

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE ANCHOVETA NORTEÑA
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
JESUS ANTONIO ROJAS MENDEZ**

ENSENADA, B.C., NOVIEMBRE 2000

RESUMEN

Con datos de la captura comercial de *Engraulis mordax* (Girard, 1856) y del esfuerzo (número de viajes) procedentes de la Pesquera Zapata S.A de C.V., se determinó la CPUE. A dichos resultados de anuales se aplicaron modelos de producción excedente de acuerdo a las metodologías de Schaefer y de Fox. Así mismo se determinó el rendimiento en toneladas por kilómetro cuadrado a partir de una malla estadística de cuadrángulos de cinco minutos de latitud por cinco minutos de longitud y se desarrolló un examen geoestadístico por medio de variogramas anuales para determinar la distancia máxima de correlación para las capturas. Finalmente se determinó en base a los resultados obtenidos la influencia de la pesca en los cambios de disponibilidad del recurso.

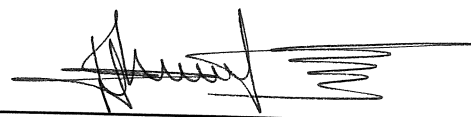
**CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE ANCHOVETA NORTEÑA
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA**

**T E S I S
QUE PRESENTA:
JESÚS ANTONIO ROJAS MÉNDEZ**

Aprobada por:


**Presidente del Jurado
Biol. Mario Siri Chiesa**


**Sinodal Propietario
M.C. Eliseo Almanza Heredia**


**Sinodal Propietario
M. C. Hector Guillermo Manzo Monroy**

*A mis padres
Por su ejemplar y desinteresado apoyo.*

*A los que luchan y mueren todos los
días por crear un mundo mejor.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director de tesis, Biol. Mario Siri Chiesa, jefe del Programa de Investigación “Cambios en la composición y estructura de los desembarques de *Engraulis mordax* 1978-1989” del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, por su valiosa guía en la elaboración de este trabajo.

Agradezco al Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo, al M.C. Alfredo Salas Garza y al M.C. José A. Segovia Zavala, directivos del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por las facilidades brindadas por la institución a su cargo para la realización de esta tesis.

Agradezco al Lic. Ernesto Ruffo Appel y al Ing. Jorge Camargo Villa el haber aportado los datos de la Pesquera Zapata S.A. de C.V. para la realización de este estudio.

Finalmente agradezco mi formación profesional a la Facultad de Ciencias Marinas.

INDICE

Pags

1. Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Identidad y morfología.....	2
Distribución.....	3
Características biológicas.....	4
Población.....	5
Pesquería.....	6
Antecedentes históricos de la pesquería.....	6
Administración del recurso.....	9
Investigación.....	9
2. Planteamiento del problema.....	10
3. Hipótesis de trabajo.....	10
4. Objetivos.....	11
5. Materiales y Métodos.....	11
Descripción del área de estudio.....	11
Metodología.....	12
Régimen de pesca.....	12
Artes y embarcaciones.....	13
Procesamiento de los datos.....	14
Análisis estadístico-matemático.....	19
CPUE, intensidad de pesca efectiva y rendimiento por unidad de área y tiempo.....	19
Modelos de producción excedente.....	21
Modelo de Schaefer.....	23
Modelo de Fox.....	24
Análisis variográfico.....	24
Modelaje del semivariograma.....	26
6. Resultados y discusiones.....	28
Modelos de producción excedente.....	43
Período 1978 –1982.....	43
Período 1983 –1987.....	46
Período 1978 –1989.....	49
Análisis variográfico.....	51
7. Discusión.....	55
8. Conclusiones.....	59

Recomendaciones.....	60
9. Referencias Bibliograficas.....	61

Lista de tablas

Tabla I. Unidades de medida de superficie según listas latitudinales de subdivisiones de 5' x 5' de bandas de divisiones de 1° x 1 ° de latitud y longitud; y sus respectivos factores de conversión del peso desembarcado por viaje en rendimiento por unidad de superficie. [(MM) milla marina; (1/A) factor de conversión] (Según Siri et al., 1999).....	18
Tabla II Peso desembarcado de anchoveta nortea; esfuerzo pesquero; y CPUE obtenidos por las diversas categorías de la flota mexicana durante el período 1978-1988.....	28
Tabla III. Intensidad de pesca efectiva (número de viajes/ Km ²); área (Km ²) ponderada por el esfuerzo (número de viajes) realizados por el barco tipo; y rendimiento (t / Km ²), anuales durante el período 1978-1989.....	31
Tabla IV. Mediana, media y desviación estándar de los factores de conversión del esfuerzo y la CPUE en intensidad y rendimiento respectivamente por bandas de 1° de latitud.....	32
Tabla V. Relación porcentual de los rendimientos anuales agrupados en intervalos de clase de 1 t / Km ²	34
Tabla VI. Relación porcentual de los rendimientos anuales agrupados en intervalos de clase de 2 t / Km ²	35
Tabla VII. Valores de desembarque, esfuerzo y área cubierta por la unidad tipo, durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987.....	37
Tabla VIII. Valores de desembarque, el esfuerzo y el área cubierta por la flota zapata en el mar territorial, durante el período 78-87 y los quinquenios 78-83, y 83-87.....	38
Tabla IX. Valores de desembarque, el esfuerzo y el área cubierta por la flota zapata en el área comprendida entre 30 Millas náuticas y el mar territorial, durante el período 78-87 y los quinquenios 78-83, y 83-87.....	38
Tabla X. Valores de desembarque, el esfuerzo y el área cubierta por la flota zapata fuera de las primeras 30 Millas náuticas de la costa, durante el período 78-87 y los quinquenios 78-83, y 83 - 87	38
Tabla XI. Media, desviación estándar y varianza del rendimiento, asociados a los tres estratos del área de estudio.....	40
Tabla XII. Tabla de ANOVA del rendimiento entre estratos del área de estudio.....	40

Tabla XIII. Media, desviación estándar y varianza de la CPUE, asociadas a las cuatro bandas latitudinales del área de estudio.....	41
Tabla XIV. Valores promedio de la CPUE y los rangos para el ANOVA no paramétrico.....	41
Tabla XV. Valores asociados a los modelos de producción excedente para las diferentes categorías de la flota nacional relativos al período 1978-1982.....	45
Tabla XVI. Valores asociados a los modelos de producción excedente para las diferentes categorías de la flota nacional relativos al período 1983-1987.....	48
Tabla XVII Valores asociados a los modelos de producción excedente de las unidades estándar durante el período 1978-1989.....	50

Lista de figuras

Figura 1. Capturas nominales anuales de peces marinos; y de arenques, sardinas y anchoas (FAO 1995).....	1
Figura 2. <i>Engraulis mordax</i> (Según Whitehead y Rodríguez-Sánchez 1995).....	2
Figura 3. Distribución geográfica de las tres subpoblaciones de anchoveta norteña (Vrooman, et al., 1981).....	3
Figura 4. Capturas nominales anuales de anchoveta norteña en el Pacífico centro oriental: total, de México (+) y de E.U.A (FAO, 1981, 1995, 1997).....	7
Figura 5. Capturas nominales de peces pelágicos menores para México: total; sardinas; y anchoveta norteña; (FAO 1983, 1997).....	8
Figura 6. Área de estudio comprendida a lo largo de tres zonas: A) mar territorial, B) zona entre doce y treinta millas marinas, y C) zona entre treinta millas y sesenta millas náuticas.....	12
Figura 7. Fotografías de algunas embarcaciones perteneciente a la flota tipo utilizada por la planta industrial	13
Figura 8. Mapa de las subdivisiones de pesca, y su codificación numérica.....	16
Figura 9. Grafica de un variograma esférico tomada de www.geostatistics.com/GSWin/GSWIN/SphericalIsotropicModel.html	27
Figura 10. Peso desembarcado en toneladas métricas por las diversas categorías de la flota nacional: total nacional; unidades estándar; unidad tipo; y otras unidades de pesca durante el período 1978-1988.....	29

Figura 11. Esfuerzo en número de viajes realizados por las diferentes categorías de la flota nacional: total nacional; unidades estándar; unidad tipo; y otras unidades de pesca durante el período 1978-1988.....	29
Figura 12. Captura por unidad de esfuerzo referida a las diferentes categorías de la flota nacional: total nacional; unidades tipo y estándar; y otras unidades de pesca durante el período 1978-1988.....	30
Figura 13. Intensidad de pesca efectiva (número de viajes/ Km^2) y rendimiento (t / Km^2) anuales del barco tipo durante el período 1978 – 1989.....	32
Figura 14 Rendimiento (t/ Km^2) y su aproximación empírica obtenida como el producto de la CPUE por un factor único de conversión igual a 0.0136.....	33
Figura 15.Porcentajes anuales del rendimiento agrupado en intervalos de clase de 1 t / Km^2	34
Figura 16.Porcentajes anuales del rendimiento agrupado en intervalos de clase de 2 t / Km^2	35
Figura 17. Importancia relativa quinquenal de los rendimientos por unidad de área agrupados en intervalos de clase de dos toneladas métricas por km^2	36
Figura 18. Importancia relativa quinquenal de los rendimientos por unidad de área agrupados en intervalos de clase de dos toneladas métricas por km^2	36
Figura 19. Rendimientos (t m / Km^2) del mar territorial; de la zona entre doce y treinta millas marinas, y de la zona entre treinta millas y sesenta millas náuticas, para los periodos 1978 – 1982; 1983 – 1987 y 1988 -1989.....	39
Figura 20. Distribución geográfica de la captura en los años 1978,1983 y 1989, la magnitud de la captura se expresa en una escala que va de los menores valores (en azul); a los máximos (en rojo).....	42
Figura 21. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B)Parábolas de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para: la unidad tipo; unidades estándar; otras unidades; y total nacional.....	44
Figura 22. A)Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B)Curva que describe el modelo de Fox para: la unidad tipo; unidades estándar; otras unidades; y total nacional.....	45
Figura 23. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B)Parábolas de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para: las unidades estándar; y total nacional.....	47
Figura 24. A)Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B)Curva que describe el modelo de Fox para: las unidades estándar; otras unidades; y total nacional	48
Figura 25. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B)Parábolas de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para: las unidades estándar.....	49

