por:

$$N_i + 1, t + 1 = N_{it} e^{-M-F_{it}}$$

El número de tiburones prereclutas de edad  $i$  en la población al inicio del año  $t$  y sobreviviendo al inicio del año  $t + 1$  está dado por:

$$N_i + 1, t + 1 = N_{it} e^{-M}$$

Se consideró que el número de hembras de la población que se reproducen al año  $y_i$  ( $i \geq i_{mad}$ ) es igual a 1.0, lo cual significa que todas las hembras se reproducen en la misma proporción, después de alcanzar la edad de madurez ( $i_{mad}$ ).

La fecundidad se estimó como el número promedio de nacimientos por año por hembra de edad  $i$ , asumiendo que es igual al número de embriones contenidos por cada hembra preñada:

$$Y_i = a + b Lt$$

Growth is represented by the von Bertalanffy equation:

$$LT = L_{\infty} [1 - e^{(-K(t-t_0))}]$$

where  $K$  and  $L_{\infty}$  have already been defined and  $t_0$  is the age when  $TL = 0$ .

Survivorship of the sharks recruited at age  $i$  in year  $t$  is assumed to be given by:

$$e^{-M-F_{it}}$$

$F$  remains constant for all recruited ages, since  $i \geq i_{pc}$ .

Survivorship of the prerecruits in year  $t$  is given by:

$$e^{-M}$$

whereas the number of sharks in the population recruited at age  $i$  at the start of year  $t$  and surviving at the start of year  $t + 1$  is given by:

$$N_i + 1, t + 1 = N_{it} e^{-M-F_{it}}$$

The number of prerecruits of age  $i$  in the population at the start of year  $t$  and surviving at the start of year  $t + 1$  is given by:

$$N_i + 1, t + 1 = N_{it} e^{-M}$$

It was considered that the number of females of the population that reproduce at year  $y_i$  ( $i \geq i_{mad}$ ) is equal to 1.0, which means that all the females reproduce at the same proportion, after reaching the age of maturity ( $i_{mad}$ ).

Fecundity was estimated as the average number of births per year per female at age  $i$ , assuming that it is equal to the number of embryos present in each gravid female:

$$Y_i = a + b Lt$$

donde  $a$  y  $b$  son parámetros de la regresión entre la longitud total de la madre ( $L_t$ ) y el número de embriones ( $Y_i$ ).

El número total de neonatos ( $n_{it}$ ) producidos por hembra de edad  $i$  al inicio del año  $t$  está dado por:

$$n_{it} = N_{it} Y_i y_i$$

donde  $N_{it}$  es el número de hembras de tiburón a la edad  $i$ , al tiempo  $t$ .

El cálculo de la tasa neta reproductiva ( $R_0$ ) se realizó sólo para hembras. La proporción sexual de los embriones fue de 1:1 y el valor en la población depende del número de sobrevivientes del año anterior, por lo que el número total de hembras que nacerán en el año  $t + 1$ ,  $N_{0,t+1}$ , está dado por:

$$N_{0,t+1} = \sum_{i=0}^{i_{max}} n_{it} = (R_0)$$

Como condición inicial, al inicio se asume que la población está en equilibrio ( $N_t = 1$ ) al primer año ( $t = 0$ ).

**Efecto de  $i_{pc}$  y  $F$  en la tasa neta reproductiva ( $R_0$ )**

La primera estimación (tabla de vida) de los parámetros demográficos se realizó utilizando únicamente la mortalidad natural ( $M$ ) como el único evento que afecta a la supervivencia como se describió previamente.

La distribución estable por edades ( $C_i$ ) fue calculada de acuerdo con Mertz (1970, en Krebs 1985); la función que describe dicha distribución es:

$$C_i = \frac{e^{-r} l_i}{\sum_{i=0}^{i_{max}} e^{-r} l_i}$$

donde  $l_i$  es la función de supervivencia (en condición natural) a la edad  $i$ ,  $l_i = N_0 e^{-iM/1}$ ,

where  $a$  and  $b$  are the regression parameters between total length of the mother ( $L_t$ ) and the number of embryos ( $Y_i$ ).

The total number of neonates ( $n_{it}$ ) produced per female at age  $i$  at the start of year  $t$  is given by:

where  $n_{it}$  is the number of females at age  $i$ , at time  $t$ .

The net reproductive rate ( $R_0$ ) was only calculated for females. The sexual ratio of the embryos was 1:1 and the value of the population depends on the number of survivors from the previous year; therefore, the total number of females that will be born in the year  $t + 1$ ,  $N_{0,t+1}$ , is given by:

As an initial condition, it is assumed that the population is in equilibrium ( $N_t = 1$ ) in the first year ( $t = 0$ ).

**Effect of  $i_{pc}$  and  $F$  on the net reproductive rate ( $R_0$ )**

The first estimate (life table) of the demographic parameters was made using only natural mortality ( $M$ ) as the sole event that affects survivorship as previously described.

The stable age distribution ( $C_i$ ) was calculated according to Mertz (1970, in Krebs, 1985). The function that describes this distribution is:

where  $l_i$  is the survivorship function (under natural conditions) at age  $i$ ,  $l_i = N_0 e^{-iM/1}$ ,



donde  $N_0$  es el número de individuos a la edad 0 ( $N_i = 1$ ).

Los parámetros fueron estimados con el valor de  $F$  ( $F = 0.45$ ), derivado de la diferencia de  $F = Z - M$ , el cual fue incorporado a diferentes edades de primera captura, expresados como  $i_{pc} = 0, 2, 4, 6, 8$  años, para simular el efecto en la supervivencia y la tasa reproductiva a la edad  $i$  de una cohorte teórica. Posteriormente, se utilizaron diferentes valores teóricos de  $F$ , de 0.2 a 0.75 en intervalos de 0.05, para estimar las posibles opciones de salida de  $R_0$ , variando  $i_{pc}$  en todo el intervalo de clases de edad ( $i = 0$  hasta  $i_{max} = 12$ ). El valor de  $R_0$  fue seleccionado como indicador de respuesta, debido a su interpretación biológica (número promedio de neonatos hembras producidos por cada hembra de la población durante toda su vida). La tasa de cambio de  $R_0$  fue evaluada con un factor multiplicativo simple [fm] utilizado por Cortés (1995), en el cual la tasa neta reproductiva  $R_{0M}$  que se estimó en condiciones naturales (sólo  $M$ ), es dividido entre el mismo parámetro estimado en condiciones de explotación  $R_{0F}$ , lo que resulta en el número de veces que el valor del parámetro ha cambiado ( $R_{0M}/R_{0F}$ ). El modelo dinámico estructurado por edades fue utilizado para proyectar  $R_0$  en el tiempo y explorar su conducta, variando los valores de entrada en los rangos previamente descritos.

