

## Densidad y "capturabilidad" de la sardina monterrey, *Sardinops sagax* (Pisces: Clupeidae) del Golfo de California, México

Susana Martínez-Aguilar<sup>1</sup>, Juan Antonio de Anda Montañez<sup>2</sup> y Francisco Arreguín-Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera. Apdo. Postal 1177. Mazatlán, Sinaloa, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Apdo. Postal 128. La Paz, B.C.S., México.

<sup>3</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S., México.

(Rec. 16-VI-1995. Rev. 16-I-1996. Acep. 27-III-1996)

**Abstract:** The monterrey sardine (*Sardinops sagax*) fishery of the Gulf of California was examined between 1972 and 1990. By analysing commercial catch-per-effort-unit data, we determined the density-dependence function of the catchability coefficient to establish a potential relationship between this coefficient and relative population sizes. These were calculated by two methods, a new catchability deterministic method (CDM) and virtual population analysis (VPA). The inverse relationship between the catchability coefficient and fish density reported for other purse seine fisheries is presented for the monterrey sardine fishery as well. The curves for both methods were similar, although the abundance determined for APV decreased after 1988/89 and for CDM decreased after 1986/87. Fishing mortality and abundance were determined for each class of length per season.

**Key words:** Catchability coefficient. Density-Dependence. sardine fishery. Gulf of California.

Uno de los coeficientes que están incluidos en la mayoría de los modelos de dinámica poblacional, es el de capturabilidad ( $q$ ), y aunque considerarlo constante es atractivo, merece especial atención, particularmente cuando se trata de especies gregarias como es el caso de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*, Jenyns 1842, Parrish *et al.* 1989). En la actualidad es reconocido que la " $q$ " varía en función de la abundancia de la población explotable, siendo la tendencia más común que " $q$ " se incrementa con el tiempo y la población disminuye con incrementos de la presión de pesca. Paloheimo y Dickie (1964) son los primeros en mencionar este tipo de relación, argumentando que cada unidad de esfuerzo remueve una fracción grande del recurso disponible cuando la abundancia es menor y está confinado a un área geográfica pequeña. En muchos de los más espectaculares

colapsos de pesquerías, principalmente de poblaciones pelágicas (sardina de California, MacCall 1976, Radovich 1982, anchoveta peruana, Csirke 1988), " $q$ " mostró una relación inversa con la abundancia.

Por otro lado, la población de sardina monterrey es uno de los recursos más importantes del Golfo de California. La pesquería se inició en 1967/68 y desde entonces ha sufrido grandes fluctuaciones en su abundancia. Estas fluctuaciones han sido atribuidas principalmente a cambios interanuales en el clima oceánico que afectan la disponibilidad de los adultos (Lluch-Belda *et al.* 1986). Además, a la estacionalidad de los patrones de circulación y temperatura superficial, que pueden hacer variar el patrón de migración afectando la accesibilidad de adultos a la pesquería y el reclutamiento de juveniles a la población de adultos (Hamman *et al.* 1988).

La abundancia de este recurso, como la de otros pelágicos es muy variable y su evaluación ha sido principalmente con base en datos de captura y esfuerzo procedentes de los desembarcos comerciales, sin que se haya analizado la relación denso-dependiente de la capturabilidad. En este trabajo se aborda este tópico con el propósito de obtener la función que describa dicha relación y analizar el comportamiento del coeficiente de capturabilidad a lo largo del período de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en los datos de captura total y por especie de sardina, y esfuerzo pesquero de la serie temporal comprendida entre 1972/73 y 1989/90 se analizó la pesquería de sardina monterrey, para lo cual se realizaron las siguientes determinaciones.

El esfuerzo en número de viajes fue estandarizado para el período en estudio considerando la capacidad de bodega.