Figura 26. A)Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B)Curva que describe el modelo de Fox para: las unidades estándar.....	50
Figura 27. variogramas anuales para los datos de captura de anchoveta por parte del buque tipo de la pesquera Zapata.....	52
Figura 28. A) Serie de tiempo que muestra el comportamiento del rango; y B) Serie de tiempo que muestra el comportamiento de la variable Sill relativa a la Varianza.....	53
Figura 29 variograma ajustado al modelo esférico obtenido para los datos de captura de anchoveta por parte del buque tipo.....	54
Figura 30. Distribución de edades para las capturas del barco tipo.....	57

1. Introducción

Las poblaciones de peces pelágicos costeros constituyen por sí mismas entre una tercera y cuarta parte de las capturas nominales mundiales de peces marinos según estadísticas (FAO 1995) (Fig.1). La investigación tendiente a favorecer el uso racional de dichos recursos es una de las grandes prioridades de la política ambiental en el presente siglo.

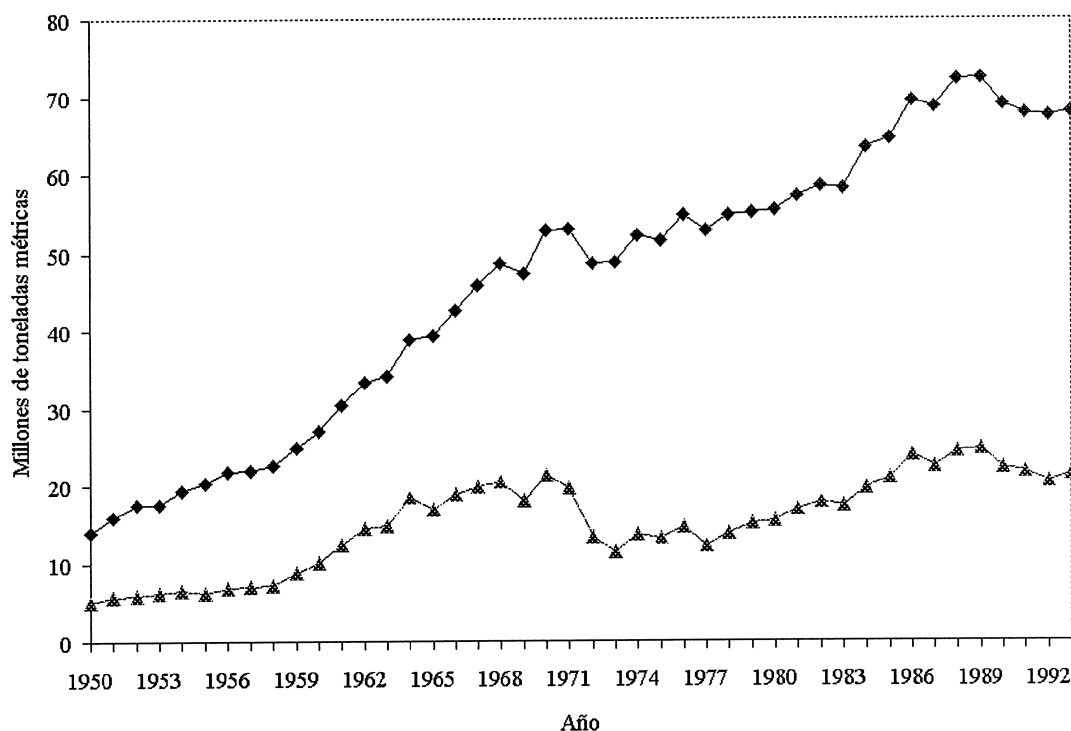


Figura 1. Capturas nominales anuales de peces marinos (◆); y de arenques, sardinas y anchoas (▲) (FAO 1995).

La presente tesis se construye sobre los datos de la pesquería de anchoveta norteña en la costa occidental de Baja California, hoy prácticamente inexistente; y expone las principales causas de su colapso, y también establece criterios para la administración de futuras pesquerías de pelágicos menores.

El uso de los datos de desembarque y esfuerzo de pesca efectivo referidos a unidades de superficie y tiempo constituye la base de este trabajo y permite el cálculo del rendimiento pesquero entendido como captura por unidades de área y tiempo.

El uso de herramientas geoestadísticas como variogramas, y el empleo de programas computacionales como “Mat-lab 5.2”; constituyen una aportación al estudio de la pesquería de la especie en cuestión.

Antecedentes

Identidad y morfología.

Engraulis mordax Girard, 1856 conocida con los nombres vernáculos de anchoveta nortea y anchoa de California, entre otros, es un pez pelágico costero que por sus características morfológicas se incluye en la categoría de los peces pelágicos menores. Se identifica en el orden Clupeiforme, y a su vez dentro del sub-orden Clupeoidei de la familia Engraulidae (Fig. 2).

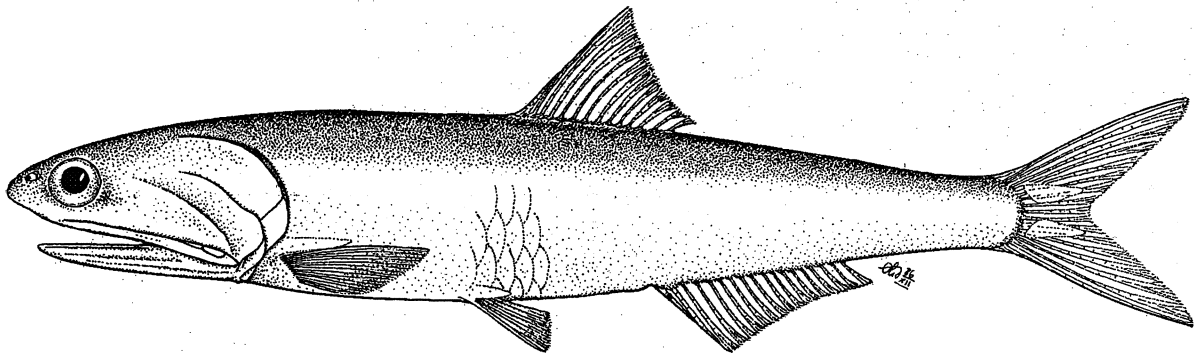


Figura 2. *Engraulis mordax* (Según Whitehead y Rodríguez-Sánchez 1995).

Posee un cuerpo delgado con una longitud estándar entre los 12 y 14 cm a los dos y tres años de edad, pudiendo alcanzar una longitud patrón máxima aproximadamente de 20.5 cm. Cabeza larga con hocico bastante puntiagudo comprendida de 3.25 a 3.75 veces en

la longitud estándar. Origen de la aleta anal abajo o ligeramente posterior al último radio de la aleta dorsal. Cuerpo de dorso azul o verde metálico, flancos plateados, con una franja brillante evidente en juveniles (Whitehead y Rodríguez-Sánchez, 1995).

Distribución

Se distribuye en el Pacífico oriental desde las Islas Queen Charlotte en Canadá, hasta Bahía San Rafael en la del Mar de Cortés (Hammann y Cisneros-Mata, 1989). Se pesca en la costa y hasta 30 Km. fuera de ella (Whitehead y Rodríguez-Sánchez, 1995), se ha observado a 480 Km de la costa y también a 200 metros de profundidad.

La población de esta especie se ha caracterizado en el Pacífico oriental por tres subpoblaciones (Fig. 3): la norteña desde las islas Queen Charlotte hasta Punta Concepción, E.U.A.; la central, desde Punta Concepción hasta Isla de Cedros, B.C., México, y la sureña que llega hasta Cabo San Lucas, B.C.S. (Vrooman et al., 1981).

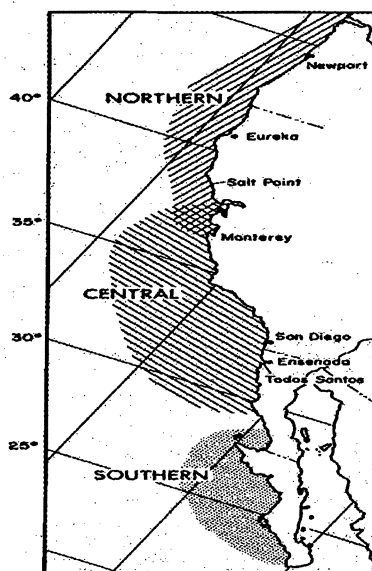


Figura 3. Distribución geográfica de las tres subpoblaciones de anchoveta norteña (Vrooman, et al., 1981).