Las predicciones del estado de explotación se obtuvieron utilizando la  $F$  base ( $F = 0.45$ ). A partir de ello, se formularon diferentes opciones de manejo permitiendo evaluar la vulnerabilidad de esta especie bajo diferentes escenarios de explotación. Así que, la tendencia de  $R_0$  utilizando el modelo dinámico fue explorada con valores de  $F$ , desde  $F = 0.45$  hasta  $F = 0.75$ , en intervalos de 0.05 para cada caso de  $i_{pc} = 2$  y 3 años. La proyección de forma determinística se realizó desde 1997 hasta el año 2010, para describir la tendencia de  $R_0$  si el valor actual de  $F$  se mantuviera constante a partir de 1997 como estrategia de manejo.

## RESULTADOS

Debido a sus hábitos costeros, *S. tiburo* es abundante durante todo el año. La información

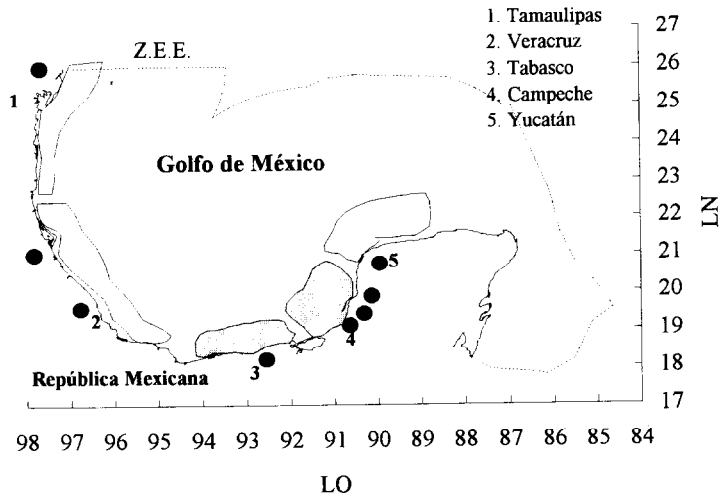
where  $N_0$  is the number of individuals at age 0 ( $N_i = 1$ ).

The parameters were estimated with the  $F$  value ( $F = 0.45$ ), derived from  $F = Z - M$ , which was incorporated into different ages at first capture, expressed as  $i_{pc} = 0, 2, 4, 6, 8$  years, in order to simulate the effect of a theoretical cohort on survivorship and the reproductive rate at age  $i$ . Different theoretic  $F$  values, from 0.2 to 0.75 in intervals of 0.05, were then used to estimate the possible output options of  $R_0$ , varying  $i_{pc}$  throughout the range of age classes ( $i = 0$  to  $i_{max} = 12$ ). The value of  $R_0$  was selected as the response indicator, due to its biological interpretation (average number of female neonates produced by each female of the population during its life). The rate of change of  $R_0$  was evaluated with a simple multiplication factor [fm] used by Cortés (1995), in which the net reproductive rate  $R_{0M}$  that was estimated under natural conditions ( $M$  only) is divided by the same parameter estimated under conditions of exploitation  $R_{0F}$ , resulting in the number of times that the parameter value has changed ( $R_{0M}/R_{0F}$ ). The age-structured dynamic model was used to project  $R_0$  through time and explore its conduct by varying the input values of the ranges previously described.

The state of exploitation was predicted using  $F$ -base ( $F = 0.45$ ). With this, different management options were formulated and it was thus possible to evaluate the vulnerability of this species under different exploitation scenarios. The tendency of  $R_0$ , using the dynamic model, was explored with  $F$  values, from  $F = 0.45$  to  $F = 0.75$  in intervals of 0.05, for each case of  $i_{pc} = 2$  and 3 years. The deterministic projection was made from 1997 to 2010, in order to describe the tendency of  $R_0$ , if the actual  $F$  value remained constant from 1997 on.

## RESULTS

Due to its coastal habits, *S. tiburo* is abundant throughout the year. It can be assumed from the biological information of the organisms sampled in the artisanal fishing area, that Campeche has a resident population



**Figura 1.** Zona de operación de la flota artesanal tiburonera. La zona sombreada representa la principal zona de concentración del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, del sureste del Golfo de México.

**Figure 1.** Area of operation of the artisanal shark fleet. The shadowed area represents the main area of concentration of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, in the southeastern Gulf of Mexico.

biológica de los organismos muestreados en la zona de pesca artesanal nos hace presumir que en la Sonda de Campeche se cuenta con una población residente de esta especie; asimismo, la extensión de pesca de las embarcaciones (<100 millas náuticas) utilizadas en esta pesquería permite suponer que los datos obtenidos en los muestreos son representativos de toda la población (fig. 1).

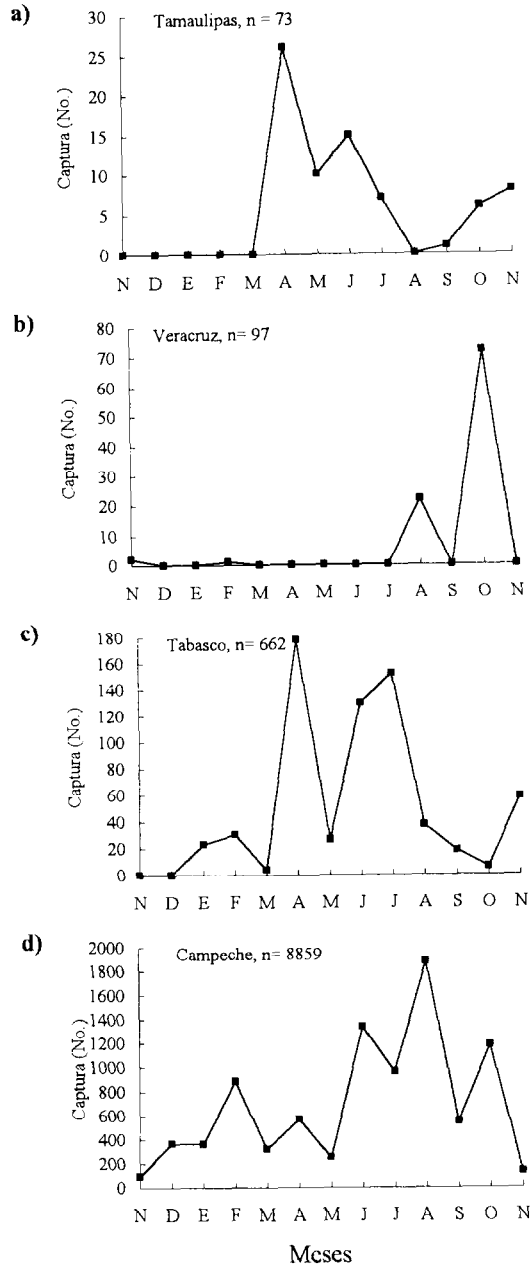
#### Estacionalidad de las capturas

La pesca del cazón pech, *S. tiburo*, se lleva a cabo con redes agalleras cazoneras y cimbras. La abertura de malla de las redes de los estados de Tabasco y Campeche oscila en un intervalo de 7.5 a 20.2 cm. Las cimbras utilizan anzuelos de tipo noruego, japonés, atunero y garra de águila de diversos tamaños. Durante el año de muestreo se registraron un total de 9691 individuos de *S. tiburo* (fig. 2). Los estados de Tamaulipas y Veracruz aportaron el 1.75% del total de las capturas (fig. 2a, b). En Tabasco se observó el 6.83% de las capturas y su mayor abundancia se registró en el mes de abril, con el