El coeficiente de capturabilidad por clase de longitud por temporada ( $q_{Li,t}$ ), se calculó con un nuevo método denominado método determinístico de capturabilidad (MDC), el cual utiliza la técnica de proyección de matrices de la forma descrita por Arreguín-Sánchez (1992). Como el esfuerzo ejercido para el tiempo correspondiente es conocido; la mortalidad por pesca ( $F_{Li,t}$ ), fue calculada de la ecuación general expresada para cada clase de longitud:

$$F_{Li,t} = q_{Li,t} \cdot f p_t \quad (1)$$

La abundancia de la población por clase de longitud se obtuvo de las siguientes expresiones (Gulland 1983). Para los primeros intervalos de talla:

$$N_{Li,t} = \left( \frac{F_{Li,t} + M}{F_{Li,t} \cdot (1 - \exp^{-(F_{Li,t} + M)})} \right) \cdot C_{Li,t} \quad (2)$$

Donde  $C_{Li,t}$ , es la captura en número de las  $L$ th clases de longitud al tiempo  $t$ , y  $M = 0.7$  (De Anda 1992). Aquí se considera que las

$L$ th clases de longitud no son totalmente capturadas, lo cual implica que hay sobrevivientes de la clase de longitud  $L_i$ , que pueden encontrarse en la siguiente temporada. Si la clase de longitud es completamente capturada, es decir, que no hay sobrevivientes, la expresión es:

$$N_{Li,t} = \left( \frac{F_{Li,t} + M}{F_{Li,t}} \right) \cdot C_{Li,t} \quad (3)$$

La cual fue utilizada para calcular la abundancia de la última clase de longitud.

De los valores de  $q_{Li,t}$ , calculados por el MDC, se obtuvo un promedio ponderado por temporada respecto a la abundancia de cada  $L$ th clase de longitud.

Para obtener valores de "q" por distinto procedimiento, se utilizó el APV (Gulland 1965) considerando los números de una misma clase anual seguida a través de su ciclo de vida (Cohorte). La mortalidad natural se supone constante para todo el período en estudio en  $M = 0.7$ . De los resultados generados, los valores de mortalidad por pesca por grupo de edad se ponderaron con la abundancia, obteniéndose un valor promedio ponderado de  $F$  para cada temporada. Además, como el esfuerzo pesquero ejercido para el tiempo correspondiente es conocido, valores de "q" fueron determinados de la expresión general  $q = F/f_p$ . Estos valores de "q" en función de la abundancia, considerando a la edad 2+ años como los grupos de edad de adultos, así como los valores de las "q" promedio por temporada en función de la abundancia determinados por el MDC, se ajustaron a una ecuación de potencia para obtener las constantes del modelo de MacCall (1976):

$$q = \alpha N^\beta$$

donde:

$q$  = coeficiente de capturabilidad.

$N$  = abundancia promedio de la población.

$\alpha$  y  $\beta$  = constantes.

## RESULTADOS

**Capturabilidad (q):** La existencia de una relación inversa entre el coeficiente de capturabilidad y la abundancia de la población observada en otras pesquerías de red de cerco, se cumple también para la pesquería de sardina monterrey del Golfo de California. Los valores de "q" obtenidos a partir del MDC y del APV para el período de 1972/73 a 1989/90 son dibujados en la Fig. 1(a y b), ambos muestran una función de potencia decreciente con el tamaño de la población, es decir, que el coeficiente de capturabilidad muestra una clara denso-dependencia. La función encontrada a partir de los datos obtenidos por el MDC fue  $q = 44928 \times N_t^{-0.84}$  y de los obtenidos por el APV fue  $q = 13.2466 N_t^{-0.50}$ . Las funciones explican el 95% y el 86% respectivamente, de la variación entre "q" y el tamaño de la población. Los valores de  $\beta = -0.84$  y  $-0.50$ , pueden ser útiles como una descripción general de las tendencias en "q" en el período de estudio.

En la década de los 70s los valores de "q" presentaron los niveles más altos, mientras que para el período de los 80s los niveles de "q" fueron bajos, observándose subsecuentemente incrementos en el tamaño de la población a excepción de las temporadas 1987/88 y 1988/89 (Fig. 1a) y de la temporada 1989/90 (Fig. 1b), en las que se observa una disminución en el tamaño de la población. Estos resultados son una posible consecuencia del efecto combinado de la tendencia del recurso a mantenerse agregado a pesar de que la abundancia disminuya, y a la estrategia de pesca no azarosa que en los últimos años de esta pesquería ha sido apoyada por avionetas para la búsqueda del recurso con lo cual la flota incrementa enormemente su poder de pesca.