La existencia de la subpoblación sureña ha sido cuestionada por Hedgecock et al., (1983). Hubbs (1925), identificó una subespecie *Engraulis mordax nanus* en la Bahía de San Francisco. *E. mordax* se distribuye también a lo largo y ancho del Golfo de California (Green-Ruiz, Y. y Acal-Sanchez, D. 1987).

Respecto a su comportamiento migratorio trabajos de marcado efectuados de 1966 a 1969, proporcionaron considerable información sobre los movimientos de la especie. La recuperación de las marcas mostró que existe intercambio de peces entre las zonas de pesca de California central, sur de California y norte de Baja California (Chavez et al., 1979).

Características biológicas

En lo que a su reproducción se refiere se encuentran sexualmente maduros a los dos años de edad con una talla entre 12.7 y 14 cm aproximadamente (Chavez et al., 1979). Aunque Coteró (1987), observó que a partir de 1983 la longitud de primera madurez disminuyó y estuvo por debajo de los 10 cm de la longitud estándar. La anchoveta como reproductor parcial se reproduce todo el año. Abril, mayo y octubre son los meses principales de reproducción (Coteró, 1987). La biomasa del desove se calculó para 1988 en 1 009 000 toneladas métricas (Lo and Methot, 1989), el principal centro de desove es el sur de California, con uno secundario localizado en la región de punta Eugenia (Hernandez, 1995). El desove se realiza en un rango de temperatura entre 10 - 23.3 ° C, y preferentemente entre 13.0 - 17.5 ° C, el cigoto es ovoide y transparente; la eclosión tarda de 2 a 4 días, según la temperatura (Chavez et al., 1979).

Su fuente principal de alimento está constituida por eufáusidos, copépodos y larvas de crustáceos decápodos tanto por filtración como por selección de presas (Hart, 1973).

Estos peces forman cardúmenes que se dispersan al ocultarse el sol, volviendo a reagruparse en cardúmenes más grandes y densos a la media noche (Chavez et al., 1979).

Población

La población de anchoveta norteña se encuentra compuesta principalmente por organismos de cero a dos años de edad. Pedrín (1992) destacó la composición por edades en los desembarques de la siguiente forma: en 1983 los principales grupos de edad en las capturas fueron de 1,2 y 3 años; en 1984 sólo el grupo de 1 año; y finalmente durante los siguientes cuatro años la pesquería estuvo principalmente sustentada en individuos de menos de un año de edad.

De acuerdo con Macall (1973) la mortalidad de anchoveta norteña en el sur de California corresponde a una tasa anual de 66.5 % (Chavez et al., 1979).

La disponibilidad y abundancia del recurso en cuestión presenta notorias oscilaciones, mismas que se traducen como fluctuaciones de su disponibilidad, concepto definido por Ahlstrom (1959) como la porción de la población reclutada que se encuentra físicamente dentro del área de captura durante la actividad pesquera citado por Howard (1963). Para comprender la naturaleza de las fluctuaciones del recurso se consideraron los siguientes factores como sus causas:

- Fluctuaciones naturales de la abundancia en períodos geológicos en ausencia de pesca (Baumgartner et al., 1996).

- Inanición y depredación de pre-reclutas por adultos de otras especies (Butler, 1987).
- Eventos oceánicos estacionales que condicionan la disponibilidad del alimento. (Fiedler et al., 1986).
- Eventos oceánicos no estacionales como el ENSO; y cambios climáticos de medio y largo período con relación a eventos geofísicos y astronómicos (Fiedler et al., 1986) y (Lluch-Belda et al., 1994).

Pesquería

Antecedentes históricos de la pesquería

Históricamente el producto de la pesquería de anchoveta norteña se ha destinado principalmente al consumo humano indirecto mediante la producción de harina y aceite de pescado de gran demanda en el mercado nacional e internacional.

Respondiendo a la escasez de sardina Monterrey *Sardinops ceruleus* (Girard, 1856), en 1950, la anchoveta se utilizó en Baja California a una mínima escala para el enlatado y consumo en fresco; posteriormente en 1964 se destinó de nuevo para el enlatado por empacadoras locales (Villamar et al., 1979). No obstante, la pesca de peces pelágicos menores y en particular de anchoveta norteña, comenzó a desarrollarse en altos niveles industriales durante la década de los setentas cuando se observó una disminución en las capturas de pelágicos menores por parte de los EUA (Fig. 4).

Durante la década de los setentas la pesquería de anchoveta peruana tuvo un colapso afectándose el suministro mundial de harina de pescado, motivo por el cual la pesca en

México se intensificó para satisfacer la gran demanda de harina del mercado nacional e internacional.

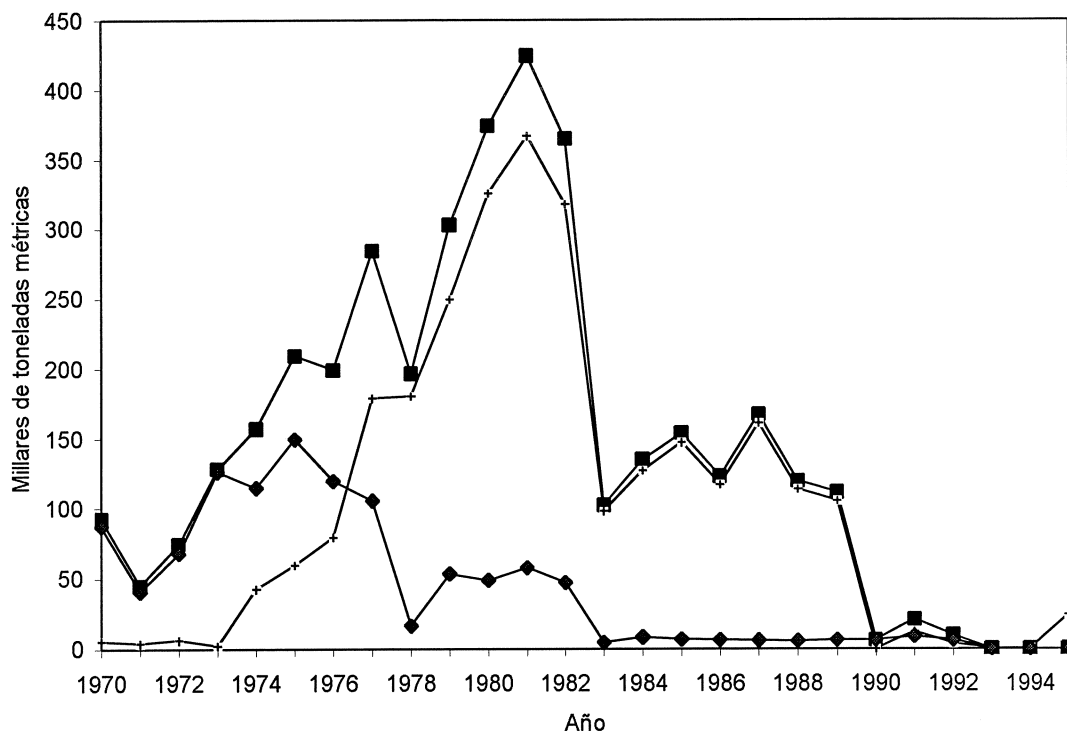


Figura 4. Capturas nominales anuales de anchoveta nortea en el Pacífico centro oriental: total (■), de México (+) y de E.U.A. (◆) (FAO, 1981, 1995, 1997).

De este modo durante 1977 en México, el 97.2 % de la captura se destinó a la producción de harina, el 2.7 % se enlató, y el resto se usó como carnada para pesca deportiva (Chávez et al., 1979).

Hasta 1975, el abasto de harina de pescado dependió casi en su totalidad del mercado externo; y a partir de entonces se establecieron plantas reductoras en Sonora y Baja California, al tiempo que se protegió la producción interna con aranceles a la importación (Lluch-Belda et al., 1994).

Obedeciendo a la activación del Plan Nacional de Desarrollo Pesquero (Villamar et al., 1979), se presentó una clara evolución de la pesquería en la costa noroccidental de Baja California; incorporándose nuevas unidades de pesca construidas especialmente para la pesca de peces pelágicos menores, y consecuentemente, se implementó tecnología moderna en el proceso de industrialización del producto (Castellanos, 1975).

Altos volúmenes de anchoveta norteña fueron obtenidos durante los primeros tres años llegando a las 327 712 t métricas por la pesquería de la costa occidental de Baja California; y a partir de 1981, se presentó una disminución que se reflejó en los desembarques anuales del Pacífico centro-oriental, de 424 000 en 1981 a 3900 y 27 000 t métricas en 1994 y 1995, respectivamente (FAO 1983, 1997) (Fig. 5).

