

# 73 6

LIBRARY OF  
GEORGE H. BALAZS  
March, 1973

No. 73

BULLETIN  
OF  
TOKAI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY  
TOKYO, JAPAN

---

---

東海区水産研究所研究報告

第 73 号

---

---

LIBRARY  
MAR 19 1974  
FISH & WILDLIFE SERVICE

東海区水産研究所

東京都中央区勝どき5丁目

昭和48年3月

## Ensayo Teórico sobre el Análisis de la Población de Tortuga Prieta, *Chelonia mydas carrinegra* CALD- WELL, en Aguas del Golfo de California, México\*

A trial of Theoretical Analysis on Population of Pacific  
Green Sea Turtle, *Chelonia mydas carrinegra*  
CALDWELL, in Waters of Gulf of California, Mexico

René MÁRQUEZ M.\*\* y Takeyuki Doi

**Abstract:** The sea turtle population has not been studied dynamically yet and very few information of fishing and biology are available for direct application to this problem. With these scarce basic data only little progress has been done. In the present paper, we endeavoured to get population parameters on Pacific green sea turtle, using some data available. To do this work more profitable we introduce here several important assumptions on age of first maturity, age composition and reproduction. At present there is no reliable method for age determination in sea turtle; according to our observations and experience we assume that the Pacific green sea turtles with carapace length of 55-65 cm are 6 years old and they are in the first maturity age.

The Pacific green sea turtle is regarded to form homogeneous and unique stock with special migratory pattern: In breeding-spawning season they move outside of the Gulf of California, and, in feeding season, inside toward the Gulf. This condition and in addition unknown behaviour of the juveniles increase the difficulty in deciding adequate model of population change. We supposed that almost all the animals move at the same time into and outside of the Gulf of California and only very few animals remain all the year in the same places, but always they are not in reproductive stage.

Survival rate  $S$  was estimated in two different ways: one is from juvenile-adult composition and the other is age composition estimated from length distribution in three years. On an average it is about 0.8.

\* Received: November 18, 1972. Contribution A No. 494 from Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.

\*\* Instituto Nacional de Pesca, Mexico. Studied in Population Dynamics and Statistics Division of the Tokai Reg. Fish. Res. Lab. from June to November, 1972.

For diagnosis of a population, the sustainable yield and the maximum sustainable yield must be estimated. Rate of reproduction  $K$  (=Recruitment  $R$ /number of adult  $A$ ) is essentially important to obtain these values. The fishing mortality  $F$  on the optimum level of population which provide sustainable yield can be derived from the following equations.

$$e^{-(M+F)} = 1 - K$$

$$K = \frac{h\alpha}{2b} e^{-4M}$$

where

$M$  : natural mortality coefficient in mature stage

$M'$  : natural mortality coefficient in juvenile stage

$h$  : number of eggs spawned by mature female per year

$b$  : breeding cycle

$\alpha$  : rate of hatch-out

Recruitment  $R$  and the sustainable yield  $C_s$  can be calculated by :

$$R = KA$$

$$C_s = \frac{F}{M+F} [1 - e^{-(M+F)}] A$$

under the adequate values of population parameters of  $M$ ,  $M'$ ,  $h$  and  $\alpha$ . We tried four combinations of parameters and the likeliest situation are:

Initial population=8.5 thousand tons

Present population=1.6 thousand tons

Maximum sustainable yield=164 tons

Optimum population level on which the maximum sustainable yield can be provided=4.1 thousand tons

Present sustainable yield=115 tons

Present status is much below than the optimum level because of over fishing during 15 years. This specie was exploited along of all the Mexican Pacific coast, besides that breeding places have high vulnerability for predators and human extraction of laying eggs.

Some measures were taken for the management of this resource like the exclusive catch of sea turtles by organized groups of fishermen in cooperative associations and the necessity of protective works in the breeding, spawning and hatchery places. At present, from July of 1971, there is a total closed season for this species. The situation of the Pacific green sea turtle in Mexico, is nearly to be a half of the optimum level, and in this paper we propose that the annual catch should not be more than 115 metric tons and exclusive catch of adults up 6 years of age, in

El  
ambas co  
de 14,500  
mente por  
y la tortu  
En  
tortuga p  
aguas del

order to reestablish the population of Pacific green sea turtle in the Gulf of California, Mexico.

### Contenido (Contents)

1. Introducción (Introduction) .....	3
2. Revista de los datos disponibles (Review of available data) .....	4
3. Estimación de tasa de sobrevivencia y coeficiente de mortalidad total obtenido de individuos juveniles y adultos y desde la composición por edades (Estimation of survival rate and total mortality from juvenile and adult individual and from age composition) .....	5
3-1. Tasa de sobrevivencia (Survival rate) .....	5
3-2. Coeficiente de mortalidad total (Total mortality coefficient) .....	6
4. Modelo teórico para estimar rendimiento sostenible (Theoretical model for estimation of sustainable yield) .....	8
4-1. Condición de equilibrio en el stock virgen (Equilibrium condition in virgin stock) .....	8
4-2. Rendimiento sostenible y reclutas (Sustainable yield and recruitment) .....	10
4-3. Esfuerzo óptimo (Optimum effort) .....	11
4-4. Tasa de decremento de la población (Decrease rate of population) .....	14
4-5. Rendimiento sostenible en números absolutos (Sustainable yield in absolute number) .....	14
4-6. Rendimiento máxima sostenible y nivel óptimo de la población (Maximum sustainable yield and optimum level of population) .....	14
4-7. Variación anual de la población (Yearly change of population) .....	14
5. Medidas administrativas para el recurso (Regulation measures) .....	17
6. Discusión (Discussion) .....	18
7. Conclusión (Conclusion) .....	19
Agradecimientos (Acknowledgement) .....	20
Referencias bibliográficas (Bibliographic references) .....	21

### 1. Introducción

El recurso de las tortugas marinas ha sido desarrollado económicamente en ambas costas de México, la captura entre los años de 1966 a 1968, alcanzó la cifra de 14,500 toneladas métricas de producto fresco, esta captura fue sostenida principalmente por dos especies, la tortuga cahuama del Pacífico (*Lepidochelys olivacea olivacea*) y la tortuga prieta (*Chelonia mydas carrinegra*).

En esta ocasión, tratamos de evaluar el estado actual de la población de tortuga prieta y para tal objeto desarrollamos un ensayo teórico exclusivo para las aguas del Golfo de California, México.

La captura de tortuga prieta dentro del Golfo es obtenida por los pescadores usando botes de media a cinco toneladas de carga, los pequeños son propulsados por motor fuera de borda y los mayores por motor estacionario, para la captura son usadas redes de enmalle y arpones. El esfuerzo pesquero ha sido aumentado, pero la eficiencia ha permanecido sin cambio importante.

Algunas medidas han sido tomadas para la administración de este recurso, tales como la exclusividad que tienen los grupos organizados en cooperativas para capturar tortugas marinas, así mismo estas asociaciones tienen la obligación de efectuar trabajos de protección y fomento en los lugares de reproducción y desove. Hasta la fecha (Noviembre de 1972) y desde Julio de 1971 fue declarada una veda total para todas las especies de tortugas marinas en México.