of this species. It can also be assumed from the fishing areas of the ships (<100 nautical miles), that the data obtained from the samplings are representative of the entire population (fig. 1).

#### Seasonality of the catches

The fishery of the bonnethead shark *S. tiburo* is carried out with gill nets and longlines. The mesh size of the nets used in Tabasco and Campeche range from 7.5 to 20.2 cm. The longlines use Norwegian, Japanese and tuna-type hooks or eagle claws of different sizes. A total of 9691 individuals of *S. tiburo* were recorded during the sampling year (fig. 2). The states of Tamaulipas and Veracruz contributed 1.75% of the total catch (fig. 2a, b). Tabasco contributed 6.83% of the catches, with the greatest abundance, 26.8%, occurring during April, which represents 1.84% of the total catch (fig. 2c). The largest catches were recorded for Campeche, with 91.41% of the total. There was a peak in abundance during August that represented 19.37% of the total catch of this



**Figura 2.** Estacionalidad de las capturas del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, por estado.  
**Figure 2.** Seasonality of the catches of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, by state.  
(a) Tamaulipas, (b) Veracruz, (c) Tabasco, (d) Campeche.

26.8% del estado, que representa el 1.84% de la captura total (fig. 2c). Las mayores capturas se registraron en el estado de Campeche, con el 91.41% del total, observándose un pico de abundancia en el mes de agosto que representó el 19.37% de la captura total de esta especie y el 21.19% del total del estado (fig. 2d).

### Distribución de frecuencia de longitudes de la captura

En la figura 3 se muestra la distribución de la frecuencia de longitudes por mes. La captura obtenida frente a los estados de Tabasco y Campeche fue representada por un intervalo de longitudes de 30 a 125 cm LT, con la moda en el intervalo de los 80 cm LT. El seguimiento de la distribución de frecuencias de los embriones reveló que los individuos recién nacidos son vulnerables a la pesca en otoño.

### Talla mínima de madurez

La longitud de la hembra preñada más pequeña (utilizada como la talla de primera madurez) fue de 91.2 cm LT y corresponde, de acuerdo con los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy estimada por Parsons (1993), a 3.53 años de edad. El crecimiento de los *claspers*, en función de la longitud de los machos, reveló que éstos maduran entre los 65 y 70 cm LT. En el análisis demográfico solamente se utilizó la talla mínima de madurez de las hembras.

### Reproducción

Las hembras se aparean durante abril y mayo. El análisis del seguimiento modal de los embriones (junio, julio, octubre) reveló que el periodo de gestación dura aproximadamente de 4 a 5 meses. Los individuos de esta especie nacen entre los 30 y 35 cm LT, durante agosto y septiembre. La proporción sexual de los embriones fue de 1:1.

### Análisis demográfico

Las estimaciones bajo un escenario natural y otro en explotación se resumen en la tabla 2.

species and 21.19% of the total for the state (fig. 2d).

### Length frequency distribution of the catch

Figure 3 shows the length frequency distribution by month. The catch obtained off Tabasco and Campeche consisted of lengths that ranged from 30 to 125 cm TL, with a mode at 80 cm TL. The frequency distribution of the embryos showed that the newborn individuals are susceptible to exploitation during autumn.

### Minimum size at maturity

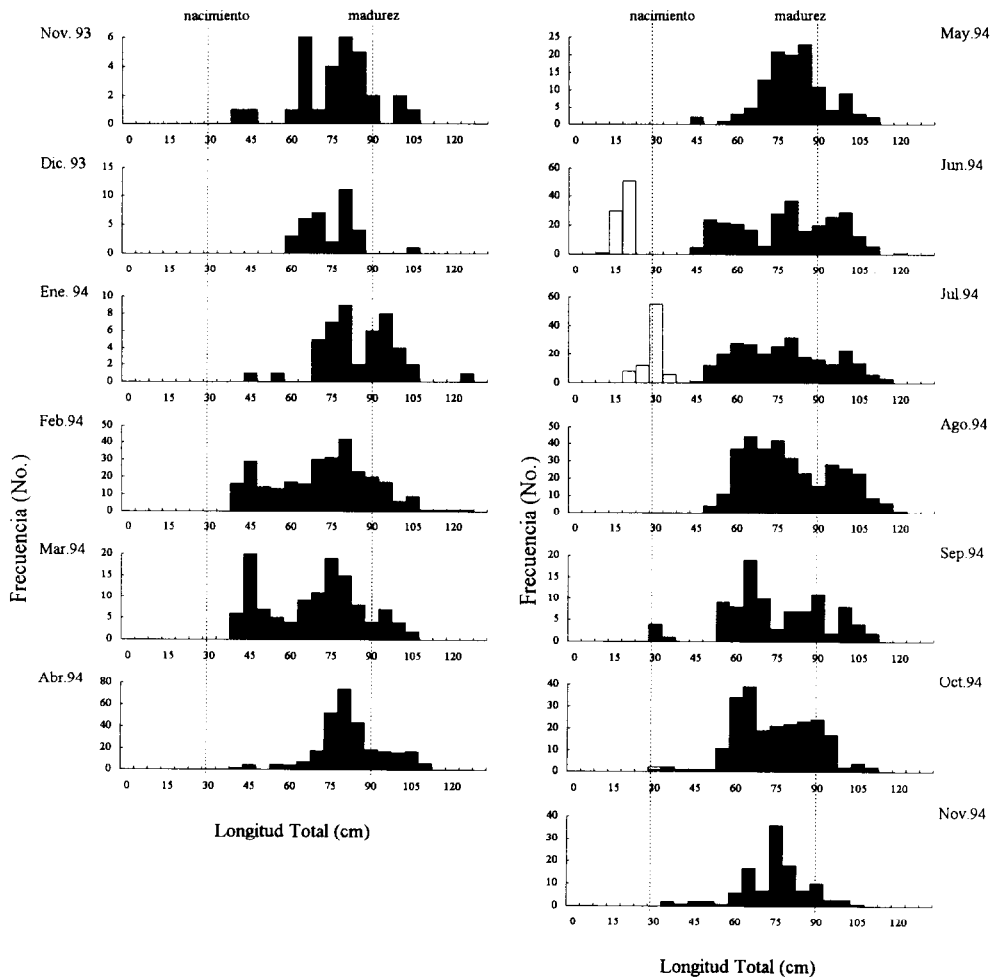
The length of the smallest gravid female (used as the size at first maturity) was 91.2 cm TL. According to the parameters of the von Bertalanffy growth equation estimated by Parsons (1993), this corresponds to 3.53 years of age. The growth of the claspers, in terms of length of the males, showed that they mature between 67 and 70 cm TL. The demographic analysis only used the minimum size at maturity of the females.