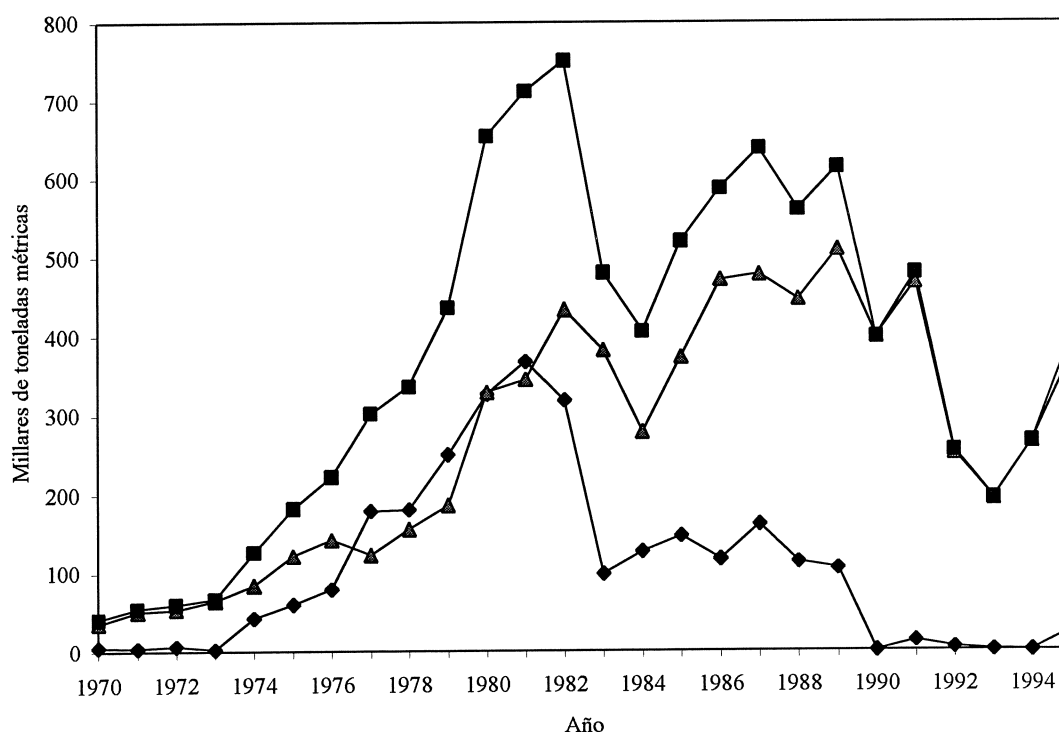


Figura 5. Capturas nominales de peces pelágicos menores en México: total (■); sardinas (▲); y anchoveta norteña (◆); (FAO 1983, 1997).

Actualmente, la pesquería de esta especie en la costa de Baja California, no ha vuelto a registrar volúmenes semejantes a los obtenidos a finales de los años 1970's y principios de los 1980's (Lluch-Belda et al., 1994).

Administración del recurso

La pesquería se ha regulado por medidas como: a) vedas de enero a marzo y considerando 10 cm de longitud estándar como talla mínima permitida (Pedrín, 1992); b) cuotas de captura para la pesquería californiana como la establecida para el periodo histórico de 1975-76 de 149 686 toneladas métricas y una talla mínimas de 10.8 cm de longitud estándar (Chavez et al., 1979). Sin embargo pese a estos esfuerzos la pesquería en cuestión se ha colapsado tanto en California como en Baja California.

Investigación

La base del análisis poblacional la constituye la estimación de la abundancia y biomasa del recurso, misma que sirve en el desarrollo de modelos de producción que definen niveles sustentables de explotación.

De este modo, hasta nuestros días, las estimaciones de biomasa de la subpoblación central se han realizado mediante censos de huevos y larvas, barrido hidroacústico y el método de producción de huevos permitiendo determinar su distribución y abundancia en el Pacífico centro-oriental (Methot and Lo, 1987).

El empleo de los modelos de producción excedente, y en particular, el modelo de Schaefer (1954), arrojó cifras de captura máxima sostenible de 120 000 t en 1979 (Villamar et al., 1979), más aún, mediante el empleo del modelo de Pella-Tomlinson (1969), se estimó la cantidad de 182 908 t métricas (Escudero y Castellanos, 1990). Sin

embargo el desarrollo de los modelos de producción se encuentra cuestionado debido a que se sustenta en condiciones de equilibrio estático de la pesquería, las cuales no son características para pelágicos menores.

2. Planteamiento del problema

Antes de interpretar fluctuación de la disponibilidad en función de la captura y el esfuerzo, conviene recordar que el asumir una proporcionalidad entre la captura por unidad de esfuerzo y la abundancia relativa del recurso, requiere de la uniformidad espacial del esfuerzo así como de una búsqueda aleatoria de los cardúmenes (Hilborn and Walters, 1992). Por ello en el presente trabajo se examinó la variación del peso desembarcado espacial y temporalmente en función del esfuerzo pesquero, la intensidad de pesca efectiva y el rendimiento por unidad de superficie y tiempo. De este modo se emplea una metodología tendiente a expresar la producción en términos del rendimiento del recurso en toneladas métricas por kilómetro cuadrado, estableciendo así los efectos puntuales del método de pesca por unidad de área y tiempo, lo cual es apropiado para poblaciones con distribuciones discretas. Dicha metodología permitirá relacionar comparativamente el rendimiento por unidad de área de una población a otras poblaciones dentro de las mismas latitudes.

3. Hipótesis de trabajo:

La variabilidad temporal y espacial de la captura de *Engraulis mordax* en el área de pesca durante el período de desarrollo, maduración y colapso de la pesquería, ha sido función principalmente de los efectos acumulativos de las intensidades de pesca efectiva.

4. Objetivos:

El objetivo del presente trabajo se ha definido en los siguientes términos: “Evaluar los cambios en la disponibilidad y las fluctuaciones espacio temporales (1978-1989) de la abundancia relativa del citado recurso.” Para tales fines se describe la siguiente ruta:

- I) Calcular la captura por unidad de esfuerzo: $CPUE = \text{captura} / \# \text{ viajes} / \text{año}$.
- II) Convertir la CPUE en rendimiento por unidad de área ($\text{captura} / \text{km}^2 / \text{año}$) mediante el uso de un factor de conversión calculado que proporciona el rendimiento por unidades de área y tiempo.
- III) Interpretar los efectos acumulativos de las intensidades de pesca efectiva como las causas de la variabilidad de la captura en períodos anuales y quinquenales.
- IV) Desarrollar modelos de producción excedente.
- V) Establecer criterios para la administración racional de futuras pesquerías.

5. Materiales y Métodos

Para tal fin se examinó el desarrollo de la pesquería de 1978 a 1988 partiendo de la información obtenida de las bitácoras y las plantillas de producción de unidades de pesca tipo de una planta industrial en Baja California.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localizó a lo largo de la costa occidental de Baja California, entre las latitudes de $29^{\circ} 35'$ y $32^{\circ} 30' N$, a través de una zona de 60 millas náuticas equivalente a 111.12 Km. de ancho; que comprende desde la costa tres estratos: a) mar

territorial; b) entre el mar territorial y las 30 millas marinas y c) desde el límite anterior, hasta las 60 millas náuticas (Fig. 6).

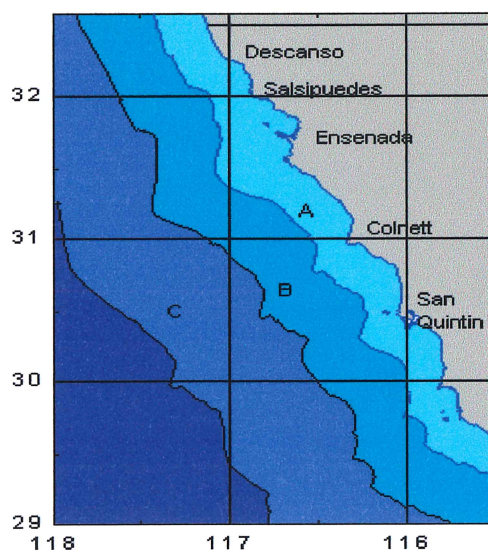


Figura 6. Área de estudio comprendida a lo largo de tres zonas: A) mar territorial, B) zona entre doce y treinta millas marinas, y C) zona entre treinta millas y sesenta millas náuticas.

Dicha área de estudio se ve fuertemente afectada por la presencia de la corriente de California, así como por los subsistemas de contracorrientes que caracterizan a la misma. Por tratarse de una costa de margen continental oeste y favorecida por la geomorfología costera, presenta surgencias producto de los vientos que corren de norte a sur a lo largo de la línea de costa durante el verano.

Metodología

Régimen de pesca

En la costa noroccidental de Baja California, la flota destinada a la pesca de pelágicos costeros en general, operó durante todo el año, y utilizó embarcaciones cerqueras de diferentes características en áreas frente a la costa (Villamar et al 1979). La

duración de cada viaje varió en función del tamaño de las embarcaciones. La búsqueda de los cardúmenes se ha realizado por localización visual directa, ecodetección y localización aérea (Mexicano V., 1989).

Para esta Tesis la información utilizada fue proporcionada por la empresa "Pesquera Zapata S.A. de C.V.", consiste en datos de 2282 viajes de pesca y corresponde al período 1978-1989.

Artes y embarcaciones

Dicha planta industrial contó con nueve **unidades pesqueras estándar** especialmente construidas para la pesca de anchoveta norteña y especies afines con destino a la industria de la reducción, operaron con las siguientes características: a) con igual arte (método de pesca) de nylon de 677 m de largo por 82 m de altura y de 14 mm de diagonal de malla; b) con una embarcación auxiliar de aluminio (pangón) para las maniobras del método de pesca de encerrar de cerco de jareta; c) con 300 m³ de capacidad de bodega; y d) con una tripulación compuesta por un capitán de pesca, un maquinista, un redero, dos marineros y un cocinero.