La situación actual de la población de tortuga prieta en el Golfo de California es cercana a la mitad del nivel optimo y a través de este trabajo pretendemos que la captura anual [no sea excedida de las 115 toneladas métricas, dentro del propio Golfo y que la explotación sea exclusiva sobre animales de más de 6 años de edad, con objeto de reestablecer la población de esta especie; como el stock de la población ha ido declinando en relación con el aumento de la población, hemos desarrollado este ensayo teórico con la información disponible, con objeto de explicar esta conducta de la población.

Por lo limitado de la información fue necesario introducir varias suposiciones, con objeto de escoger la mejor y más representativa; sin embargo algunos importantes problemas deben ser resueltos en el futuro con el propósito de dar a nuestros resultados una mayor autenticidad.

## 2. Revista de los datos disponibles

El siguiente material informativo fue usado para la preparación de este trabajo:

1. Estadísticas de captura<sup>1)</sup>, desde 1948 a 1970 (Secretaría de Industria y comercio, Subsecretaría de Pesca, Estadísticas Pesqueras)
2. Información biológica sobre la captura mensual de desembarcos en el Golfo de California.
3. Frecuencia de longitud total del carapacho de tortuga prieta, capturada en el Golfo de California, en: Agosto, Octubre y Noviembre de 1965-1966 y en Febrero y Marzo de 1966-1967, para el estudio de la composición por edades.

Para el desarrollo de este trabajo fue elaborado un Diagrama de flechas de acuerdo a la técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique), como se presenta en la Fig. 1. Mayores explicaciones al respecto pueden ser obtenidas a través de cada uno de los capítulos siguientes.

0 → Planning

N  
edad, en  
través de  
existe  
experien  
la confi

3.

3-1.

F  
y adult  
sexuale  
mayor  
los gru  
Ecns. (I

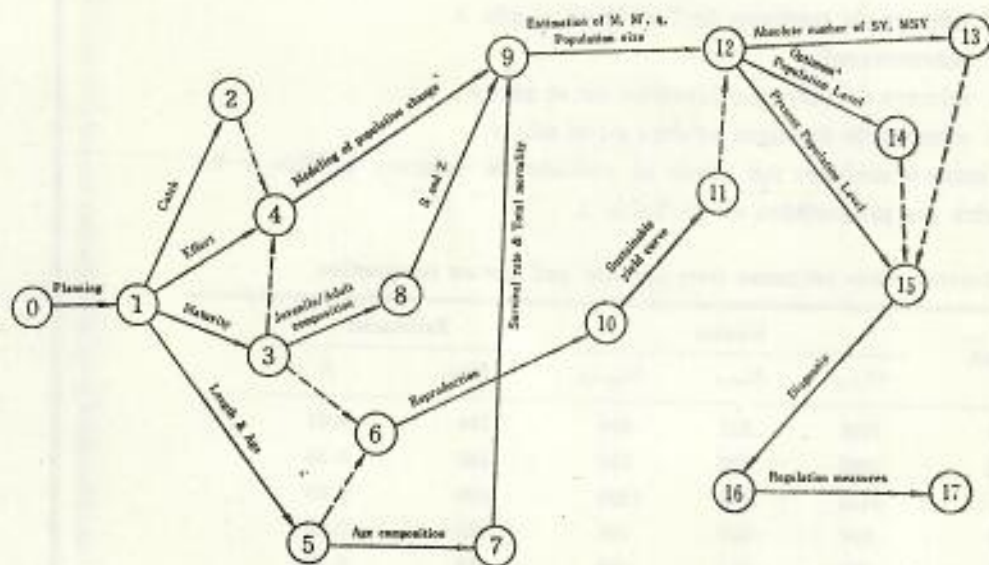


Fig. 1. Arrow diagram to indicate not only relations among each job but also the process to approach the aim of population analysis on Pacific green sea turtle.

No hay disponible hasta la fecha ninguna técnica para la determinación de la edad en las tortugas marinas, solo pocos y esparcidos informes se han logrado a través de la cría artificial y experimentos de marcado; para la tortuga prieta; existe la falta absoluta de información, por esta razón y de acuerdo a nuestra experiencia con estos animales hemos introducido varias suposiciones necesarias para la configuración de un modelo teórico de la población de esta especie,

### 3. Estimación de tasa de sobrevivencia y coeficiente de mortalidad total obtenido de individuos juveniles y adultos y de la composición por edades

#### 3-1. Tasa de sobrevivencia

Fue calculada por meses y sexo usando la composición de individuos juveniles y adultos. Se consideraron adultos a todos aquellos individuos con caracteres sexuales secundarios definidos, con edad cercana a los 6 años, longitud de carapacho mayor a 55 cm y peso por encima de 30 kilogramos, con estos datos fueron formados los grupos de edad para cada año muestreado. Para el cálculo fueron usadas las Ecns. (1 y 2).

$$N_{(t,y)} \left(1 + \frac{1}{S} + \frac{1}{S^2}\right) = N_{(t,y)} \dots \dots \dots (1)$$

$$N_{(t,y)} S = N_{m(t+1)} - N_{m(t)} S \dots \dots \dots (2)$$

donde :

desconocidos:  $N_{(x,y)}$ : número de tortugas de 5 años en el año  $y$   
 $S$ : sobrevivencia

conocidos:  $N_{j(y)}$ : número de tortugas juveniles en el año  $y$   
 $N_{m(y)}$ : número de tortugas adultas en el año  $y$

Para resolver estas ecuaciones fué usado el método de solución gráfica y los valores de  $S$  calculados son presentados en la Tabla 1.

Table 1. Survival rates estimated from juvenile and mature composition

Year ( $y, y+1$ )	Month	Known			Estimated	
		$N_{j(y)}$	$N_{m(y)}$	$N_{m(y+1)}$	$N_{s(y)}$	$S$
1965-66	8	1046	523	440	194	0.61
1965-66	10	1085	976	648	180	0.56
1965-66	11	2436	1549	1320	490	0.65
1966-67	2	596	627	788	332	0.82
1966-67	3	228	913	699	215	0.63
Mean:						0.654

La tasa de sobrevivencia fué calculada también a partir de la composición por edades, obtenida esta composición a través de muestras mensuales en los años 1965 a 1967. La composición de edad<sup>3)</sup> (Tabla 2) fué asumida desde la frecuencia acumulativa de las longitudes de carapacho. Los cálculos fueron efectuados por dos diferentes métodos: regresión logarítmica de frecuencia de edades  $N_x$  contra edad  $x$ , y el método de edad promedio.

El método de regresión logarítmica está basado en la Ecn. (3)

$$N_x = N_1 S^x \dots \dots \dots (3)$$

En el método<sup>3)</sup> de edad promedio, la tasa de sobrevivencia puede ser obtenida con la Ecn. (4)

$$m(a, S, d) = \frac{xS^x}{S^x} = a + K(S, d) \dots \dots \dots (4)$$

donde:  $m$ : edad promedio en el número total de individuos

$d$ : substracción de la edad mínima desde la edad máxima en los individuos

$a$ : edad mínima

Por estos dos caminos el cálculo de  $S$  para el período de 1965 a 1967 y el promedio fueron usados. Los valores de  $S$  son indicados en la Tabla 3.