**Mortalidad por pesca y abundancia:** Los resultados de la mortalidad por pesca y abundancia en número de peces, se presentan en las Figs. 2(a y b) y 3(a y b), respectivamente.

La mortalidad por pesca presentó gran variabilidad a través del período analizado, no observándose una tendencia marcada en su comportamiento. De manera general, se observa que en las primeras temporadas (1972/73 a 1976/77), los valores más altos registrados fueron para los intervalos de talla mayores a los 14.5 cm de longitud estándar, presentándose el caso inverso en las últimas temporadas (1985/86 a 1988/89), es decir, los valores más altos fueron para los intervalos de talla menores a los 14.5 cm de longitud estándar. En la temporada 1987/88, se registró el valor más alto de mortalidad por pesca (7.61) y fue para el intervalo de 13.5 cm.

Por otro lado, la abundancia en número de peces de las primeras clases de longitud explican que tan fuertes fueron las clases anuales en el período de tiempo analizado. Las primeras fueron poco abundantes, pero en la clase de 13.5 cm la abundancia fue variable presentando el valor más alto en la temporada 1981/82. Para el intervalo de longitud de 14.5 cm en donde está incluida la talla mínima legal de captura (15.0 cm), se registraron tres clases anuales fuertes, una en 1978/79 relacionado con altos índices de surgencia (De Anda 1992), otra en la temporada 1984/85 en la que la flota se desplazó a la zonas de agregación de juveniles. La tercera clase anual fuerte se registró en la temporada 1987/88 (Fig. 3a) en la cual se registraron anomalías térmicas negativas (Martínez 1992). Las tallas mayores a los 14.5 cm fueron bajas y constantes hasta 1983/84. Posteriormente, en la temporada 1984/85 se observó un incremento para la clase de longitud de 15.5 cm y es en la temporada 1985/86 que se observó un incremento considerable para la clase de 16.5 cm de longitud estándar (Fig. 3b).

Respecto a la tasa de explotación ( $E_{L,t}$ ), en la Fig. 4 se presentan su promedio, varianza y valores mínimo y máximo para el período de tiempo analizado. Para todos los intervalos de longitud la tasa de explotación promedio por clase de longitud fue alta, con valores que oscilan entre 0.51 y 0.70.