Figura 7. Fotografías de algunas embarcaciones perteneciente a la flota tipo utilizada por la planta industrial.

Así, las operaciones tuvieron lugar según dos conjuntos de unidades pesqueras: i) de seis embarcaciones de casco de acero construidas en 1976 en EUA, de 296.29 toneladas de registro bruto; de 675 HP a 1800 RPM de potencia del motor interior; y de 32.35 m de eslora total; y ii) de tres embarcaciones de casco de acero construidas en 1980 en Noruega, de 210.39TRB; de 900 HP a 1800 RPM de potencia del motor interior; y de 32.91 m de eslora total. Ambos conjuntos con una autonomía y velocidad de navegación promedios de 24 días y de 11 nudos, respectivamente.

Procesamiento de los datos

A partir del examen de las **unidades de pesca estándar**, se tomó información de los barcos que realizaron sus operaciones únicamente en una sola área de pesca por viaje, designandoseles como **unidades de pesca tipo**, toda vez que hicieron labor de un buque de investigación.

A partir del examen de dichas unidades tipo se obtuvo una matriz de datos de 2282 renglones por siete columnas correspondientes a: número de viaje, barco, día, mes, año, código de área y peso desembarcado, respectivamente. A partir de esa información se consideró como las dos principales variables a las siguientes:

- a) La captura medida en toneladas métricas.
- b) La unidad de esfuerzo o viaje de pesca, entendido como aquel durante el cual sólo se pescó en una subdivisión de 5 minutos por 5 minutos de latitud y longitud; unidad de área de pesca.

En síntesis la estimación del rendimiento y los cambios de densidad del recurso se desarrollarán según:

- a) una unidad de área de pesca (subdivisión) menor de 100 Km²;
- b) por unidades de tiempo (años);
- c) en un área estadística de pesca de aproximadamente 38 000 Km²;
- d) con un único arte (método de pesca) de encerrar de cerco de jareta;
- e) en una única categoría de tamaño de embarcación;
- f) en idéntico régimen operativo en períodos menores de 24 horas, contados de medianoche a medianoche;
- g) pescando en una sola unidad de área por viaje;
- h) en 2 282 viajes de pesca comercial y;
- i) durante el período 1978-1989.

El lugar de procedencia de las capturas se determinó geográficamente tomando en cuenta una malla estadística constituida por cuadrángulos de cinco por cinco minutos de latitud y longitud, a los que se designó con el nombre de **subdivisión de pesca** e identificó por un código de área (Fig. 8).

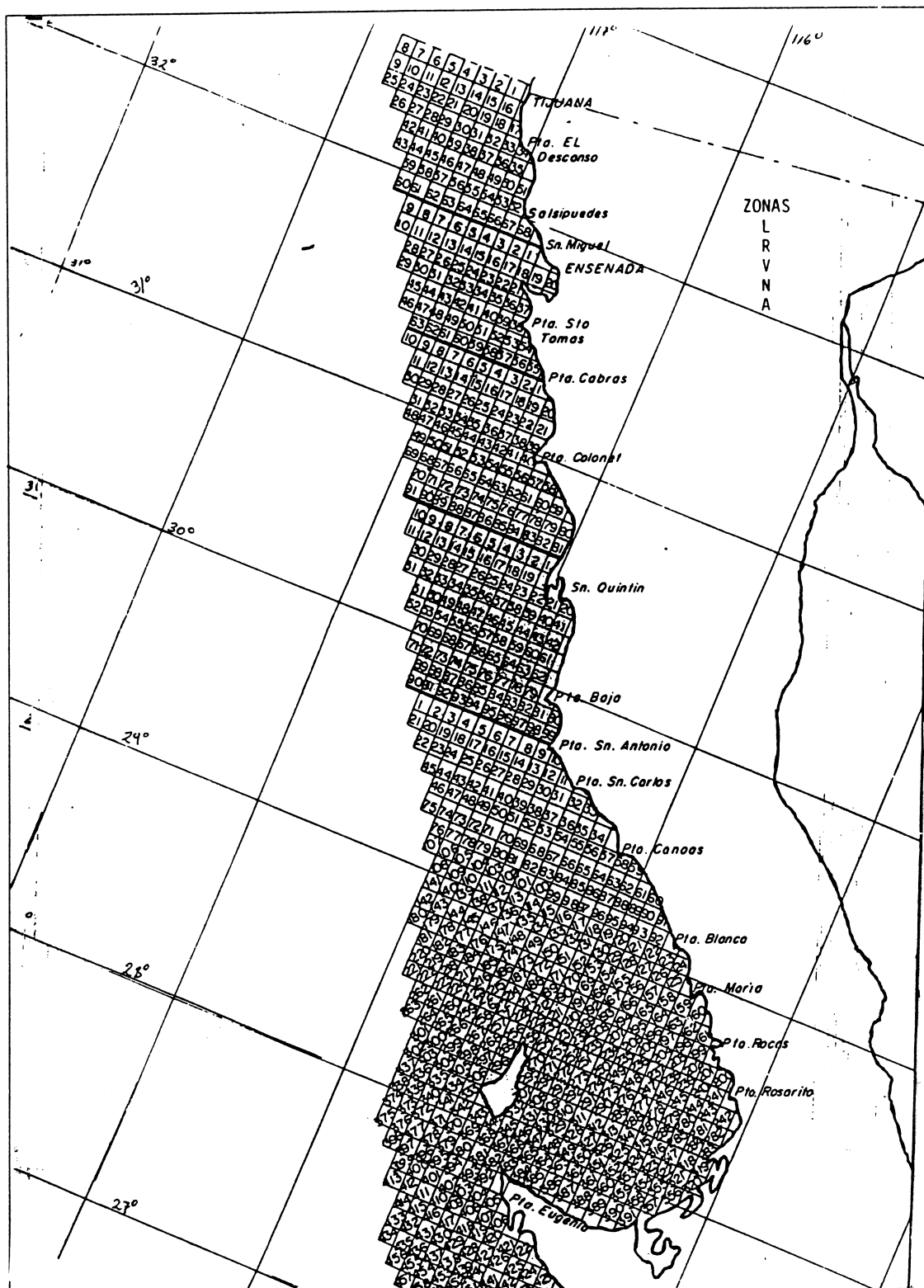


Figura 8. Mapa de las subdivisiones de pesca, y su codificación numerica.

Utilizando los programas computacionales “Microsoft Excel 97” y “Mat-lab 5.2”, la información se agrupó por bandas de 1° de latitud y estratos en las siguientes categorías:

Bandas:

- a) $29^\circ - 30^\circ$ N;
- b) $30^\circ - 31^\circ$ N;
- c) $31^\circ - 32^\circ$ N;
- d) $32^\circ - 33^\circ$ N.

Estratos:

- a) Mar territorial 12 millas náuticas;
- b) Entre 12 y 30 millas náuticas;
- c) Entre 30 y 60 millas marinas.

La variación en la superficie de las **subdivisiones** de 74.5749 km^2 en los $29^\circ 35' \text{ N}$, a 72.32571 km^2 en los $32^\circ 30' \text{ N}$, por el efecto de la curvatura de la tierra se estimó con base en un factor de escalamiento en función de la latitud.

El calculo de la superficie de cada subdivisión se realizó mediante el uso del paquete “Mat-lab 5.2” y los datos se muestran en la tabla I.

Tabla I. Unidades de medida de superficie según listas latitudinales de subdivisiones de 5' x 5' de bandas de divisiones de 1° x 1° de latitud y longitud; y sus respectivos factores de conversión del peso desembarcado por viaje en rendimiento por unidad de superficie. [(MM) milla marina; (1/A) factor de conversión] (Según Siri et al., 1999).