### 3-2. Coeficiente de mortalidad total

Para el cálculo de todos los casos fué usado el valor promedio de la tasa de sobrevivencia. La Ecn. (5) fué usada para obtener el coeficiente de mortalidad total

Table 2. Age composition

Age	Carapace Length (cm)	1965	1966	1967
5	45.1- 53.0	8	4	2
6	53.1- 58.0	7	3	
7	58.1- 63.0	14	3	
8	63.1- 66.0	52	37	2
9	66.1- 69.0	17	24	2
10	69.1- 72.0	16	23	6
11	72.1- 75.0	11	20	4
12	75.1- 77.5	17	21	17
13	77.6- 80.0	17	33	15
14	80.1- 83.0	6	14	2
15	83.1- 85.0	18	26	5
16	85.1- 87.0	15	15	3
17	87.1- 88.0	2	15	4
18	88.1- 90.2	4	9	1
19	90.3- 91.6		5	2
20	91.7- 92.5	5	2	
21	92.6- 93.5	2		
22	93.6- 94.5			
23	94.6- 95.5	1		
24	95.6- 96.5			
25	96.6- 97.5		1	
26	97.6- 98.5	1	1	
27	98.6- 99.5	1	1	
28	99.5-100.5		1	
29	100.6-101.0		2	

Note: 1. This age composition table is calculated by plotting the cumulative carapace length frequencies on probability paper and used the modes in the graph are used for age determination. See the reference 2 in detail.

2. In calculating survival rate and total mortality, values between ages of 8 to 20 were used.

Z. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 4. En los cálculos siguientes se consideró 0.223 como la estimación mas adecuada.

$$S=e^{-z} \dots \dots \dots (5)$$



Table 3. Survival rate  $S$  estimated from age composition.

Method		Mean $S$
Logarithmic regression	Average age	
0.839	0.775	0.807

Table 4. Total mortality coefficient  $Z$  estimated from mature and immature individual and age composition.

Method			
Juvenile-mature composition	Age composition		
	Logarithmic regression	Average age	Mean
0.425	0.176	0.271	0.223

#### 4. Modelo teórico para estimar rendimiento sostenible

##### 4-1. Condición de equilibrio en el stock virgen.

Para la estimación de varios parámetros poblacionales, empezamos desde la situación teórica de stock virgen.

##### Coefficiente de mortalidad natural

Este importante parámetro para cualquier stock pesquero es difícil de medir, por esta razón se introdujeron suposiciones sobre la mortalidad natural de la manera siguiente. Se usó la Ecn. (6) y la introducción de valores de viabilidad durante el período de incubación de los huevos, igual  $\alpha=0.8$ , y el número de huevos o fecundidad  $h=300$  unidades, cada dos años ( $b$ , ciclo de reproducción=2 años), entonces se obtuvo la función apropiada (ver parrafo 4-2, en detalle).

$$e^{-M} = 1 - \frac{h\alpha}{2b} e^{-1M'} \dots\dots\dots (6)$$

donde:  $b$  : ciclo de reproducción

$M$  : mortalidad natural en adultos

$M'$  : mortalidad natural en juveniles

$6$  : edad de primera madurez sexual en años

Como sabemos que  $0 < M < \infty$ , podemos obtener la siguiente Ecn. ....(7)

$$0 < 1 - \frac{h\alpha}{4} e^{-1M'} < 1 \dots\dots\dots (7)$$

Por este camino se pudo obtener la información sobre mortalidad natural para los juveniles en stock virgen. A través de la Ecn. (7), se obtuvo  $M' > 0.683$ . Para

obtene  
relacio  
consid  
para e  
calcul  
utiliza

valor  
edad  
mort  
de la

de:

m

(Ta  
Ecn

obtener el estado más aproximado de la mortalidad natural se usaron 4 suposiciones relacionadas con la mortalidad natural de juveniles en stock virgen, y fué tomado en consideración que todos los valores deberían ser superiores a 0.683. Así, se adoptaron para el ensayo los valores entre 1 y 2 y se formularon 4 situaciones. Los valores calculados de acuerdo a la Ecn. (6) son presentados en la Tabla 5, y en ellos se utilizaron las constantes ya anotadas con anterioridad.

Table 5. Natural mortality coefficient  $M$  estimated from equilibrium state in virgin stock.

Situation	Natural mortality in juvenile stage $M'$	$e^{-tM'}$	$e^{-M} = 1 - \frac{h\alpha}{2b} e^{-tM'}$	$M$
1	1.0	$2.479 \times 10^{-3}$	0.8513	0.16099
2	1.2	$7.466 \times 10^{-4}$	0.9552	0.04583
3	1.5	$1.234 \times 10^{-4}$	0.9928	0.00742
4	2.0	$6.144 \times 10^{-6}$	0.9996	0.00037

#### Coefficiente de mortalidad por pesca

En este cálculo se incluyeron las edades entre 8 y 20 años y se utilizó el valor promedio de la tasa de sobrevivencia  $S$  calculada para esta composición de edades, el mismo cálculo se hizo en cada una de las 4 situaciones del coeficiente de mortalidad natural  $M$ . El coeficiente de mortalidad por pesca  $F$  se describe a través de la Ecn. (8).

$$S = e^{-(M+F)} \dots \dots \dots (8)$$

Los valores calculados de  $F$  se presentan en la Tabla 6 y fueron derivados de:  $Z=0.223$  (Tabla 4) y de  $M$  (Tabla 5).

Table 6. Fishing mortality coefficient  $F$ .

Situation	$Z$	$M$	Fishing mortality $F$
1	0.223	0.16099	0.062
2	0.223	0.04583	0.177
3	0.223	0.00742	0.216
4	0.223	0.00037	0.223

#### Tasa de sobrevivencia y tasa de reproducción en stock virgen, $S$ , y $K$ , respectivamente

Estos parámetros básicos fueron deducidos utilizando los valores de  $M$  y  $M'$  (Tabla 5) de juveniles y adultos para cada una de las 4 situaciones, se usaron las Ecn. (9 y 10).

$$S_s = e^{-M} \dots \dots \dots (9)$$

$$K_s = \frac{h\alpha}{2b} e^{-sM'} = 1 - S_s \dots\dots\dots (10)$$

Los resultados son presentados en la Tabla 7.

Table 7. Survival rate  $S_s$  and reproduction rate  $K_s$  in virgin stock according to four assumptions of  $M'$ .

Situation	$M'$	$M$	$S_s$	$K_s$
1	1.0	0.16099	0.8513	0.1487
2	1.2	0.04583	0.9552	0.0448
3	1.5	0.00742	0.9926	0.0074
4	2.0	0.00037	0.9996	0.0004

#### Tasa de explotación

Con los valores calculados de  $M$  y  $F$  se obtuvo el ritmo de explotación  $E$  para el stock capturable, para cada situación, usando la Ecn. (11). Los resultados se presentan en la Tabla 8.

$$E = \frac{F}{M+F} (1 - e^{-(M+F)}) \dots\dots\dots (11)$$

#### Coefficiente de capturabilidad

Para la estimación del coeficiente de capturabilidad ( $q$ ) se usó el esfuerzo pesquero ( $X$ ) que fue más estable durante varios años (tres) y los valores de  $q$  se calcularon con la Ecn. (12), donde  $X=342$  pescadores.

$$q = \frac{F}{X} \dots\dots\dots (12)$$

Los resultados obtenidos para cada situación son presentados en la Tabla 8.