### Reproduction

Mating occurs during April and May. The analysis of the increments of the modes of the embryos (June, July, October) showed that the gestation period lasts approximately 4 to 5 months. The individuals of this species are born during August and September, and measure between 30 and 35 cm TL. The sex ratio of the embryos was 1:1.

### Demographic analysis

The estimates of the natural and exploitation scenarios are shown in table 2. It was determined that under natural conditions, the population can increase 32.75% per year and can double ( $i_{x,2}$ ) every 2.1 years. The parameter estimates under exploitation conditions indicated that the population can increase between 15.60% and 27.03% per year with  $i_{pc} = 2$  and 3 years, respectively. The multiplication factor indicated that the variation of  $R_0$  with  $i_{pc} = 2$  years was 3.15 and with  $i_{pc} = 3$  years, 2.0.



**Figura 3.** Distribución de frecuencia de longitudes del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, en el sureste del Golfo de México. Las barras blancas representan los embriones.

**Figure 3.** Length frequency distribution of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, in the south-eastern Gulf of Mexico. The white bars represent embryos.

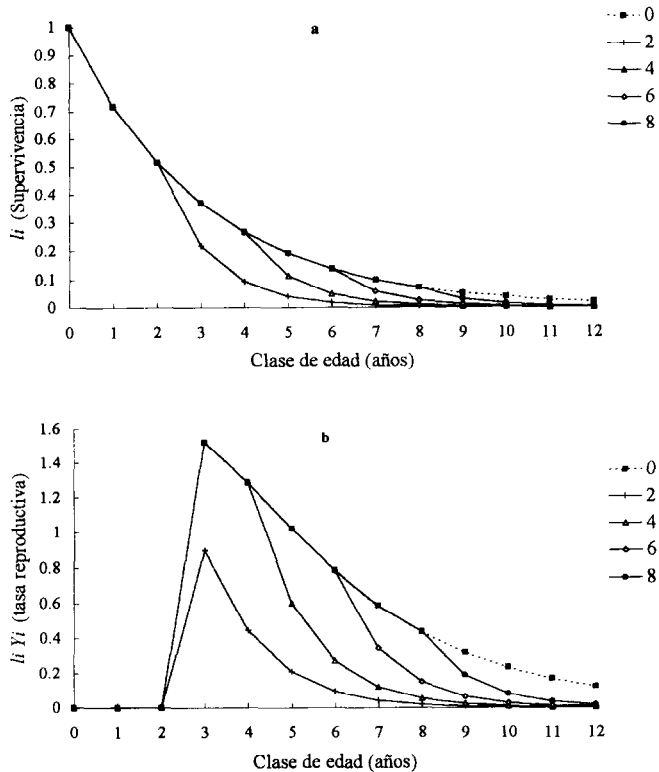
Se estimó que en condiciones naturales la población se puede incrementar 32.75% al año y se pudiera duplicar ( $i_{v2}$ ) cada 2.1 años. Por otro lado, la estimación de los parámetros en condiciones de explotación indicaron que la población se puede incrementar entre el 15.60% y 27.03% al año, con  $i_{pc} = 2$  y 3 años, respectivamente. El factor multiplicativo indicó que la variación de  $R_0$  con  $i_{pc} = 2$  años fue de 3.15 y con  $i_{pc} = 3$  años de 2.0.

It was possible to establish survivorship curves under different conditions of exploitation by varying  $i_{pc}$  ( $i_{pc} = 0, 2, 4, 6, 8$  years). When  $F = 0.45$  was introduced at an age of  $i_{pc} = 2.11$  years (rounded off to  $i_{pc} = 2$  years, estimated from the average length of the sample,  $TL = 76.4$ ,  $n = 2882$ , standard error = 0.31), there was a decrease in the reproductive rate as a result of  $i_{pc} < i_{mad}$  (fig. 4a, b). The prediction of the stable age distribution ( $C_i$ ) for the

**Tabla 2.** Valor de salida de los parámetros demográficos. La columna etiquetada con  $M$  es la estimación en condiciones naturales ( $F = 0$ ;  $M = 0.35$ );  $fm$  = factor multiplicativo ( $R_{0M}/R_{0F}$ );  $\lambda = e^r$  (ver texto).

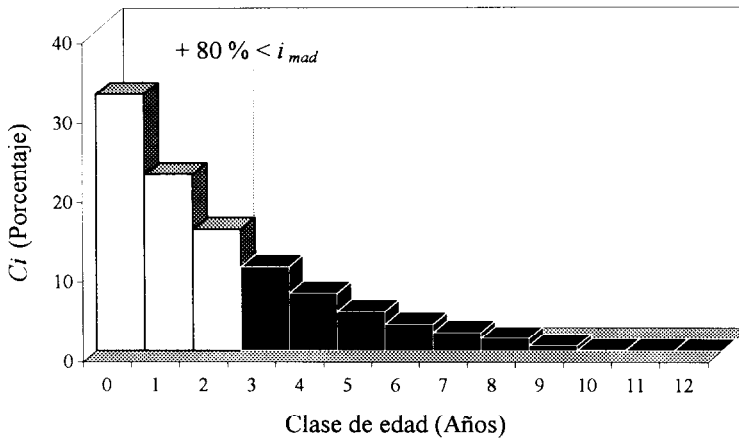
**Table 2.** Output value of the demographic parameters. The column labeled  $M$  is the estimate under natural conditions ( $F = 0$ ;  $M = 0.35$ );  $fm$  = multiplication factor ( $R_{0M}/R_{0F}$ );  $\lambda = e^r$  (see text).