Latitud	Factor de escala	Distancia en MM de 5' de longitud	Área de 5'x 5' (MM²)	Área de 5'x 5' (Km²)	1 / Área (MM²)	1 / Área (Km²)
29° 00'	0.874682	4.373407	21.867040	75.001750	0.045731	0.013333
29° 05'	0.873976	4.369879	21.849400	74.941250	0.045768	0.013344
29° 10'	0.873268	4.366342	21.831710	74.880580	0.045805	0.013355
29° 15'	0.872559	4.362796	21.813980	74.819760	0.045842	0.013365
29° 20'	0.871848	4.359240	21.796200	74.758780	0.045880	0.013376
29° 25'	0.871135	4.355675	21.778380	74.697650	0.045917	0.013387
29° 30'	0.870420	4.352101	21.760500	74.636350	0.045955	0.013398
29° 35'	0.869704	4.348517	21.742590	74.574900	0.045993	0.013409
29° 40'	0.868985	4.344925	21.724620	74.513290	0.046031	0.013420
29° 45'	0.868265	4.341323	21.706620	74.451520	0.046069	0.013432
29° 50'	0.867543	4.337712	21.688560	74.389600	0.046107	0.013443
29° 55'	0.866819	4.334093	21.670460	74.327510	0.046146	0.013454
30° 00'	0.866093	4.330463	21.652320	74.265270	0.046184	0.013465
30° 05'	0.865365	4.326825	21.634120	74.202880	0.046223	0.013477
30° 10'	0.864636	4.323177	21.615890	74.140330	0.046262	0.013488
30° 15'	0.863904	4.319520	21.597600	74.077620	0.046301	0.013499
30° 20'	0.863171	4.315855	21.579280	74.014760	0.046341	0.013511
30° 25'	0.862436	4.312180	21.560900	73.951730	0.046380	0.013522
30° 30'	0.861699	4.308496	21.542480	73.888550	0.046420	0.013534
30° 35'	0.860961	4.304803	21.524020	73.825220	0.046460	0.013546
30° 40'	0.860220	4.301101	21.505500	73.761730	0.046500	0.013557
30° 45'	0.859478	4.297390	21.486950	73.698070	0.046540	0.013569
30° 50'	0.858734	4.293669	21.468350	73.634280	0.046580	0.013581
30° 55'	0.857988	4.289939	21.449700	73.570320	0.046621	0.013592
31° 00'	0.857240	4.286201	21.431010	73.506200	0.046661	0.013604
31° 05'	0.856491	4.282454	21.412270	73.441930	0.046702	0.013616
31° 10'	0.855739	4.278697	21.393480	73.377510	0.046743	0.013628
31° 15'	0.854986	4.274931	21.374650	73.312930	0.046784	0.013640
31° 20'	0.854231	4.271156	21.355780	73.248190	0.046826	0.013652
31° 25'	0.853475	4.267373	21.336860	73.183300	0.046867	0.013664
31° 30'	0.852716	4.263580	21.317900	73.118260	0.046909	0.013676
31° 35'	0.851956	4.259778	21.298890	73.053060	0.046951	0.013689
31° 40'	0.851193	4.255967	21.279840	72.987710	0.046993	0.013701
31° 45'	0.850430	4.252148	21.260740	72.922200	0.047035	0.013713
31° 50'	0.849664	4.248319	21.241590	72.856540	0.047077	0.013726
31° 55'	0.848896	4.244481	21.222400	72.790730	0.047120	0.013738
32° 00'	0.848127	4.240634	21.203170	72.724750	0.047163	0.013750
32° 05'	0.847356	4.236778	21.183890	72.658630	0.047206	0.013763
32° 10'	0.846583	4.232913	21.164570	72.592350	0.047249	0.013776
32° 15'	0.845808	4.229040	21.145200	72.525920	0.047292	0.013788
32° 20'	0.845032	4.225157	21.125790	72.459340	0.047336	0.013801
32° 25'	0.844253	4.221266	21.106330	72.392600	0.047379	0.013814
32° 30'	0.843473	4.217365	21.086830	72.325710	0.047423	0.013826

Análisis estadístico-matemático

La superficie de las subdivisiones de cinco por cinco minutos se calculó como el producto de la distancia meridional por la distancia zonal corregida por un factor de escalamiento en función de la latitud las citadas distancias se calcularon en millas marinas y en kilómetros con base en la regla de transformación de $1852.7 \text{ Km.} = 1 \text{ MM.}$

Asimismo, la mediana, media, y desviación estándar de dichas superficies se calcularon por bandas de 1° de latitud, así como un factor único de conversión de la CPUE en rendimiento por unidad de superficie y tiempo para la totalidad del área de pesca.

CPUE, intensidad de pesca efectiva y rendimiento por unidades de área y tiempo.

Con los datos del peso desembarcado diariamente por subdivisión de pesca y por viaje, se elaboraron las matrices para cada año, y de esta forma se obtuvieron valores por día y por mes, sin embargo para efectos prácticos en la presente tesis se presentan únicamente los valores anuales.

Primeramente se obtuvo la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) entendida como:

$$CPUE = \frac{Y}{f} = qB$$

donde "Y" el peso desembarcado, y "f" e; esfuerzo efectivo de pesca; así mismo la CPUE es equivalente al producto de q (coeficiente de capturabilidad) por la biomasa B.

La intensidad de pesca efectiva se considero de la siguiente forma:

$$\frac{f_i}{a_i t} = \bar{f}_i$$

donde; " f_i " es el esfuerzo pesquero en número de viajes efectuados, " a_i " el área promedio de la subdivisión y " t " el tiempo unitario de pesca.

El inverso de la superficie de la unidad de área ponderada por el esfuerzo efectivo de pesca en un intervalo de tiempo unitario $1 / a_i t$; constituye un factor de conversión que transforma la CPUE en rendimiento por unidad de área y por unidad de tiempo según:

$$CPUE \times \frac{1}{a_i t} = \frac{y_i}{f_i} \times \frac{1}{a_i} \times \frac{1}{t} = Y (t / Km^2/año)$$

Donde y_i es el peso descargado por viaje de una unidad de área de pesca a_i (subdivisión); f_i es el esfuerzo efectivo (número de viajes) de pesca aplicado por una unidad de pesca tipo en un intervalo de tiempo unitario t (año); y/f la captura por unidad de esfuerzo durante un período unitario t (año); y $1/a_i$ el factor de conversión que cambia la CPUE en rendimiento por unidad de área y por unidad de tiempo, respectivamente.

Así se calculó la CPUE y el rendimiento promedio anual por subdivisión, y para la totalidad del área. Se elaboraron los polígonos de frecuencias y con los valores correspondientes se agrupó el rendimiento promedio por unidad de área en intervalos de clase de una y dos toneladas métricas por kilómetro cuadrado.

Se realizarán comparaciones estadísticas de los promedios anuales de la CPUE y del rendimiento entre las bandas latitudinales y los entre los estratos en los que se dividió el área de estudio a fin de tener una acercamiento al comportamiento espacial de la pesquería mediante el uso de la estadística tradicional.

Modelos de producción excedente

A pesar de que el uso de los modelos globales o de producción excedente es cuestionable sobre pelágicos menores debido a la naturaleza cambiante de sus poblaciones, en esta tesis se emplearán con las precauciones debidas.

Entre los procedimientos que se pueden utilizar para evaluar una población, están aquellos que permiten realizar un diagnóstico del estado de una pesquería mediante un análisis de las estadísticas históricas de captura y esfuerzo. A esta categoría pertenecen los llamados modelos globales, en los cuales se utiliza la cantidad observable de esfuerzo aplicado sobre una población de la cual se no se conoce a profundidad su dinámica y de la cual se obtiene una captura como producto de la aplicación de dicho esfuerzo (Ehrhardt 1981).

Los modelos globales parten del supuesto de que bajo una acción de explotación se rompe o modifica el equilibrio poblacional de la especie explotada. Así, dependiendo de la biomasa extraída la población tenderá a un nuevo estado de equilibrio de acuerdo a su tasa instantánea de crecimiento de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{1}{B} \frac{dB}{dt} = f(B) - F$$

donde “ B ” es la biomasa “ t ” el tiempo y “ $f(B)$ ” la tasa de producción natural y “ F ” la tasa instantánea de mortalidad por pesca, también definida como el producto del coeficiente de capturabilidad por el esfuerzo ($F = qf$).

Con base en este equilibrio se establece que: i) si la biomasa extraída es inferior a la tasa instantánea de crecimiento, la población presentara un crecimiento pero inferior al que tendría en ausencia de pesca; ii) si el monto de la biomasa extraída excede la capacidad

de crecimiento instantáneo entonces la biomasa presentará una disminución paulatina de acuerdo con el desarrollo de la actividad pesquera; y iii) finalmente si el monto de la biomasa removida es equivalente a la tasa instantánea de crecimiento la biomasa se mantendrá constante (Ehrhardt 1981), de ahí que los modelos globales también reciban el nombre de modelos de producción excedente.

Bajo estos supuestos los modelos de producción pretenden establecer las cantidades explotables para mantener a la biomasa de la población inalterada.

De este modo al emplear los modelos de producción excedente se hace imprescindible que la población en cuestión cumpla los siguientes supuestos: i) que no sufra los efectos de inmigración y emigración; ii) que racionará instantáneamente a cualquier cambio en el esquema de explotación; iii) que las condiciones ambientales así como el reclutamiento no sufrirán cambios a largo plazo; y iv) que exista una tendencia a preservar su estado de equilibrio en cuanto a biomasa (Ehrhardt 1981). Dicho estado de equilibrio se expresa matemáticamente por la siguiente ecuación.

$$Y = FB = Bf(B) = \frac{dB}{dT}$$

A partir de la ecuación de la tasa de mortalidad por pesca “ F ” en la que dicha tasa resulta del producto de el esfuerzo por el coeficiente de capturabilidad y de la definición de la CPUE, presentadas anteriormente, obtenemos una expresión básica para el desarrollo de modelos globales o de producción excedente.

$$Y = CPUE \frac{F}{q}$$

Modelo de Schaefer (1954)