Table 8. Exploitation rate  $E$  and catchability coefficient  $q$  for catchable stock.

Situation	$M$	$F$	$E$	$q$
1	0.16099	0.06215	0.05571	0.000182
2	0.04583	0.17731	0.15892	0.000518
3	0.00742	0.21572	0.19335	0.000631
4	0.00037	0.22272	0.19967	0.000651

#### 4-2. Explotación sostenible y reclutas

El rendimiento sostenible  $C$ , está relacionada con el mecanismo de reproducción. Las tasas de reproducción  $K$  y Número de reclutas  $R$  cambian con la variación de la abundancia de adultos en el mar  $A$ , y de acuerdo a los cambios en la tasa de explotación y el rendimiento sostenible<sup>6,7,11</sup>. Las representaciones matemáticas son las siguientes, Ecns. (13, 14, y 15):

$$R = KA \dots\dots\dots (13)$$

$$K = \frac{h\alpha}{2b} e^{-\delta M^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$A = \frac{R}{1 - e^{-(M+F)}} \dots\dots\dots (15)$$

La condición de equilibrio es obtenida de las Ecn. (13 y 15) de la manera siguiente:

$$1 - e^{-(M+F)} = \frac{h\alpha}{2b} e^{-\delta M^2}$$

o sustituyendo la Ecn. (14)

$$1 - e^{-(M+F)} = K \dots\dots\dots (16)$$

Si  $K$  es conocida, podemos calcular el coeficiente óptimo de mortalidad por pesca  $F$  desde la Ecn. (16); por lo tanto el ritmo de explotación puede ser obtenido con la Ecn. (11), y el rendimiento sostenible  $C_s$ , es:

$$C_s = EA \dots\dots\dots (17)$$

Los cambios de  $K$  son desconocidos. Asumimos que  $K$  aumenta linealmente cuando  $A$  disminuye.  $A=0$  representa el estado de completa deplesión y  $A=1$  se considera como el estado de stock virgen.  $A$  es calculado la siguiente Ecn. (18):

$$A = \frac{K_0 - K}{K_0 - K_1}, (A=0 \sim 1) \dots\dots\dots (18)$$

donde:  $K_0$ : tasa de reproducción para  $A=0$

$K_1$ : tasa de reproducción para  $A=1$

$K_s$  ya fué estimada pero no conocemos  $K_0$ , así que asumimos como ensayo valores de  $K_s$  para las 4 situaciones. Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 9(a~d) para cada diferente situación, y la Fig. 2, para la representación de la situación 2.

En el cálculo adoptamos;

número de huevos desovados por cada hembra madura en un año:

$$h = 300$$

ciclo de reproducción:

$$b = 2 \text{ años}$$

y, algo más, asumimos que;

éstos dos parámetros no cambian pero  $M'$  varía con los cambios en el tamaño de la población.

#### 4-3. Esfuerzo óptimo

Para cada situación se calculó el esfuerzo óptimo  $X$ , usando los valores de la mortalidad por pesca relacionados cada uno con los valores máximos de  $C_s$ , de la Tabla 9(a~d). La Ecn. (12) fué usada para obtener los valores de  $X$  y los resultados son presentados en la Tabla 10.

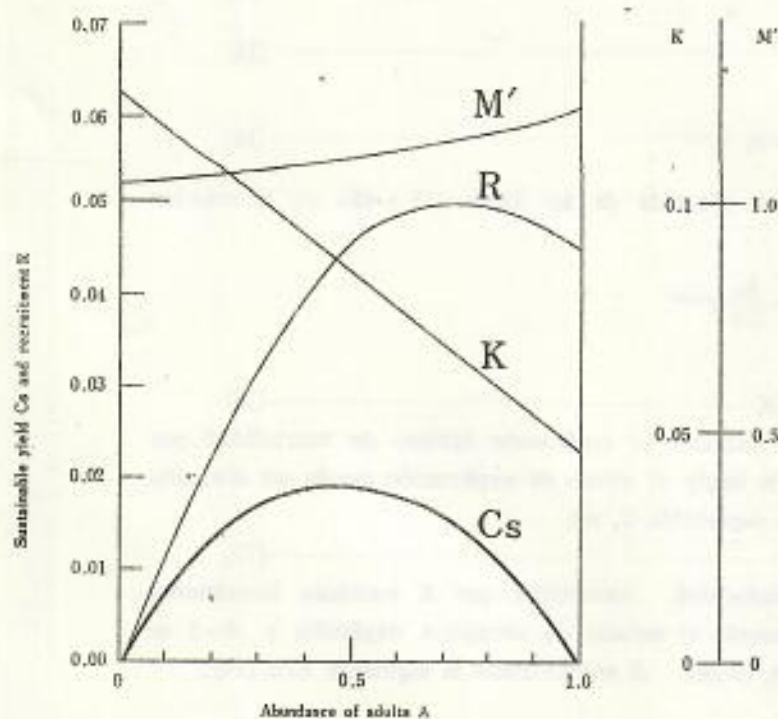


Fig. 2. Sustainable yield curve of Situation 2 (Table 9-b), relevant to  $K$ ,  $M'$  and  $R$ .

Table 9. Sustainable yield based upon reproduction relationship.

a. Situation 1

$K$	$S$	$Z$	$F$	$E$	$A$	$C_s$	$M'$	$R$
$K_s=0.149$	0.851	0.161	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.149
0.175	0.825	0.192	0.031	0.029	0.925	0.026	0.973	0.162
0.200	0.800	0.223	0.062	0.056	0.854	0.048	0.957	0.171
0.225	0.775	0.255	0.094	0.083	0.783	0.065	0.931	0.176
0.250	0.750	0.288	0.127	0.110	0.712	0.078	0.913	0.178
0.275	0.725	0.322	0.161	0.137	0.640	0.088	0.898	0.176
0.300	0.700	0.357	0.196	0.165	0.569	0.094	0.883	0.171
0.325	0.675	0.393	0.232	0.193	0.498	0.096	0.870	0.162
0.350	0.650	0.431	0.270	0.219	0.427	0.094	0.865	0.150
0.375	0.625	0.470	0.309	0.247	0.356	0.088	0.846	0.133
0.400	0.600	0.511	0.350	0.274	0.285	0.078	0.835	0.114
0.425	0.575	0.553	0.392	0.301	0.213	0.064	0.825	0.091
0.450	0.550	0.598	0.437	0.329	0.142	0.047	0.815	0.064
0.475	0.525	0.644	0.483	0.356	0.071	0.025	0.806	0.034
$K_s=0.500$	0.500	0.693	0.532	0.384	0.000	0.000	0.798	0.000

## b. Situation 2 (Table 9 continued)

	<i>K</i>	<i>S</i>	<i>Z</i>	<i>F</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>C<sub>v</sub></i>	<i>M'</i>	<i>R</i>
<i>K<sub>v</sub></i> =0.045	0.955	0.046	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.200	0.045
0.050	0.950	0.051	0.005	0.005	0.005	0.935	0.005	1.182	0.047
0.075	0.925	0.078	0.032	0.031	0.031	0.623	0.019	1.114	0.047
0.100	0.900	0.105	0.060	0.057	0.057	0.312	0.018	1.066	0.031
<i>K<sub>v</sub></i> =0.125	0.875	0.134	0.088	0.082	0.082	0.000	0.000	1.029	0.000