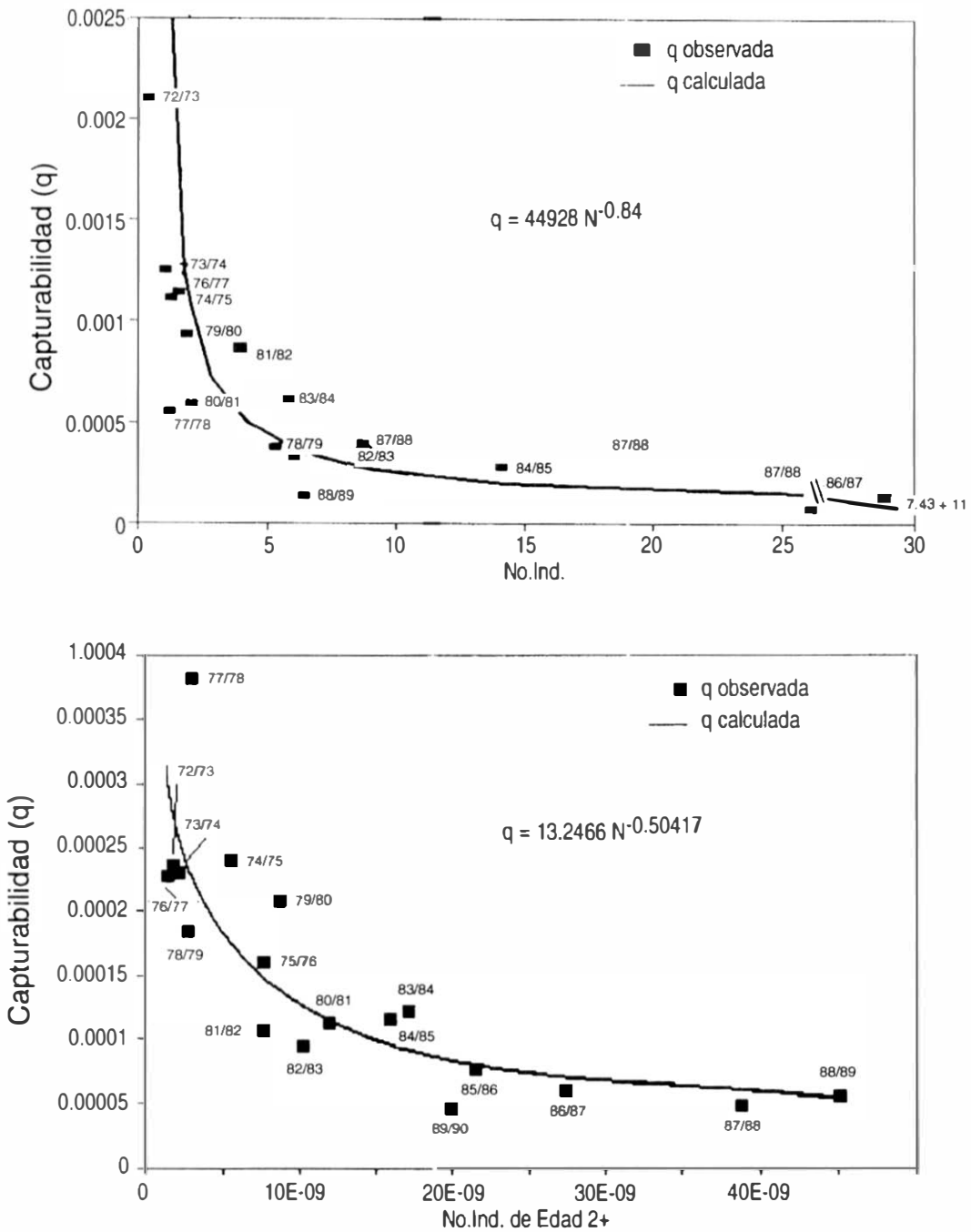


Fig. 1. Coeficiente de capturabilidad en función de la abundancia de la población en número de peces de la sardina monterrey. a) Datos obtenidos por el Método determinístico de Capturabilidad (MDC), considerando toda la estructura de tallas ( $r = 0.95$ ). b) Datos obtenidos por el Analisis de Población Virtual ( $r = 0.86$ ).