Para desarrollar este modelo es necesario partir de las curvas de CPUE vs esfuerzo para obtener, mediante mínimos cuadrados, rectas de pendientes negativas de la forma:

$$Y / f = b - af$$

Donde la “ Y/f ” es la captura por unidad de esfuerzo, “ b ” la ordenada al origen que representa un nivel máximo de CPUE, “ a ” la pendiente y “ f ” el esfuerzo. De este modo para obtener la ecuación que define al modelo de Schaefer es necesario multiplicar los dos miembros de la ecuación de la recta anterior por un factor de esfuerzo “ f ” dejando como primer miembro a la captura “ Y ”, y obteniendo así una ecuación cuadrática conocida como modelo de Schaefer que obedece a la forma:

$$Y = bf - af^2$$

Dicha ecuación describe gráficamente una parábola en la que el valor máximo de la variable dependiente “ Y ”, representa la captura máxima y para obtener el valor numérico de esta última, se busca analíticamente el valor del esfuerzo óptimo “ f_{opt} ” que es donde la pendiente de la expresión es igual a cero, puesto que se trata de un máximo en respecto a la derivada de $Y = bf - af^2$ donde $dY/df = 0$.

$$\frac{dY}{df} = b - 2af = 0$$

$$f = \frac{b}{2a} = f_{opt}$$

La captura máxima se obtiene sustituyendo el esfuerzo óptimo en la ecuación de captura.

$$Y_{\max} = b \left(\frac{b}{2a} \right) - a \left(\frac{b}{2a} \right)^2 = \frac{b^2}{4a}$$

Modelo de Fox

Basándose en la ecuación diferencial de crecimiento poblacional de Gompertz:

$$\frac{dB}{dt} = aB(\ln B_{\infty} - \ln B)$$

Fox (1970) definió un modelo de producción basado la relación esfuerzo Vs $\ln(CPUE)$, de la aplicación del método de mínimos cuadrados a dicha función se obtiene la expresión:

$$\ln(CPUE) = \ln(CPUE_{\infty} - bf)$$

donde " $\ln CPUE_{\infty}$ " representa la intersección con el eje Y, " b " la pendiente de la recta y " f " el esfuerzo dichos valores se utilizaran en el modelo:

$$Y / f = e^b \times e^{CPUE_{\infty} \times f}$$

A partir del cual se obtiene la ecuación de captura.

$$Y = e^b \times f \times e^{CPUE_{\infty} \times f}$$

El esfuerzo óptimo se define como: $f_{opt} = \frac{1}{b}$

Y la captura máxima sostenible se obtiene sustituyendo el valor del esfuerzo óptimo en la ecuación de captura.

Análisis variográfico

Con los datos de CPUE y las coordenadas geográficas se realizó un análisis exploratorio geoestadístico para identificar la distancia de correlación espacial y

establecer la estratificación en la distribución espacial del esfuerzo y los rendimientos por unidad de superficie.

La búsqueda de recursos naturales es una actividad que ha sido auxiliada por el análisis estadístico de puntos geo-referenciados el cual se puede desarrollar a partir de la estadística no paramétrica tradicional, mediante el uso de estimadores como medias y varianzas. Sin embargo, para el caso de recursos naturales distribuidos en amplias regiones espaciales, recurrimos a la geoestadística, la utilización de dicha herramienta en la minería es probablemente la aplicación más conocida (Myers 1997).

Dentro de las alternativas que nos presenta la geoestadística se encuentra el análisis variográfico, que consiste en la descripción del comportamiento de valores “x” de acuerdo a su posición geográfica así como la distancia entre las diferentes muestras.

Para entender dicho análisis es necesario establecer sus diferencias con el análisis de varianza tradicional; Primero, en un análisis variográfico se comparan pares de valores asociados a puntos geográficos de la forma $(Z_x - Z_{x+h})$ donde h es la distancia geográfica entre los puntos, a diferencia, en un análisis de varianza la diferencia se establece respecto a un valor promedio en una relación de la forma $(X_i - \bar{m})^2$. Así, las diferencias de los valores asociados a la posición de las muestras definidas como $\gamma(h)$ son usualmente expresadas en la función variograma, que cuantifica la variación de las características espaciales de acuerdo a la distancia que guardan entre ellas.

Los variogramas pueden ser calculados para una variedad de direcciones para reconocer si existen diferencias en el comportamiento estructural de los variogramas al cambiar la orientación de posiciones muestrales.

Así en el caso de que la función variograma presente un comportamiento homogéneo al cambiar la orientación de los datos se dice que existe isotropía. Por el contrario una tendencia en el variograma hacia cualquier dirección ya sea E-O, N-S, o NE-SW y NW-SE se conoce como anisotropía.

Por ello un modelo de comportamiento isotrópico será respaldado por una igualdad de comportamientos de los variogramas ante cualquier orientación.

Frecuentemente el semivariograma empírico muestra un comportamiento ascendente en la proximidad del origen conocido como el efecto pepita, (esto se asocia a la minería pues los datos de las regiones con mineralización a manera de pepitas generan este comportamiento) dicho efecto es una característica frecuente, que muestra la factibilidad de que los pares de muestras vecinas posean valores similares, más que los pares de muestras separadas (Myers 1997).

Modelaje del semivariograma

Para utilizar esta metodología a los datos de la pesquería en cuestión únicamente se necesitan tres variables de entrada que son el volumen de captura por lance y las dos coordenadas geográficas del mismo. Para este ejercicio las distancias quedan expresadas en grados latitudinales. Se introducirá el concepto de semivariograma empírico que es usado para describir la correlación espacial entre muestras y se expresa matemáticamente como “ $\gamma(h)$ ”. Esta función es equivalente al promedio de la suma de las diferencias entre pares de puntos separados por un desplazamiento h al cuadrado;

Según:

$$\lambda(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x-h)]^2$$

Al expresar gráficamente dicha expresión (fig. 9) se observa; que la distancia a la cual la gráfica de los valores de $\gamma(h)$ se hace asintótica se denomina como el **rango** y expresa la región de no variabilidad de las características típicas de una región; mientras que la magnitud de $\gamma(h)$ en el mismo punto se le denomina como la palabra inglesa **sill**, cuya traducción al español equivale a la palabra travesaño que denota una intersección, y su valor es aproximado a la varianza poblacional σ^2 (Barnes 1991), tomado de Myers 1997. El comportamiento del semivariograma experimental se ajusta a un modelo semivariográfico, en este caso se usó el modelo esférico que es el modelo más empleado.

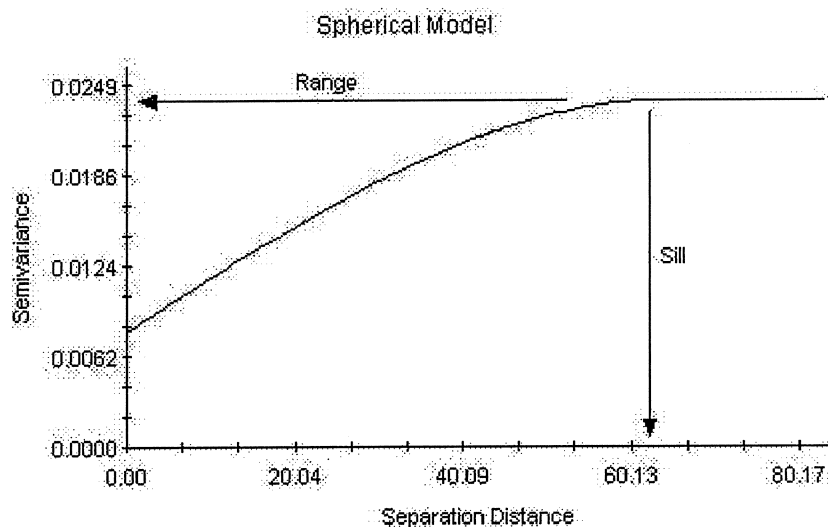


Figura 9. Gráfica de un variograma esférico tomada de www.geostatistics.com/GSWin/GSWINSphericalIsotropicModel.html

6. Resultados

Se presentan los valores de peso desembarcado; esfuerzo de pesca efectivo; y CPUE anuales correspondientes a: i) unidad de pesca tipo; ii) unidades estándar; iii) otras unidades pesqueras; y iv) total de la flota nacional (tabla II) y (figs. 10, 11 y 12).

Tabla II Peso desembarcado de anchoveta norteña; esfuerzo pesquero; y CPUE obtenidos por las diversas categorías de la flota mexicana durante el periodo 1978-1988.