## c. Situation 3

	<i>K</i>	<i>S</i>	<i>Z</i>	<i>F</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>C<sub>v</sub></i>	<i>M'</i>	<i>R</i>
<i>K<sub>v</sub></i> =0.007	0.993	0.007	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.500	0.007
0.010	0.990	0.010	0.003	0.003	0.003	0.852	0.002	1.450	0.009
0.013	0.988	0.013	0.005	0.005	0.005	0.710	0.004	1.413	0.009
0.015	0.985	0.015	0.008	0.008	0.008	0.568	0.004	1.382	0.009
0.018	0.983	0.018	0.010	0.010	0.010	0.426	0.004	1.357	0.008
0.020	0.980	0.020	0.013	0.013	0.013	0.284	0.004	1.334	0.006
0.023	0.978	0.023	0.015	0.015	0.015	0.142	0.002	1.315	0.003
<i>K<sub>v</sub></i> =0.025	0.975	0.025	0.018	0.018	0.018	0.000	0.000	1.297	0.000

## d. Situation 4

	<i>K</i>	<i>S</i>	<i>Z</i>	<i>F</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>C<sub>v</sub></i>	<i>M'</i>	<i>R</i>
<i>K<sub>v</sub></i> =0.0004	0.9996	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.9995	0.0004
0.0005	0.9995	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.7663	0.0001	1.9492	0.0004
0.0008	0.9993	0.0008	0.0004	0.0004	0.0004	0.4975	0.0002	1.8850	0.0004
0.0010	0.9990	0.0010	0.0006	0.0006	0.0006	0.2488	0.0002	1.8337	0.0002
<i>K<sub>v</sub></i> =0.0013	0.9988	0.0013	0.0009	0.0008	0.0008	0.0000	0.0000	1.7965	0.0000

Table 10. Population parameters and abundances in the optimum level on which the maximum sustainable yield can be provided, in virgin stock and in the actual status.

Situation	Maximum sustainable yield					Virgin stock	Actual status		
	<i>F</i>	<i>E</i>	<i>X</i>	MSY (tons)	Population level of MSY (tons)	<i>N<sub>v</sub></i> (tons)	<i>N</i> Actual population (1970) (tons)	<i>r</i> population decrease rate $r = \frac{N_i}{N_0}$	<i>SY</i> (absolute) $SY = C_v N_v$
1	0.23205	0.19271	1,275	2,450	13,017	25,524	6,021	0.236	1,761
2	0.03213	0.03091	62	164	4,141	8,522	2,146	0.252	115
3	0.00769	0.00761	12.2	29	3,897	6,874	1,771	0.258	13
4	0.00038	0.00038	0.6	1	2,869	6,642	1,717	0.258	1

#### 4-4. Tasa de decremento de la población

Este parámetro, que en sí es el mismo que el relativo índice  $A$ , fue obtenido por la división entre el número de población en stock virgen ( $N_0$ ) y el tamaño actual de la población ( $N_t$ ), usando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{N_t}{N_0}$$

Los valores de  $N$ , calculados a partir de la relación entre la tasa de explotación  $E$  y la captura anual para cada año y para cada situación se presentan en la Tabla 11, y fué considerada la abundancia de la población en el mar ( $N_0$ ), en stock virgen, como un valor promedio entre los cuatro primeros años.

#### 4-5. Rendimiento sostenible en números absolutos

El número absoluto en toneladas de el rendimiento sostenible  $SY$ , fué calculado a partir del estado actual de  $C$ , (rendimiento sostenible relativa) y la abundancia de la población en el stock virgen ( $N_0$ ), por la siguiente ecuación. Resultados en la Tabla 10.

$$SY = C, N_0 = E A N_0$$

#### 4-6. Rendimiento máxima sostenible y nivel óptimo de la población

El nivel óptimo de la población y el rendimiento máxima sostenible, en números absolutos (toneladas), fué calculada para cada situación en el rendimiento máxima sostenible (MSY), en relación a los valores máximos de  $C$ , (Tabla 9, a~d). Los resultados son presentados en la Tabla 10.

#### 4-7. Variación anual de la población

Para calcular la cantidad de la población en el mar se usaron dos métodos diferentes, el primero fué usando parámetros de la población tales como  $F$  (mortalidad por pesca) y  $E$  (tasa de explotación), ambos calculados para cada año en cada una de las situaciones, éstos parámetros fueron relacionados con la captura anual y por este camino fueron obtenidos cambios anuales en el número absoluto de la población. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

El otro cálculo para el cambio anual en la población se basó en las interrelaciones reproductivas entre la captura y el reclutamiento para cada año. El stock inicial o virgen ( $N_0$ ), fué obtenido con el valor promedio calculado entre los primeros cuatro años de los resultados presentados en la Tabla 11. Para obtener el tamaño del stock año-por-año se usó la Ecn. (19)<sup>4,7</sup>.

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) e^{-M} + R_{t+1} \dots \dots \dots (19)$$

donde,  $N$ : tamaño del stock capturable  
 $C$ : captura anual  
 $R$ : reclutamiento

Y los resultados se presentan en la Tabla 12. Una explicación de la Tabla 12 es

Table 11. Population size and parameters estimated from catchability  $q$ .

year	catch (kg)	Situation 1 $q=0.000182$			Situation 2 $q=0.000518$			Situation 3 $q=0.000631$			Situation 4 $q=0.000651$		
		$F$	$E$	$N$ (tons)	$F$	$E$	$N$ (tons)	$F$	$E$	$N$ (tons)	$F$	$E$	$N$ (tons)
1948	56,518	0.003	0.003	21,010	0.008	0.008	7,003	0.010	0.010	5,645	0.010	0.010	5,455
1949	94,029	0.004	0.003	27,949	0.010	0.010	9,337	0.013	0.012	7,528	0.013	0.013	7,272
1950	198,529	0.006	0.005	37,039	0.017	0.016	12,354	0.020	0.020	9,971	0.021	0.021	9,633
1951	129,430	0.009	0.008	16,088	0.025	0.024	5,393	0.030	0.030	4,350	0.031	0.031	4,208
1952	77,605	0.008	0.007	11,039	0.022	0.021	3,688	0.027	0.026	2,978	0.027	0.027	2,877
1953	152,449	0.010	0.009	16,864	0.028	0.027	5,655	0.034	0.033	4,568	0.035	0.035	4,415
1954	176,450	0.015	0.013	13,217	0.041	0.040	4,447	0.050	0.049	3,597	0.052	0.051	3,477
1955	194,670	0.016	0.015	13,261	0.046	0.044	4,469	0.056	0.054	3,617	0.057	0.056	3,497
1956	228,410	0.025	0.023	9,761	0.073	0.069	3,361	0.089	0.085	2,683	0.092	0.088	2,604
1957	480,418	0.031	0.028	16,969	0.089	0.083	5,796	0.108	0.102	4,714	0.111	0.105	4,561
1958	495,007	0.031	0.028	17,485	0.089	0.083	5,972	0.108	0.102	4,857	0.111	0.105	4,700
1959	566,695	0.033	0.030	18,928	0.094	0.088	6,476	0.114	0.108	5,270	0.118	0.111	5,099
1960	803,603	0.048	0.044	18,397	0.138	0.126	6,384	0.168	0.154	5,220	0.173	0.159	5,505
1961	554,707	0.053	0.047	11,712	0.150	0.136	4,080	0.182	0.166	3,940	0.188	0.171	3,235
1962	618,685	0.062	0.056	11,091	0.177	0.159	3,896	0.216	0.193	3,199	0.223	0.200	3,100
1963	664,126	0.062	0.056	11,906	0.177	0.159	4,182	0.216	0.193	3,434	0.223	0.200	3,328
1964	774,976	0.065	0.059	13,184	0.187	0.167	4,645	0.228	0.203	3,818	0.235	0.209	3,701
1965	730,508	0.066	0.059	12,430	0.187	0.167	4,379	0.228	0.203	3,599	0.235	0.209	3,489
1966	523,040	0.062	0.056	9,377	0.177	0.159	3,294	0.216	0.193	2,704	0.223	0.200	2,621
1967	467,878	0.061	0.055	8,533	0.174	0.156	2,995	0.212	0.190	2,458	0.219	0.196	2,383
1968	395,175	0.063	0.056	7,042	0.179	0.160	2,475	0.218	0.195	2,032	0.225	0.201	1,970
1969	379,232	0.064	0.057	6,647	0.181	0.162	2,338	0.221	0.197	1,920	0.228	0.204	1,861
1970	420,967	0.079	0.070	6,021	0.224	0.195	2,146	0.273	0.238	1,771	0.281	0.245	1,717