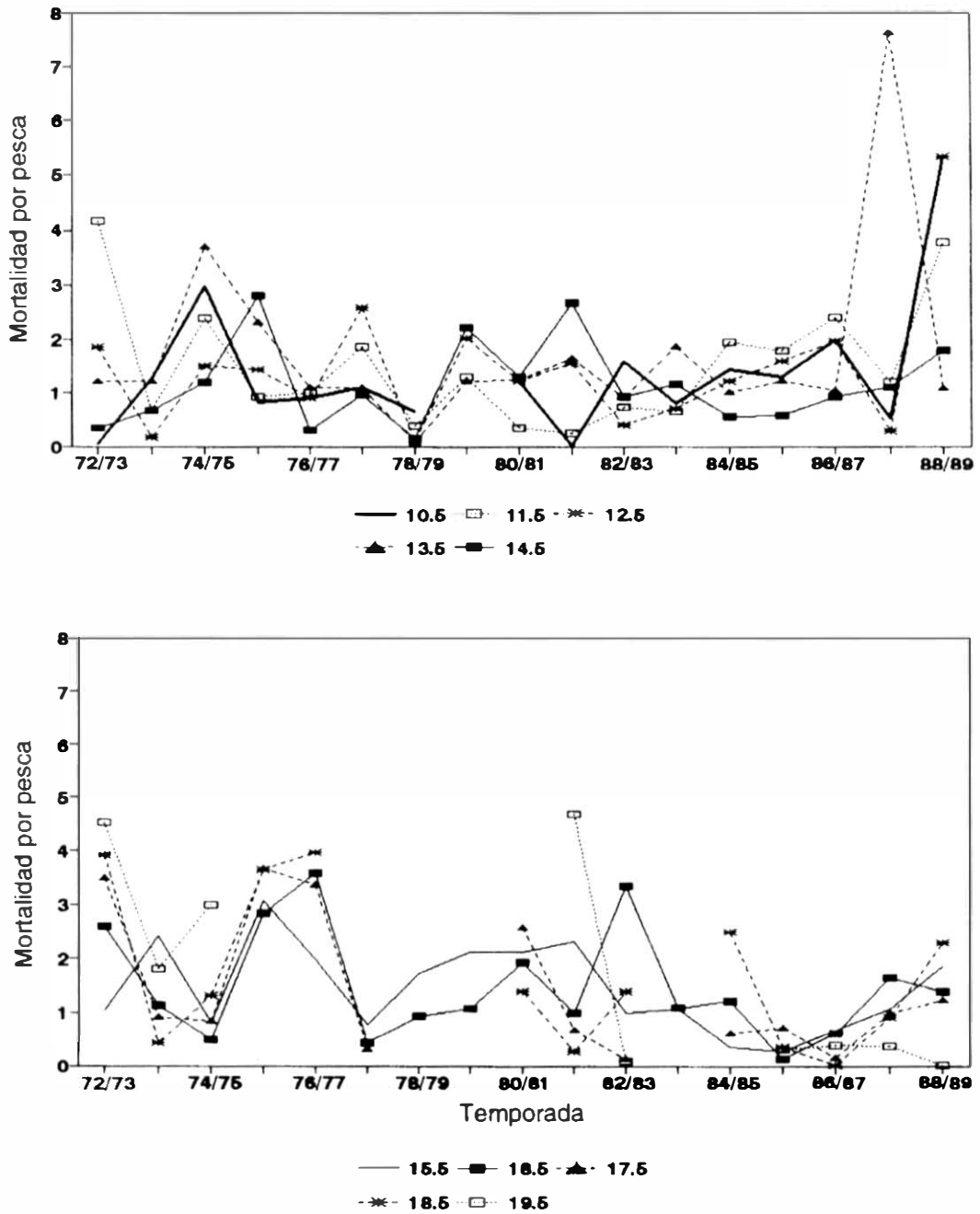


Fig. 2. Mortalidad por pesca por intervalo de longitud: a) de 10.5 a 14.5 cm. y b) de 15.5 a 19.5 cm.

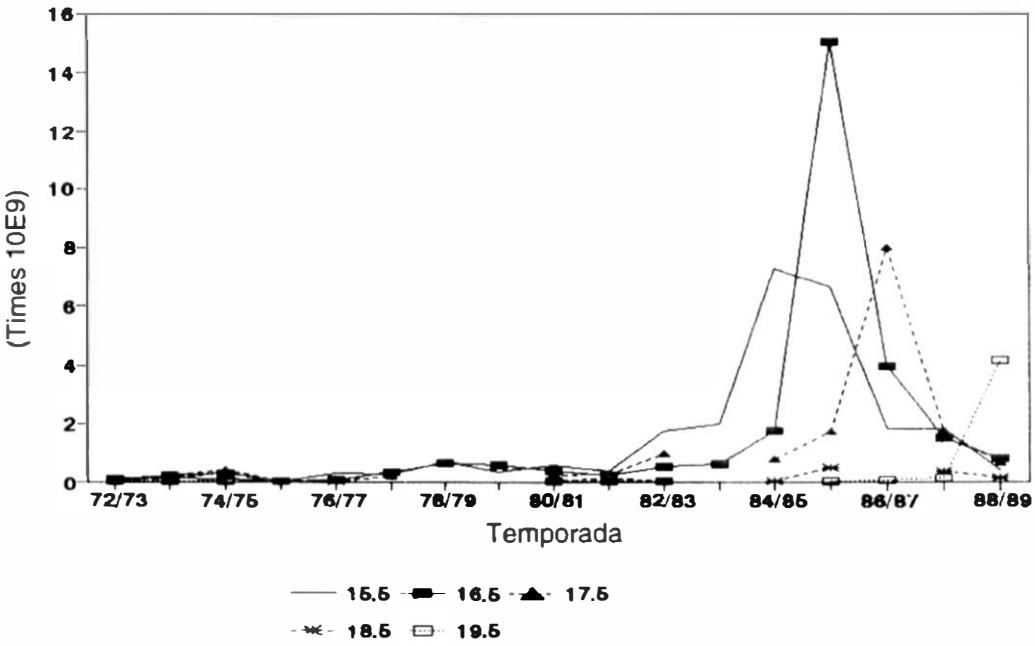
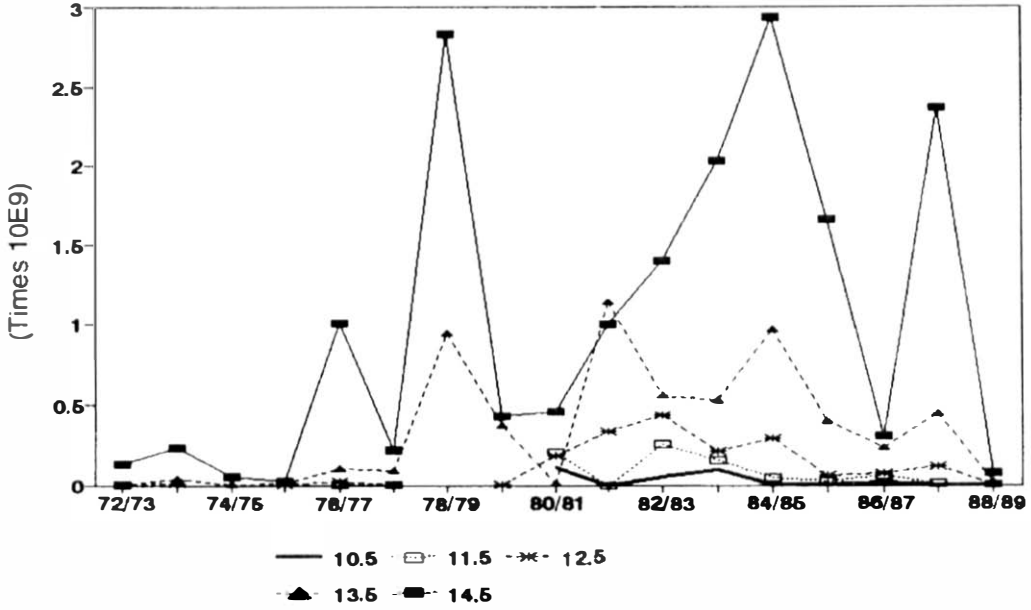