Parámetro demográfico	$M$	$F = 0.45$			
		$i_{pc} = 2$	$fm$	$i_{pc} = 3$	$fm$
$R_0 =$	5.86	1.86	3.151	2.92	2.007
$G =$	5.4	3.96	1.364	3.97	1.360
$r =$	0.328	0.157	2.089	0.27	1.215
$\lambda =$	1.388	1.17	1.186	1.31	1.060
$t_{x2} =$	2.1	4.4	0.477	2.56	0.820



**Figura 4.** Simulación del efecto de la mortalidad por pesca ( $F = 0.45$ ) en una cohorte teórica del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, a diferentes edades de primera captura (leyendas). (a) Curvas de supervivencia; (b) valor de la tasa reproductiva.  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 2$  años.

**Figure 4.** Simulation of the effect of fishing mortality ( $F = 0.45$ ) in a theoretical cohort of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, at different ages at first capture (legends). (a) Survivorship curves; (b) value of the reproductive rate.  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 2$  years.



**Figura 5.** Predicción de la distribución estable por edades del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, en el sureste del Golfo de México, asumiendo crecimiento geométrico, mortalidad y fertilidad constante a edades específicas.

**Figure 5.** Prediction of the stable age distribution of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, in the southeastern Gulf of Mexico, assuming geometric growth and constant mortality and fertility at specific ages.

Las variaciones de  $i_{pc}$  ( $i_{pc} = 0, 2, 4, 6, 8$  años) permitieron estimar las curvas de supervivencia bajo diferentes condiciones de explotación. Cuando el valor de  $F = 0.45$  fue introducido a una edad de  $i_{pc} = 2.11$  años (valor redondeado a  $i_{pc} = 2$  años, estimado de la longitud promedio de la muestra,  $LT = 76.4$ ,  $n = 2882$ , error estándar = 0.31), se observó el decremento de la tasa reproductiva como efecto de  $i_{pc} < i_{mad}$  (fig. 4a, b). La predicción de la distribución estable por edades ( $C_i$ ) para el escenario natural indicó que más del 80% corresponde a individuos que no han alcanzado aún la madurez (fig. 5).

Las exploraciones en dos sentidos (variando  $i_{pc}$  y  $F$ ) a través de la tabla de vida indicaron que esta especie puede ser capturada a cualquier  $i_{pc}$  con niveles de  $F \leq 0.35$ , obteniéndose valores de  $R_0 > 1$  (tabla 3). La superficie de respuesta de las simulaciones de  $R_0$  utilizando dicha exploración se muestra en la figura 6. La tendencia de  $R_0$  en función de  $i_{pc}$  mostró un incremento de tipo logístico donde la asíntota superior o el límite del poder reproductivo es  $R_0$  en condición natural, mientras que este mismo

natural scenario indicated that more than 80% corresponds to individuals that have not yet reached maturity (fig. 5).

The two-way explorations (varying  $i_{pc}$  and  $F$ ) in the life table indicated that this species can be caught at any  $i_{pc}$  with levels of  $F \leq 0.35$ , obtaining values of  $R_0 > 1$  (table 3). The surface response of the  $R_0$  simulations using this exploration is shown in figure 6. The tendency of  $R_0$  in terms of  $i_{pc}$  showed a logistical-type increase where the upper asymptote or limit of reproductive capacity is  $R_0$  under natural conditions. This same parameter tends to decrease exponentially in terms of the  $F$  values, from  $F > 0$ . In all the runs varying  $F$ ,  $R_0$  tended to increase (fig. 7). Only with the values of  $F = 0.7$  and 0.75, with  $i_{pc} = 2$  years, was the increase in  $R_0$  not as pronounced (fig. 7a).

## DISCUSSION

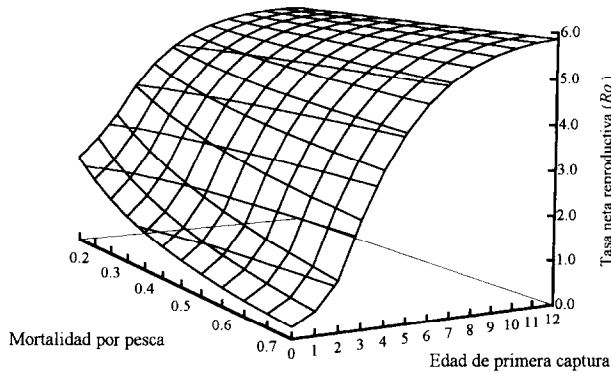
Due to the lack of historical data series on catch and effort, the demographic parameters of the bonnethead shark *S. tiburo* from the southeastern Gulf of Mexico were estimated using

**Tabla 3.** Estimación de  $R_0$  de *Sphyrna tiburo* ante variaciones de edad de primera captura ( $i_{pc}$ ) y mortalidad por pesca ( $F$ ).  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 3$  años. Los números en itálicas representan los valores de  $R_0 < 1$ . Los valores dentro del cuadro representan los más factibles.

**Table 3.** Estimate of  $R_0$  of *Sphyrna tiburo* using variations of age at first capture ( $i_{pc}$ ) and fishing mortality ( $F$ ).  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 3$  years. The numbers in italics represent the values of  $R_0 < 1$ . The values inside the square are the most feasible.

$i_{pc}$	$F$											
	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
0	2.18	1.74	1.40	1.14	<i>0.93</i>	<i>0.76</i>	<i>0.62</i>	<i>0.51</i>	<i>0.43</i>	<i>0.35</i>	<i>0.29</i>	<i>0.25</i>
1	2.66	2.24	1.89	1.61	1.38	1.19	1.03	<i>0.89</i>	<i>0.77</i>	<i>0.68</i>	<i>0.59</i>	<i>0.52</i>
2	3.25	2.87	2.56	2.29	2.06	1.86	1.69	1.54	1.41	1.29	1.19	1.10
3	3.97	3.69	3.45	3.25	3.07	2.92	2.79	2.67	2.57	2.48	2.40	2.33
4	4.54	4.33	4.15	4.01	3.88	3.76	3.66	3.58	3.50	3.43	3.37	3.32
5	4.96	4.81	4.69	4.58	4.49	4.40	4.33	4.27	4.21	4.16	4.12	4.08
6	5.26	5.16	5.08	5.00	4.94	4.88	4.83	4.78	4.74	4.70	4.67	4.64
7	5.48	5.42	5.36	5.31	5.26	5.22	5.19	5.16	5.13	5.10	5.08	5.06
8	5.64	5.60	5.56	5.53	5.50	5.47	5.45	5.42	5.40	5.39	5.37	5.36
9	5.74	5.72	5.70	5.68	5.66	5.64	5.63	5.61	5.60	5.59	5.58	5.57
10	5.81	5.80	5.79	5.78	5.77	5.76	5.75	5.74	5.74	5.73	5.72	5.72
11	5.85	5.85	5.84	5.84	5.83	5.83	5.83	5.83	5.82	5.82	5.82	5.82
12	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87





**Figura 6.** Superficie de respuesta de los valores de  $R_0$  del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, en el sureste del Golfo de México, bajo combinaciones de  $i_{pc}$  y  $F$ . Note que el valor de  $R_0 = 1$  representa el estado de equilibrio (ver texto).