Table 12. Population size estimated from reproductive relationships.

Year	Situation 1			Situation 2			Situation 3			Situation 4		
	$N_t$	$R_{t+1}$	$N_{t+1}$	$N_t$	$R_{t+1}$	$N_{t+1}$	$N_t$	$R_{t+1}$	$N_{t+1}$	$N_t$	$R_{t+1}$	$N_{t+1}$
1948	25,524	3,803	25,483	8,521	381	8,467	6,873	50	6,817	6,642	2	6,585
1949	25,483	3,803	25,417	8,467	381	8,380	6,817	50	6,724	6,585	2	6,491
1950	25,417	3,803	25,271	8,380	381	8,197	6,724	50	6,589	6,491	2	6,293
1951	25,271	3,803	25,206	8,197	381	8,088	6,589	50	6,403	6,293	2	6,163
1952	25,206	3,803	25,195	8,088	381	8,033	6,403	50	6,329	6,163	2	6,086
1953	25,195	3,803	25,122	8,033	381	7,909	6,329	50	6,182	6,086	2	5,934
1954	25,122	3,822	25,058	7,909	381	7,761	6,182	50	6,012	5,934	2	5,768
1955	25,058	3,827	24,994	7,761	377	7,606	6,012	51	5,826	5,768	2	5,574
1956	24,994	3,810	24,894	7,606	376	7,423	5,826	51	5,607	5,574	2	5,346
1957	24,894	3,806	24,590	7,423	375	7,007	5,607	50	5,139	5,346	2	4,866
1958	24,590	3,807	24,319	7,007	374	6,594	5,139	50	4,661	4,866	2	4,371
1959	24,319	3,806	24,026	6,594	370	6,129	4,661	50	4,115	4,371	2	3,805
1960	24,026	3,808	23,578	6,129	367	5,454	4,115	50	3,377	3,805	2	3,003
1961	23,578	3,824	23,424	5,454	360	5,040	3,377	49	2,812	3,003	2	2,449
1962	23,424	3,833	23,248	5,040	354	4,578	2,812	48	2,225	2,449	2	1,832
1963	23,248	3,811	23,037	4,578	336	4,075	2,225	45	1,595	1,832	1	1,169
1964	23,037	3,818	22,770	4,075	319	3,472	1,595	41	856	1,169	1	396
1965	22,770	3,820	22,582	3,472	292	2,911	856	35	160	396	1	
1966	22,582	3,810	22,589	2,911	257	2,538	160					
1967	22,589	3,813	22,545	2,538	229	2,207						
1968	22,545	3,824	22,765	2,207	202	1,932						
1969	22,765	3,805	22,863	1,932	171	1,655						
1970	22,863	3,802	22,907	1,655	133	1,312						
1971	22,907	3,793		1,312	96							

Note 1. Calculations were carried out by Eqn. (19).

2. Recruitment  $R$  was calculated based upon the spawning adults in 6 years before.

3. Units of  $N_t$ ,  $R_{t+1}$  and  $N_{t+1}$  are tons(metric).

disc

espe  
a la  
la c  
adm  
la c  
simi  
de r  
hues  
esta

par  
fluc

discutida en la siguiente sección.

### 5. Medidas administrativas para el recurso

Desde julio de 1971, el gobierno mexicano fijó una veda total para todas las especies de tortugas marinas, en ambas costas, estas medidas drásticas obedecieron a la necesidad de considerar leyes definitivas para la capture de tortugas marinas, la cual presentaba una fuerte tendencia a disminuir. Medidas importantes de administracion han sido efectuadas, una de las principales es la exclusividad que para la explotación de este recurso tienen los grupos organizados en cooperativas y similares, otra reglamentación es la obligación que tienen estos grupos organizados de mantener trabajos de protección en las zonas de reproducción, e incubación de huevos en condiciones naturales o artificiales. Hasta la fecha (noviembre de 1972) esta pesquería no ha sido abierta.

En este trabajo se establece un ensayo teórico para conocer los principales parámetros para la evaluación del stock de tortuga prieta en el Golfo de California, fluctuaciones anuales del stock y el cálculo de cuatro situaciones para establecer el

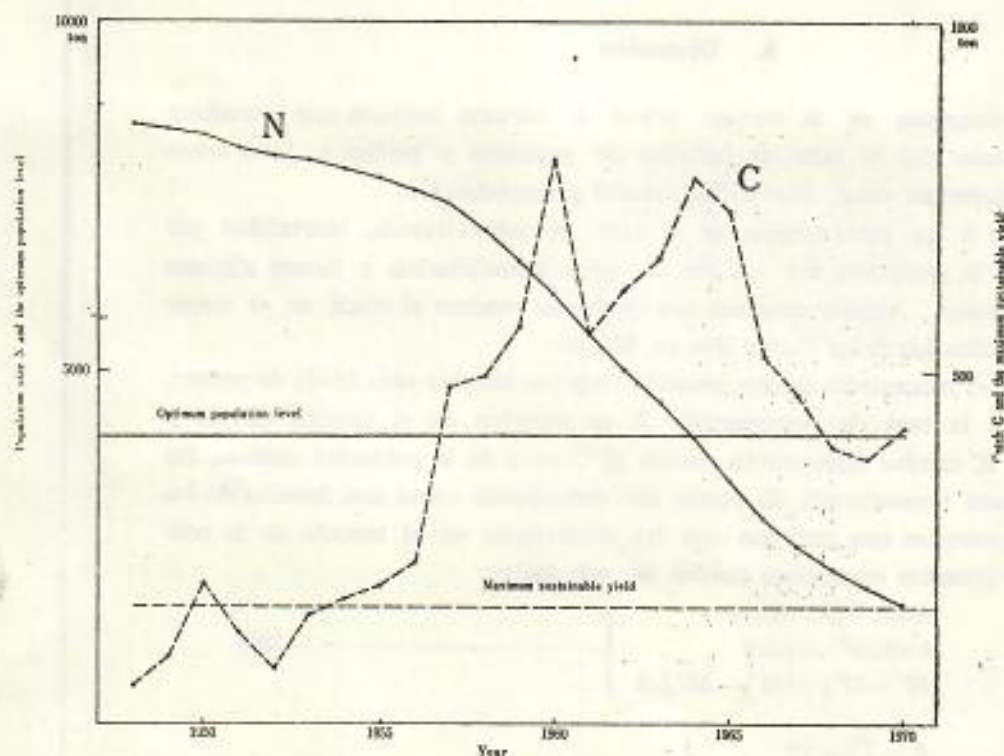


Fig. 3. Year-by-year variations in population size  $N$  and the actual catch  $C$ , combined with the maximum sustainable yield and the optimum population level on which the maximum sustainable yield would be provided.