Fig. 3. Abundancia en número de peces por intervalo de longitud: a) de 10.5 a 14.5 cm, y b) de 15.5 a 19.5 cm.

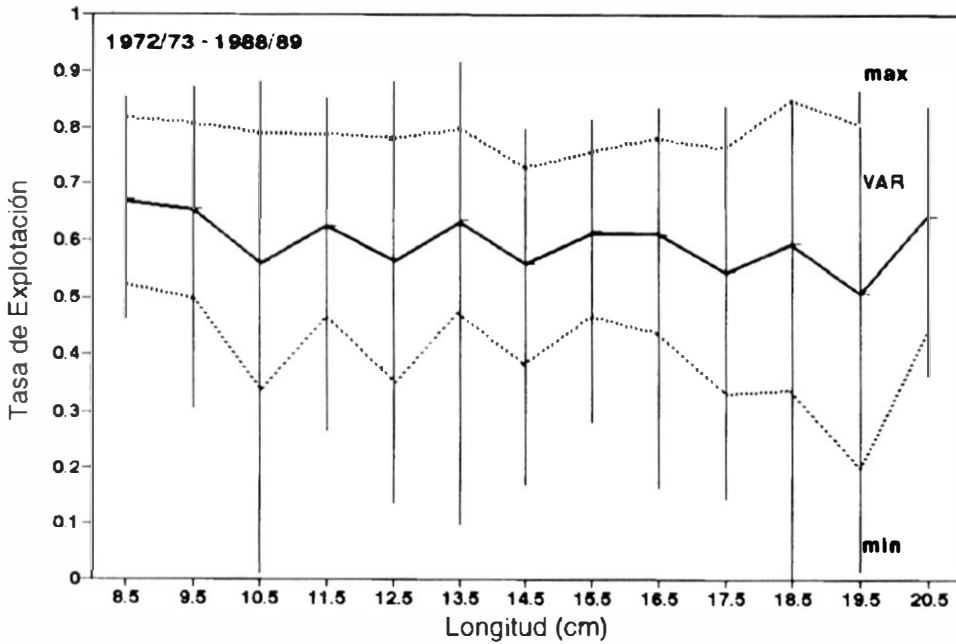


Fig. 4. Tasa de explotación promedio con su varianza (VAR) y sus valores máximo (max) y mínimo (min) en función de la longitud. Temporadas 1972/73 a 1988/89.