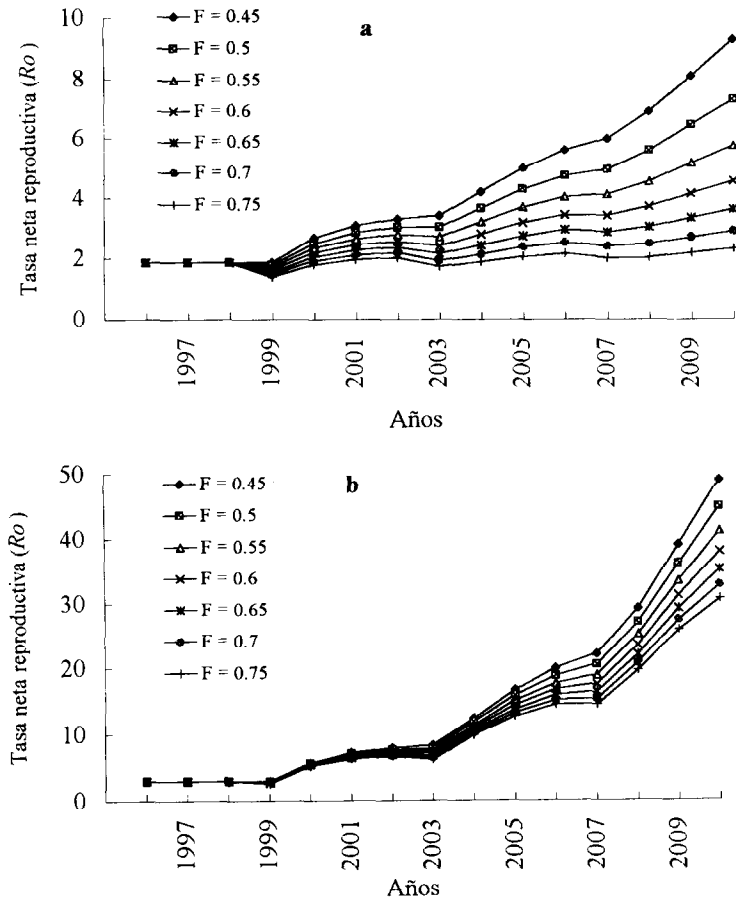
**Figure 6.** Response surface of the  $R_0$  values of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, in the south-eastern Gulf of Mexico, with combinations of  $i_{pc}$  and  $F$ . Note that the value  $R_0 = 1$  represents the state of equilibrium (see text).

parámetro tiende a disminuir exponencialmente en función de los valores de  $F$ , desde  $F > 0$ . En todas las acciones de manejo variando  $F$  se observó una tendencia de  $R_0$  a incrementarse (fig. 7). Solamente los valores de  $F = 0.7$  y  $0.75$ , con  $i_{pc} = 2$  años, permitió que el incremento de  $R_0$  no fuera tan pronunciado (fig. 7a).

## DISCUSIÓN

Debido a la falta de series históricas de datos de captura y esfuerzo, se procedió a estimar los parámetros demográficos del cazón pech, *S. tiburo*, del sureste del Golfo de México, utilizando la mejor información biológica disponible. Este tiburón es una de las especies más importantes de las capturas en aguas de Tabasco y Campeche. El resultado del intensivo monitoreo de la pesca artesanal llevado a cabo evidenció que *S. tiburo* es residente durante todo el año en la Sonda de Campeche. Las capturas registradas al norte de Tabasco durante el periodo de muestreo se consideraron incipientes; por lo tanto, se estima que existe una subpoblación cuyo límite de distribución hacia el norte llega probablemente hasta el sur

the best available biological information. This shark is one of the most important species in the catches from Tabasco and Campeche. The intense monitoring of the artisanal fishery showed that *S. tiburo* occurs in Campeche throughout the year. The catches recorded north of Tabasco during the sampling period were considered incipient, and it is therefore believed that there is a subpopulation whose northern distribution limit probably extends as far as southern Veracruz. The embryonic development of *S. tiburo* was estimated to last between 4 and 5 months, ending in autumn when the pups are born with an average length of 33 cm TL. This information concurs with that reported for this species at Pine Island and Tampa Bay, Florida (Manire *et al.*, 1995). Parsons (1993), however, found variations in the reproduction of *S. tiburo* when comparing individuals from Tampa Bay and Florida Bay, and indicated that the variation may be due to food availability. However, notwithstanding the apparent differences in the reproductive pattern of *S. tiburo* in northern waters, the patterns are considered to be similar to those of the southeastern Gulf of Mexico.



**Figura 7.** Tendencia de  $R_0$  del cazón pech, *Sphyrna tiburo*, del sureste del Golfo de México, con diferentes niveles de mortalidad por pesca: (a)  $i_{pc} = 2$ ; (b)  $i_{pc} = 3$ .  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 3$  años.  
**Figure 7.** The tendency of  $R_0$  of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, of the southeastern Gulf of Mexico, with different levels of fishing mortality: (a)  $i_{pc} = 2$ ; (b)  $i_{pc} = 3$ .  $M = 0.35$ ;  $i_{mad} = 3$  years.

de Veracruz. Se estableció que el desarrollo embrionario de *S. tiburo* dura de 4 a 5 meses, terminando en otoño cuando los individuos nacen con una longitud promedio de 33 cm LT. Lo anterior coincide con lo reportado para la misma especie en la Isla Pine y la Bahía de Tampa en Florida (Manire *et al.*, 1995). Por otro lado, Parsons (1993) encontró variaciones en la reproducción de *S. tiburo*, al comparar individuos de la Bahía de Tampa y la Bahía de

The number of embryos per litter does not significantly differ from that of other small carcharhinids, such as the Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon terraenovae*; however, age at first maturity and the short gestation period were considered key elements in estimating the reproductive capacity of this shark. Cortés (1995) estimated that  $R_0$  of *R. terraenovae* was very sensitive to low  $F$  levels and concluded that, in general, age at first maturity is one of

Florida, y argumentó que la fuente de variación se puede deber a la disponibilidad de alimento. Sin embargo, a pesar de las aparentes divergencias del patrón reproductivo de *S. tiburo* en aguas norteñas, se considera que los patrones son similares a los de la población del sureste del Golfo de México.