valor más real de rendimiento sostenible y máxima rendimiento sostenible. Desde este cálculo supusimos que la segunda situación es la más correcta, de acuerdo a la siguiente explicación: La curva de reclutamiento (Fig. 2) tiene un valor cercano al 26% de la situación actual y una tendencia a la baja si la explotación continúa al mismo ritmo; la rendimiento sostenible actual tiene un valor razonable de 115 toneladas métricas y la máxima rendimiento sostenible es de 164 toneladas, un poco mayor que la presente rendimiento sostenible (Tabla 10). La primera situación no puede ser usada por su alta tendencia al reestablecimiento de la población y las situaciones 3 y 4, tienen tendencia a la temprana extinción del stock (Tabla 12). El nivel óptimo de la población para el rendimiento máxima sostenible es de 4.1 mil toneladas métricas, la situación actual consideramos que está por debajo de esta condición deseable por esa razón se deben adoptar medidas de reglamentación para el reestablecimiento de la población de tortuga prieta en el Golfo de California.

Tomando la situación 2, como más adecuada, y su representación gráfica del cambio anual, año-por-año del tamaño de la población, el rendimiento máxima sostenible y el nivel óptimo de la población en el cual el rendimiento máxima sostenible puede ser estipulada son concluyentemente indicadas en la Fig. 3, en comparación a la captura actual.

### 6. Discusión

Sobre la diagnosis de la tortuga prieta de México, tuvimos que introducir algunas suposiciones por la falta de información pesquera y biológica; tales como carácter para determinar edad, mortalidad natural y reproducción.

De acuerdo a las estimaciones de la tasa de sobrevivencia, mortalidad por pesca, tamaño de la población, etc. no son de gran aproximación y tienen algunos errores o desviaciones. Aunque creemos que podemos evaluar el stock en el mejor camino, usando todos los datos disponibles en México.

Como para el mecanismo de reproducción pudimos adoptar otro modo de pensar. En este informe, la tasa de reproducción  $K$  es asumida en el camino simple y directo, esto es;  $K$  cambia linealmente cuando el tamaño de la población cambia. En lugar de tan áspera presentación,  $K$  puede ser considerada como una función de los parámetros componentes que cambian con las variaciones en el tamaño de la población<sup>(4,7)</sup>. Las siguientes ecuaciones pueden ser adoptadas:

$$\left. \begin{aligned} h &= h_0 - (h_0 - h_s) A \\ b &= b_0 - (b_0 - b_s) A \\ M' &= M'_0 - (M'_0 - M'_s) A \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

$$K = \frac{h\alpha}{2b} e^{-\alpha M'}$$

Después de obtener  $K$ , el método para estimar el rendimiento sostenible es el

mismo donde:

I  
de edad  
después  
la info  
I  
portant  
por pes  
pesque  
mortal  
para de

A
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

Ne

(  
aliment  
de publ  
Fig. 1.  
(

mismo del párrafo 4-2. Los resultados calculados son presentados en la Tabla 13, donde:

$$\begin{array}{ll} k=320 & k_s=300 \\ b_0=1.8 & b_s=2.0 \\ M'_0=0.9 & M'_s=1.2 \end{array}$$

La mortalidad natural puede fácilmente ser estimada si tenemos la composición de edad en el stock virgen. Pero los datos biológicos fueron colectados mucho después de que empezó la pesquería. Nosotros debemos tratar siempre de coleccionar la información cuando un stock se principia a explotar.

La colección exacta de informes sobre esfuerzo pesquero, también es importante con objeto de separar la mortalidad total en mortalidad natural y mortalidad por pesca. Aunque en este informe se pudo obtener el índice relativo de esfuerzo pesquero, la separación no se hizo porque la composición por edades de acuerdo a la mortalidad total no pudo ser obtenida en el período considerado, excepto solamente para dos años.

Table 13. The sustainable yield calculated from pattern of variations of  $k$ ,  $b$ ,  $M'$  shown in Equation(20).

A	k	b	M'	K	R	S	Z	F	E	C <sub>s</sub>
0.0	320	1.80	0.90	0.321	0.000	0.679	0.387	0.342	0.283	0.0000
0.1	318	1.82	0.93	0.254	0.026	0.736	0.306	0.260	0.224	0.0224
0.2	316	1.84	0.96	0.216	0.043	0.784	0.244	0.198	0.176	0.0352
0.3	314	1.86	0.99	0.178	0.053	0.822	0.196	0.150	0.136	0.0408
0.4	312	1.88	1.02	0.146	0.058	0.854	0.158	0.112	0.104	0.0414
0.5	310	1.90	1.05	0.120	0.060	0.880	0.128	0.082	0.077	0.0384
0.6	308	1.92	1.08	0.098	0.059	0.902	0.104	0.068	0.065	0.0329
0.7	306	1.94	1.11	0.081	0.057	0.919	0.084	0.038	0.037	0.0258
0.8	304	1.96	1.14	0.066	0.053	0.934	0.069	0.023	0.022	0.0177
0.9	302	1.98	1.17	0.055	0.049	0.945	0.056	0.010	0.010	0.0090
1.0	300	2.00	1.20	0.045	0.045	0.955	0.046	0.000	0.000	0.0000

Note. Parameters put in the Table are as follows;

Situation 2:  $M=0.04583$ ,  $M'_s=1.2$ ,  $k_s=300$ ,  $k_0=320$ ,  $b_s=2$ ,  $b_0=1.8$ ,  $M'_0=0.9$

## 7. Conclusión

(1) La tortuga prieta, la cual es una importante especie utilizada como alimento en México, fué estudiada teóricamente desde el punto de vista de dinámica de poblaciones. El análisis fué desarrollado de acuerdo el diagrama de flechas de la Fig. 1.

(2) La información disponible fué: a) estadísticas de captura durante 1948~

1970, y b) información biológica, tal como: composición de juveniles y adultos en la captura y frecuencia de longitudes en el carapacho, durante 1965~1967.

(3) Tasa de sobrevivencia  $S$  fué estimada aproximadamente en 0.8 (coeficiente de mortalidad  $Z$  fué cercano a 0.2), como se presenta en las Tablas 3 y 4.