## DISCUSIÓN

El presente estudio para la sardina monterrey del Golfo de California presenta evidencias de lo erróneo que es considerar a "q" como una constante. Es decir, que cambios en la mortalidad por pesca son proporcionales a cambios en el esfuerzo, y que la CPUE esta linealmente relacionada a cambios en el tamaño de la población, en este caso el exponente  $\beta$  de la función potencial sería cero. La eficiencia de una estrategia de manejo depende grandemente del signo del exponente (MacCall 1976). Así, para la sardina monterrey que presenta exponente negativo y disminución importante en el tamaño de la población en las últimas temporadas, es necesario reducir drásticamente el esfuerzo pesquero para que pueda tener efecto en los niveles de mortalidad por pesca.

Las causas de este tipo de relación han sido atribuidas a mejoras en el poder de pesca (Gulland 1964), conducta gregaria del recurso, y a la conducta no aleatoria del pescador siguiendo los cambios en distribución y abundancia del recurso disponible para la pesca (Paloheimo & Dickie

1964). En este trabajo quedan descartadas las mejoras en el poder de pesca, ya que el esfuerzo fue estandarizado para el período de estudio. Las otras posibles causas sí pueden influir en "q", al existir una saturación del esfuerzo en el área de pesca. Además, la sardina monterrey es fuerte formadora de cardúmenes y sigue un patrón migratorio anual en el Golfo de California, para lo cual, la flota pesquera se mueve en función de esta distribución temporal.

Un factor que afecta de manera determinante en la distribución y conducta de peces, y en consecuencia las operaciones de la flota pesquera, y de este modo tiene un efecto en los valores de "q", son las fluctuaciones climáticas interanuales.

Las curvas de capturabilidad obtenidas por diferentes métodos, en general presentaron el mismo comportamiento, con excepción de la abundancia obtenida con el APV que empieza a decrecer después de 1988/89 y en el caso de MDC comienza a descender después de 1986/87. Esto puede ser debido al efecto de retraso mencionado por MacCall (1985) para los análisis de APV.

Considerando el tiempo de retraso del efecto de la cantidad de pesca sobre la capturabilidad y la abundancia de organismos pequeños presentes en la captura, que puede ser de uno a tres años según los resultados obtenidos por Martínez (1992), es factible que la abundancia de la población haya empezado a declinar desde la temporada 1987/88 ó incluso antes, en respuesta a la intensa pesca de prereclutas realizada durante 1982/83 y 1983/84.

La tasa de explotación promedio obtenida para todas las clases de longitud fue alta, más si se compara con la tasa de explotación de 0.35 recomendada para la misma especie y área por Cisneros-Mata *et al.* (1988).

Los valores de  $\beta$  aquí determinados, la alta explotación ejercida sobre los organismos menores a los 15.0 cm de longitud estándar y la reducción de las tallas de reclutamiento y reproductores que se ha presentado en el recurso desde 1982/83 (Cisneros-Mata *et al.* op.cit.), indican que bajo estas circunstancias cualquier incremento en el esfuerzo pesquero traería graves consecuencias a la pesquería, y cualquier medida que se tome para proteger a los prereclutas, así como para disminuir el esfuerzo ejercido, ayudaría a prevenir la pérdida probablemente irreparable de este importante recurso.

La disminución de la población en las últimas temporadas, y los valores de  $\beta$  obtenidos, son signos de que la pesquería está en niveles de peligrosa inestabilidad o disminución progresiva de la biomasa como consecuencia de los cambios ambientales y de la intensa pesca a que este recurso ha sido sometido.