El número de embriones por camada no difiere significativamente de otros carcarínidos pequeños, como el cazón de ley, *Rhizoprionodon terraenovae*; sin embargo, se consideró que la edad de primera madurez y el corto periodo de gestación fueron elementos clave en la estimación del poder reproductivo de este tiburón. Cortés (1995) estimó que  $R_0$  de *R. terraenovae* fue muy sensible a bajos niveles de  $F$  y concluyó que, en general, uno de los parámetros que más influencia tiene sobre  $R_0$  es la edad de primera madurez. Es posible que el valor de  $M$ , estimado por el método de Hoenig (1983) en el presente estudio, pudiera estar por debajo del real debido a que este tiburón nace a una longitud reducida y no alcanza gran tamaño, lo cual lo hace vulnerable a la depredación, asumiendo que el mayor porcentaje de  $M$  es por depredación.

Aceptando los supuestos que rodean a los modelos y considerando que los parámetros fueron estimados sin error, el resultado de las simulaciones con la tabla de vida indicó que *S. tiburo* es una especie que cuenta con elementos a su favor para contrarrestar los efectos tanto de los niveles elevados de mortalidad por pesca como de las reducidas longitudes de primera captura.

Se considera que la estimación del coeficiente de mortalidad por pesca obtenido de la diferencia de  $Z - M$  ( $F = Z - M$ ) depende en mayor medida de la incertidumbre que rodea a la estimación de  $M$ , por lo que se reconoce que debe de ser considerado como un valor preliminar, no obstante que el tamaño de muestra para la estimación de  $Z$  se consideró suficientemente representativo. El supuesto de que se trata de una subpoblación de *S. tiburo* se considera válido, dado que su distribución se restringe en gran medida a la Sonda de Campeche, por lo que los procesos de migración que pueden ser fuente de sesgo en la interpretación de la

the parameters that most influences  $R_0$ . It is possible that the  $M$  value estimated in this study using Hoenig's (1983) method could be below the true value, since this shark is born with a small length and does not reach a large size, which makes it vulnerable to predation, assuming that the greatest percentage of  $M$  is due to predation.

Accepting the assumptions of the models and considering that the parameters estimated were error-free, the results of the simulations with the life table indicated that *S. tiburo* is a species that presents favorable elements to counteract the effects of high levels of fishing mortality and the reduced lengths at first capture.

It is considered that the estimate of the fishing mortality coefficient obtained from  $Z - M$  ( $F = Z - M$ ) largely depends on the uncertainty that surrounds the  $M$  estimate and it should therefore be considered a preliminary value, even though the sample size used for estimating  $Z$  was considered sufficiently representative. The assumption that this is a subpopulation of *S. tiburo* is valid, given that its distribution is restricted to Campeche; thus, the processes of migration that can bias the interpretation of total mortality of the population can be eliminated from the models. Cortés and Parsons (1996) conducted a comparative demographic analysis of two populations of *S. tiburo* from the northern Gulf of Mexico. They found small differences in the demographic parameters; they were higher in Florida Bay than in Tampa Bay. The  $R_0$  value (5.86) obtained in this study is higher than that estimated by Cortés and Parsons (1996), who reported an  $R_0 = 3.61$ , with  $i_{pm} = 3$  years. These differences are probably due to the fecundity function value assigned to each case.

The dynamic model showed a rigid behavior during the first years of the projection, which is considered a flaw associated with the lack of recruits before the first year of projection.  $R_0$  presented an increasing trend ( $>1$ ) in all the estimates for  $i_{pc} = 2$  and  $i_{pc} = 3$ , within the range of  $F$  values explored (fig. 7). The increasing trend of  $R_0$  should not be interpreted as if the population could grow indefinitely,

mortalidad total de la población pudieron ser evadidos en los modelos. Cortés y Parsons (1996) realizaron un análisis comparativo de la demografía de dos poblaciones de *S. tiburo* del norte del Golfo de México y encontraron que existen pequeñas diferencias en los parámetros demográficos, siendo más altos en la Bahía de Florida que en la Bahía de Tampa. El valor de  $R_0$  (5.86) obtenido en el presente estudio es mayor que el estimado por Cortés y Parsons (1996), quienes reportan una  $R_0 = 3.61$ , con  $i_{pm} = 3$  años. Estas diferencias son probablemente debido al valor de función de fecundidad asignado en cada caso.

El modelo dinámico mostró un comportamiento rígido en los primeros años de proyección, lo cual se considera como un defecto asociado con el reclutamiento inexistente antes del primer año de proyección. La  $R_0$  mostró una tendencia a incrementarse ( $>1$ ) en todas las estimaciones para  $i_{pc} = 2$  e  $i_{pc} = 3$ , en el rango de valores de  $F$  que se exploraron (fig. 7). La tendencia de incremento de  $R_0$  no debe de interpretarse como si la población creciera indefinidamente, dado que existen mecanismos compensatorios densodependientes (no contemplados en el presente estudio) que regulan la abundancia de las poblaciones cuando éstas alcanzan su máximo tamaño permitido por el ambiente (Cortés y Parsons, 1996). Es decir, si en una población  $R_0$  excede constantemente la tasa de mortalidad, la población podría crecer indefinidamente y, por el contrario, si la mortalidad excede a  $R_0$ , la población tendería a la extinción. Según Walker (1992), estos mecanismos pueden incluir cambios en la tasa de crecimiento o en la supervivencia como él lo ha investigado en *Mustelus antarcticus* del sur de Australia, argumentando cambios en la mortalidad natural.

El resultado de un análisis demográfico similar al presente llevado a cabo con el cazón de ley, *R. terraenovae* (Márquez-Farías y Castillo-Géniz, en prensa), indicó que sólo es posible obtener valores de  $R_0 \geq 1.07$  con un nivel de  $F = 0.1$ . El resultado de la presente investigación sugiere que la población de *S. tiburo* ha sido explotada fuertemente en todas sus tallas; sin embargo, no se podrá cotejar o

since there are compensatory density-dependent mechanisms (not contemplated in this study) that regulate the abundance of the populations when they reach the maximum size allowed by the environment (Cortés and Parsons, 1996). That is, if the  $R_0$  of a population consistently exceeds the mortality rate, the population could grow indefinitely and, to the contrary, if mortality exceeds  $R_0$ , the population could become extinct. According to Walker (1992), these mechanisms can include changes in the growth rate or survivorship, as this author reported for *Mustelus antarcticus* of southern Australia, suggesting changes in natural mortality.

The results of a demographic analysis similar to this one, carried out with the Atlantic sharpnose shark *R. terraenovae* (Márquez-Farías and Castillo-Géniz, in press), indicated that it is only possible to obtain values of  $R_0 \geq 1.07$  with a level of  $F = 0.1$ . The results of this study suggest that all the sizes of the population of *S. tiburo* have been strongly exploited; however, it will not be possible to determine if the apparent reproductive capacity of this species has allowed the abundance level of the population to maintain a healthy state, until there is a broader data series of catch and effort that shows the tendency of the relative abundance levels. The results of this analysis suggest that the population of *S. tiburo* is stable and healthy.