(4) La condición de equilibrio en stock virgen se obtuvo con la fórmula de la Ecn. (6), en relación a la mortalidad natural ( $M'$  y  $M$ ) de animales juveniles y adultos, número de huevos ( $h$ ) desovados por cada hembra, ciclo de reproducción ( $b$ ), edad de madurez ( $t_m$ ) y tasa de avivamiento de crías ( $a$ ). Los valores estimados para la mortalidad natural se presentan en la Tabla 5, suponiendo 4 situaciones teóricas.

(5) Mecanismo de reproducción, esta expresado en las Ecns. (13), (14) y (15). Si la tasa de reproducción  $K$  es conocida, podemos calcular mortalidad por pesca  $F$ , reclutamiento  $R$ , tasa de explotación  $E$ , rendimiento sostenible  $C_s$ , contra la abundancia  $A$  de individuos adultos, a partir de las Ecns. (16) y (17), como se presenta en la Tabla 13, y Fig. 2.

(6) Los resultados de los cálculos son los siguientes, de acuerdo a las suposiciones en la situación 2, la cual se consideró más cercana al estado actual.

Stock virgen.....	8,500 toneladas
Rendimiento máxima sostenible.....	164 toneladas
Nivel óptimo de la población en el cual el rendimiento máxima sostenible puede ser estipulada.....	4,100 toneladas
Población actual.....	1,600 toneladas
Rendimiento actual sostenible.....	115 toneladas
Mortalidad natural en estado juvenil, $M'=1.2$	
Mortalidad natural en estado adulto, $M=0.046$	

(7) El estado actual de la población es mucho menor que el nivel óptimo: por lo que se debe restablecer la población dentro de ese nivel, capturando menos de 115 toneladas anuales. Las variaciones anuales de la población y la captura son indicados en la Fig. 3.

(8) En este análisis las suposiciones fueron introducidas por la falta de datos por lo concerniente a la mortalidad natural y mecanismo de reproducción. En el futuro estos problemas deben ser aclarados por investigaciones adecuadas.

#### Agradecimientos

Uno de nosotros, R. Márquez, está en deuda con las autoridades del Instituto Nacional de Pesca, Subsecretaría de Pesca, México, por las facilidades otorgadas para obtener la información necesaria para la elaboración del presente trabajo, y también reconoce la ayuda que el personal del Centro de Promoción Pesquera de el Sauzal, Ensenada, Baja California México, otorgó para la obtención de las medidas de algunas de las tortugas estudiadas; especialmente a la bióloga Mirna Cruz y Oceanólogos José Luis Granados y Oscar A. Pedrin.

de T  
ment  
los c

1)

2)

3)

4)

5)

6)

7)

メキ  
高で13  
=政府  
令形賞  
湾の青  
用いけ  
の量、1  
未成  
にみて  
処女

El análisis de los datos fué realizado en el Laboratorio de Investigación Pesquera de Tokai Región, en la División de Dinámica de Poblaciones, cuyo personal, especialmente la Sra. Kimiko Ishibashi y Srita. Hukuko Inoue nos ayudaron ampliamente en los cálculos, dibujo de figuras y formación de tablas.

### Referencias bibliográficas

- 1) SUBSECRETARIA DE PESCA: Estadísticas Pesqueras, Departamento de Estadística, Años 1948~1970. México.
- 2) MÁRQUEZ M., R.: Preliminary results on sexual maturity, age and growth of Ridley sea turtle *Lepidochelys kempi* of Tamaulipas México. (in press)
- 3) DOI, Takeyuki: A stochastic method for estimation of the survival rate, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 14(2), 1948.
- 4) —: A theoretical treatment on reproductive relationship between recruitment and adult stock, *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 64, 1971.
- 5) DOI, T. and S. OHSUMI: A theoretical consideration on the maximum sustainable yield of sei whales, *ibid.*, 60, 1969.
- 6) DOI, T. *et al.*: Advanced assessment of fin whale stock in the Antarctic, *ibid.*, 60, 1969.
- 7) DOI, Takeyuki: Diagnosis methods of sperm whale population, *ibid.*, 66, 1971.

## メキシコ産青海亀の資源解析を理論化する試み

R. マルケス M. ・土井長之

### 要 約

メキシコでは種別を問わず海亀を食べる。亀を捕る漁業はメキシコでは十指の中に入る。全種類で年間最高で 13,500 トン、近年は 4,300 トン位落ちていたが、漁獲減からだけでも豊饒と判断できるのでメキシコ政府は 1971 年より全種全面漁獲禁止とした。しかし資源診断はされていない。調査の不十分ならびに年令形質の未確立がその最大の理由である。本報告では捕獲も多く肉も最も美味とされているカリフォルニア湾の青海亀の資源解析を理論的にどの程度取扱えるかを試みてみた。すなわち、

用いた資料は 1948 年から 1970 年までの漁獲統計、推定した漁民数、1965 年より 1967 年までの未成熟亀の量、1965 年より 1967 年までの 3 年間の体長組成である。

未成熟—成熟亀の割合及び体長組成より推測した年令組成より生残率及び全減少係数を計算した。平均的にみて生残率は約 0.8、全減少係数で約 0.2 である。

男女資源での平衡条件は、

$$1 - e^{-M} = \frac{h\alpha}{2b} e^{-\alpha M'}$$

$M$ : 成熟亀の自然死亡

$M'$ : 未成熟亀の自然死亡

$h$ : 一頭の雌の産卵数 (年間)

$\alpha$ : 卵のフ化率

$b$ : 繁殖周期

$t_m$ : 成熟年齢

となる。ここで  $t_m=6$  才,  $b=2$  年,  $\alpha=0.8$ ,  $h=300$  と置いて  $M$  と  $M'$  の関係を求めて4つの試行を行った。これを用いての資源量などの計算から  $M'=1.2$ ,  $M=0.046$  が最も尤もらしいと推測される。

持続生産量, 最大持続生産量の推定には再生産関係が必要である。すなわち,

$$\text{再生産率 } K = \frac{h\alpha}{2b} e^{-\alpha M'}$$

であるが, この値は持続生産に於いては

$$K = 1 - e^{-(M+F)}$$

でなければならないこのことを利用して上記二式を連立方程式として解いて, 持続生産における漁獲係数  $F$  を求め, 加入量  $R$ , 持続生産量  $C$ , を次式で求めた。

$$R = KA$$

$$E = \frac{F}{M+F} [1 - e^{-(M+F)}]$$

$$C_s = EA$$

$A$ : 成熟資源量 = 漁獲対象資源量

最大持続生産量は  $C_s$  の最大の点である。再生産率  $K$  は資源量  $A$  の減少とともに大きくなるとの假定を入れての計算の結果では,

初期資源量 = 8,500 トン

最大持続生産量 = 164 トン

最大持続生産の時の適正資源量 = 4,100 トン

現在の資源量 = 1,600 トン

現在の資源量の持続生産量 = 115 トン

と推定される。これらのことより, 現在の資源は適正資源量をかなり割り越した資源であり, 以下に減少しており, 115 トン以上獲ることはさらに資源を減少させるものであることを意味する。捕獲を再開するにしても, この量以下にして早く適正資源水準にまで回復させなければならない。

尚, 以上の計算においては未成熟期の自然死亡や再生産率などにいろいろと仮説を導入せざるを得なかった。将来の課題としては, これらの生物学的情報を調査によって裏付ける努力が必要である。