Lo anterior significa que la combinación de sobrepesca de reclutas, decrementos de abundancia e incrementos de capturabilidad y esfuerzo, pueden llevar al colapso de la pesquería. Por lo que, es necesario se disminuya el esfuerzo pesquero, ya que aunque se conservará un esfuerzo constante, este generaría una captura constante, debido a la conducta del recurso de mantenerse agregado aún cuando su biomasa disminuya, y así, aunque el esfuerzo no sea incrementado la pérdida del recurso sería inevitable. Además, es necesario se respete la talla mínima legal de captura (15.0 cm) pues la protección de los peces inmaduros es imprescindible para asegurar la abundancia de huevos y el reclutamiento. Con el mismo propósito es necesario se deje de pescar en los meses de verano en las proximidades de las Islas Angel de la

Guarda y Tiburon, las cuales son zonas de agregación de juveniles.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los integrantes del Programa Sardina del Centro Regional de Investigación Pesquera de Guaymas, en especial a Miguel A. Cisneros y Manuel O. Nevarez, por ayudar en la obtención de datos.

## RESUMEN

Se analizó la pesquería de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) del Golfo de California para el período comprendido entre 1972/73 y 1989/90. Con base en datos de captura y esfuerzo procedentes de los desembarcos comerciales, se determinó la función denso-dependiente del coeficiente de capturabilidad, aplicando para esto una relación de potencia a datos del coeficiente de capturabilidad y la abundancia de la población, obtenidos por un nuevo método determinístico de capturabilidad (MDC), y a los resultados generados por el análisis de población virtual (APV). La existencia de una relación inversa entre el coeficiente de capturabilidad y la abundancia de la población observada en otras pesquerías de red de cerco, se cumple también para la pesquería de sardina monterrey. El comportamiento general de las curvas obtenidas fue parecido, con la excepción de que la abundancia obtenida con el APV empieza a decrecer después de 1988/89, y en el caso del MDC la abundancia comienza a descender después de 1986/87. Además, se determinó la mortalidad por pesca y la abundancia para cada clase de longitud por temporada.

## REFERENCIAS

- Arreguín-Sánchez, F. 1992. An approach for the study of the catchability coefficient with application to the red grouper (*Epinephelus morio*) fishery from the continental shelf of Yucatán, México. Tesis de Doctorado, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México.
- Cisneros-Mata, M.A., J.A. De Anda-Montañez, J.J. Estrada García, F. Paez Barrera & A. Quiroz-S. 1988. Pesquería de sardina del Golfo de California y Costa de Sinaloa (Informe 1986/87 y diagnóstico) CRIP-Guaymas, INP, SEPESCA. Guaymas, Sonora, México. 41 p.
- Csirke, J. 1988. Small shoalting pelagic fish stocks p. 271-302. In J.A. Gulland (ed.) Fish Population Dynamics. The implications form management. Wiley, Nueva York.
- De Anda, M.J.A. 1992. Análisis bioeconómico de la pesquería de sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) del Golfo de California, México considerando la variabilidad en el reclutamiento, Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México.



- Gulland, J.A. 1964. Manual of methods for fish population analysis. FAO Fish.tec.Pap. 40: 1-60.
- Gulland, J.A. 1965. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1 Fish Populations Analysis. FAO Fish. Tech. Pap. 40,68.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment. A manual for basic methods. Wiley, Nueva York.
- Hammann, G.M., T.R. Baugartner & A. Badan-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. CalCOFI Rep. 29: 102-109.
- Lluch-Belda, D., F.J. Magallon & R.A. Schwartzlose. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: posible causes. CalCOFI Rep. 27: 136-14.
- MacCall, A.D. 1976. Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, purse seine fishery. CalCOFI. Rep. 18: 136-148.
- MacCall, A.D. 1985. Informe del grupo de trabajo sobre investigación y monitoreo de recursos. In J. Csirke y G.D. Sharp (ed.) Informes de la consulta de expertos para examinar los cambios en la abundancia y composición por especies de recursos de peces neríticos. San José, Costa Rica, 18-29 de abril de 1983. Reunión preparatoria para la Conferencia Mundial de la FAO sobre ordenación y desarrollo pesqueros. FAO Inf. Pesca (291) Vol.1:104 p.
- Martínez, A.S. 1992. Variabilidad del coeficiente de capturabilidad en la pesquería de sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*), del Golfo de California, México. Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México.
- Parish, R.H., R.Serra. & W.S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. Can. J. Fish. Aquatic. Sci. 46: 2019-2036.
- Paloheimo, J.E. & L.M. Dickie. 1964. Abundance and fishing success. Rapp.P.- V.Réun.Cons.Int.Explor.Mer. 155: 152-163.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned?. CalCOFI Rep., Vol. XXIII:56-78 p.