Demographic analyses have become important in the past years as potential tools for assessing and managing shark fisheries. These demographic techniques have been applied to shark species with different biological characteristics, such as the leopard shark, *Triakis semifasciata*; the lemon shark, *Negaprion brevirostris*; the spiny dogfish, *Squalus acanthias*; the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*; the Pacific angel shark, *Squatina californica*; the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*; the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*. Cortés and Parsons (1996) present the results of these estimates, in which the  $R_0$  values vary from 1.28 to 4.47 under natural conditions. The estimates of this study fall outside of this range.

conocer si el aparente poder reproductivo de esta especie ha permitido que el nivel de abundancia de la población se mantenga en un estado saludable hasta que se cuente con una serie amplia de captura y esfuerzo que ilustre la tendencia de los niveles relativos de abundancia. El resultado del presente análisis sugiere que la población de *S. tiburo* se encuentra estable y saludable.

Los análisis demográficos han venido cobrando importancia en los últimos años como herramientas potenciales de evaluación y manejo en pesquerías de tiburón. Estas técnicas demográficas se han aplicado a especies de tiburón de diferentes características biológicas, tales como el tiburón leopardo, *Triakis semifasciata*; tiburón limón, *Negaprion brevirostris*; tiburón espinoso, *Squalus acanthias*; tiburón aletón, *Carcharhinus plumbeus*; tiburón ángel, *Squatina californica*; cazón de ley, *Rhizoprionodon terraenovae*; cazón pech, *Sphyrna tiburo*. Cortés y Parsons (1996) presentan el resultado de dichas estimaciones, en las cuales se observa que los valores de  $R_0$  varían en un rango de 1.28 a 4.47 en condiciones naturales. Las estimaciones del presente caen fuera de dicho intervalo.

El resultado del presente trabajo sugiere que es importante conocer la historia de vida de los tiburones que están siendo explotados en la pesca artesanal. Algunas de las especies son más vulnerables que otras y su rango de distribución en algunos casos no es homogéneo; por ejemplo, *R. terraenovae* se distribuye a todo lo largo de la costa del Golfo de México, mientras que *S. tiburo* parece tener poblaciones diferentes en cortas distancias, según lo han reportado Parsons (1993) y Cortés y Parsons (1996). En este caso, el límite de la población en estudio es al norte de las costas de Tabasco y Veracruz, pero su mayor concentración es en la Sonda de Campeche, en donde aparentemente reside durante todo el año. Lo anterior pone en evidencia que el recurso está siendo explotado de diferente forma en unas regiones del sureste del Golfo de México. Se recomienda ampliar el conocimiento de esta especie, particularmente en la estimación de la edad de los individuos de aguas mexicanas, así como en el estudio de la biología reproductiva, información

The results of this study suggest that it is important to know the life history of the sharks that are being exploited in artisanal fisheries. Some species are more vulnerable than others and their distribution range, in some cases, is not homogeneous; for example, *R. terraenovae* occurs all along the coast of the Gulf of Mexico, whereas *S. tiburo* appears to have different populations within short distances, as has been reported by Parsons (1993) and Cortés and Parsons (1996). In this case, the boundary of the population in question is to the north of the coasts of Tabasco and Veracruz, but its greatest concentration is at Campeche, where it apparently resides throughout the year. This proves that the resource is being exploited in different ways in some regions of the southeastern Gulf of Mexico. More information is needed about this species, particularly on the age estimates of individuals of Mexican waters, as well as on biological reproduction, which could be reinterpreted and used in future population evaluations.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank our colleagues who helped with the field work and data base, and the anonymous referees for their comments and suggestions. This study was financed by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (project 116002-5-1314N-9206) and the Instituto Nacional de la Pesca.

English translation by Jennifer Davis.

---

que potencialmente pudiera ser reinterpretada en futuras evaluaciones poblacionales.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las personas que participaron en los muestreos de campo y a quienes manejaron la base de datos. También se agradece a los árbitros anónimos sus útiles sugerencias y comentarios al manuscrito. La presente investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), clave del proyecto 116002-5-1314N-9206, y por el Instituto Nacional de la Pesca.

## REFERENCIAS

- Applegate, S.P., Espinosa-Arrubarena, L., Menchaca-López, L.B. y Sotelo-Macias, F. (1979). Tiburones Mexicanos. Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica, Dirección General de Ciencia y Tecnología del Mar. México, DF, 147 pp.
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1956). A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations, with special references to sources of bias in catch sampling. Rapp. p. v. Réun. CIEM, 140:67-83
- Bonfil, R.S. (1994). Overview of world elasmobranchs fisheries. FAO Fish. Tech. Paper No. 341, 119 pp.
- Cailliet, G.M. (1992). Demography of the central California population of the leopard shark (*Triakis semifasciata*). Aust. J. Mar. Freshwater Res., 43:183-193.
- Cailliet, G.M., Mollet, H.F., Pittinger, G.G., Bedford, D. and Natanson, L.J. (1992). Growth and demography of the Pacific angel shark (*Squatina californica*), based upon tag returns off California. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 43: 1313-1330.
- Castillo-Géniz, J.L. (1990). Shark Fisheries and Research in Mexico. Chondros, 2(1): 1-2.
- Compagno, L.J.V. (1984). FAO species catalogue. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fish. Synop., 4(125): 251-655.
- Cortés, E. (1995). Demographic analysis of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the Gulf of Mexico. Fish. Bull., 93: 57-66.
- Cortés, E. and Parsons, G.R. (1996). Comparative demography of two populations of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 53: 709-718.
- Getz, W.M. and Haight, R.G. (1989). Population harvesting: Demographic models of fish, forest, and animal resources. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, 391 pp.
- Hoening, J.M. (1983). Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. Fish. Bull., 82: 898-903.
- Krebs, C.J. (1985). Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. 3rd ed. Harper and Row, New York, 800 pp.
- Manire, C.A., Rasmussen, L.E.L., Hess, D.L. and Hueter, R.E. (1995). Serum steroid hormones and the reproductive cycle of the female bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*. Gen. Comp. Endocrinol., 97: 366-376.
- Márquez-Farías, J.F. and Castillo-Géniz, J.L. Fishery biology and demography of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*, in the southern Gulf of Mexico. Fish. Res. (in press).
- Parsons, G.R. (1993). Geographic variation in reproduction between two populations of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*. Environ. Biol. Fishes, 38: 25-35.
- Sminkey, T.R. and Musick, J.A. (1995). Demographic analysis of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in the western North Atlantic. Fish. Bull., 94: 341-347.
- Walker, T.I. (1992). Fishery simulation model for sharks applied to the gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, from southern Australian waters. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 43: 195-212.