Año	Peso desembarcado (tonelatas métricas)			
	Unidad tipo	Unidad estándar	Otras unidades	Total nacional
1978	16,727	83,605	58,595	142,200
1979	30,455	106,160	98,412	204,572
1980	39,055	142,784	103,011	245,795
1981	48,328	157,864	100,836	258,700
1982	24,287	115,758	57,165	172,923
1983	9,384	65,224	14,165	79,389
1984	12,224	69,771	31,347	101,118
1985	13,007	79,133	41,948	121,081
1986	16,882	67,593	28,824	96,417
1987	25,679	91,446	42,120	133,566
1988	17,478	55,439	30,415	85,854
Año	Esfuerzo pesquero (número de viajes)			
	Unidad tipo	Unidad estándar	Otras unidades	Total nacional
1978	128	640	1467	2107
1979	260	906	1561	2467
1980	238	870	1369	2239
1981	413	1349	2015	3364
1982	240	1144	1751	2895
1983	126	876	944	1820
1984	161	919	1310	2229
1985	122	742	1209	1951
1986	143	573	1023	1596
1987	185	659	1073	1732
1988	118	374	739	1113
Año	Captura por unidad de esfuerzo (t métricas / número de viajes)			
	Unidad tipo	Unidad estándar	Otras unidades	Total nacional
1978	130.678	130.633	39.942	67.489
1979	117.133	117.174	63.044	82.923
1980	164.097	164.120	75.245	109.779
1981	117.017	117.023	50.043	76.902
1982	101.196	101.187	32.647	59.732
1983	74.475	74.457	15.005	43.620
1984	75.925	75.921	23.929	45.365
1985	106.617	106.648	34.696	62.061
1986	118.052	117.963	28.176	60.412
1987	138.803	138.765	39.254	77.117
1988	148.115	148.233	41.157	77.137

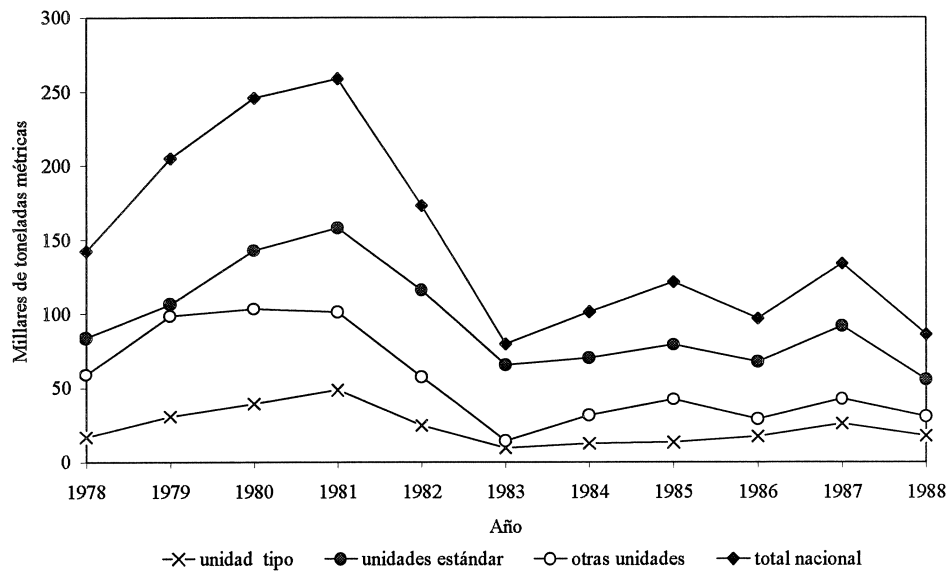


Figura 10. Peso desembarcado en toneladas métricas por las diversas categorías de la flota nacional: total nacional (◆); unidades estándar (●); unidad tipo (X); y otras unidades de pesca (○) durante el período 1978-1988.

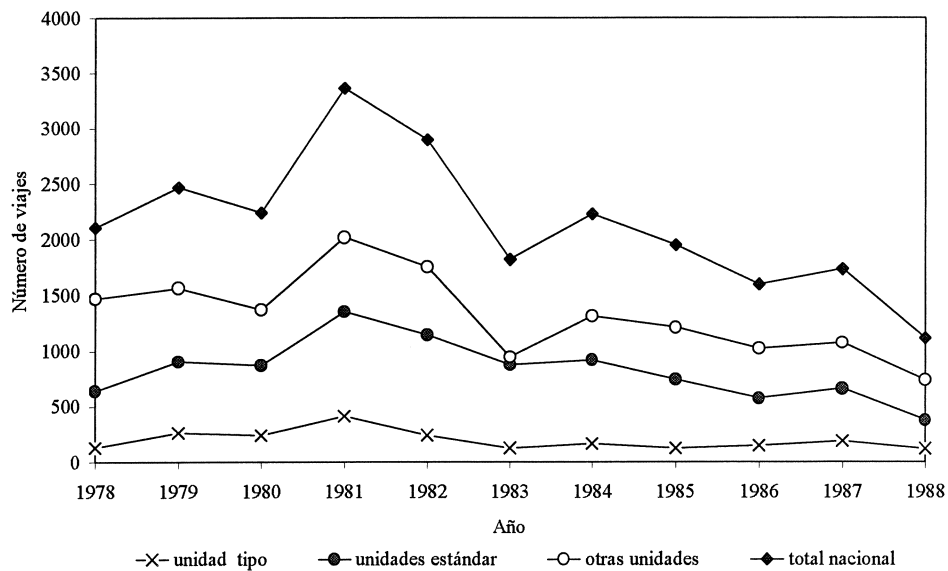


Figura 11. Esfuerzo en número de viajes realizados por las diferentes categorías de la flota nacional: total nacional (◆); unidades estándar (●); unidad tipo (X); y otras unidades de pesca (○) durante el período 1978-1988.

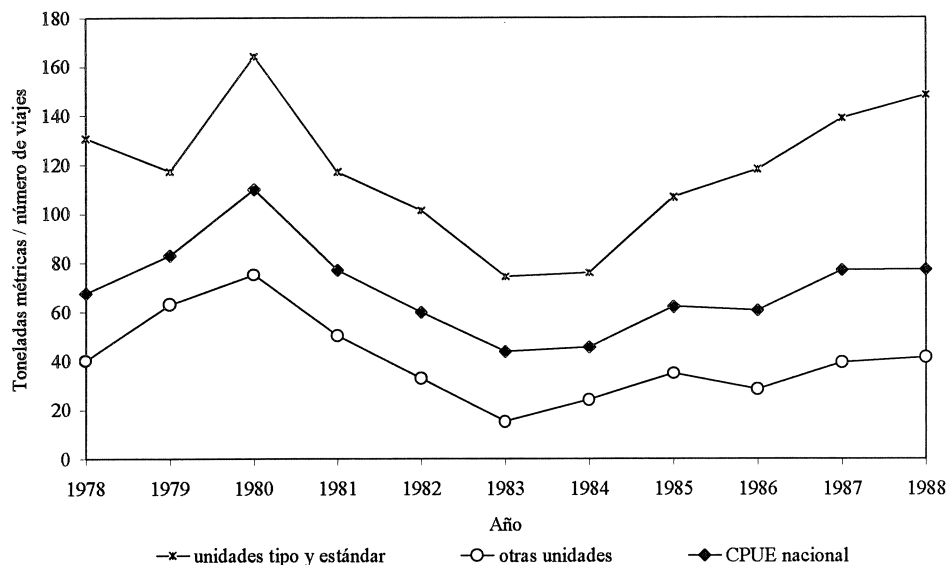


Figura 12. Captura por unidad de esfuerzo referida a las diferentes categorías de la flota nacional: total nacional (♦); unidades tipo y estándar (*); y otras unidades de pesca (o) durante el período 1978-1988.

En general el comportamiento de los desembarques de las diversas categorías que integraron la flota nacional, muestra una característica bimodal debida a dos máximos en 1981 y 1987 (fig. 10). Los resultados se agruparon por quinquenios, esto se justificó por dicha distribución bimodal, así como para ajustar la información al ciclo de vida de la anchoveta que en términos generales, abarca cinco años de edad.

Con la consecuente interpretación quinquenal de los resultados se obtiene una perspectiva más clara de la evolución de la pesquería. Así se examinó una agrupación de los datos que comprende los siguientes períodos: 1978-1982 y 1983-1987 / 88, para subrayar que el desarrollo de la pesquería presentó dos fases de características posiblemente disímiles en cuanto a su composición biótica.

Se reconoció que la captura por unidad de esfuerzo presentó un máximo en 1980 ante una disminución del esfuerzo de pesca; y un mínimo de dicha captura por unidad de esfuerzo en 1983, con una tendencia a incrementarse posteriormente hasta 1988 (fig. 12). Así el comportamiento de la CPUE configura con centro en el año de 1983, una distribución ligeramente simétrica de las abundancias relativas en el período.

Para enriquecer más este análisis se introdujeron los conceptos de intensidad de pesca efectiva y de rendimiento por unidades de área y tiempo. La intensidad de pesca efectiva (# de viajes / Km²/ año); el área de pesca calculada en Km² con base en la unidad de área de pesca (subdivisión) ponderada por un factor equivalente al número de viajes; y el rendimiento (t/ Km² /año) en producción por unidades de superficie y tiempo (tabla III) y (fig. 13) respaldan por unidad de área el comportamiento y distribución de la captura por unidad de esfuerzo anual en la totalidad del área estadística de pesca (fig.12).

Tabla III. Intensidad de pesca efectiva (número de viajes/ Km²); área (Km²) ponderada por el esfuerzo (número de viajes) realizados por el barco tipo; y rendimiento (t / Km²), anuales durante el período 1978–1989.

Año	Intensidad de pesca	Km ²	Rendimiento
1978	1.75	9354.658	1.79
1979	3.56	19017.421	1.60
1980	3.26	17401.950	2.26
1981	5.67	30076.563	1.61
1982	3.30	17475.450	1.39
1983	1.73	9176.415	1.02
1984	2.21	11754.880	1.04
1985	1.67	8905.820	1.46
1986	1.96	10448.700	1.62
1987	2.53	13509.300	1.90
1988	1.61	8628.010	2.03
1989	2.03	10798.200	1.89

Cabe recordar que en este caso la intensidad es el cociente entre el esfuerzo de pesca efectivo y el área de la subdivisión; el área de pesca ponderada , el producto de la

superficie de la subdivisión por el numero de viajes realizados por el barco tipo; y el rendimiento resultado de dividir la captura entre el área ponderada (tabla IV).

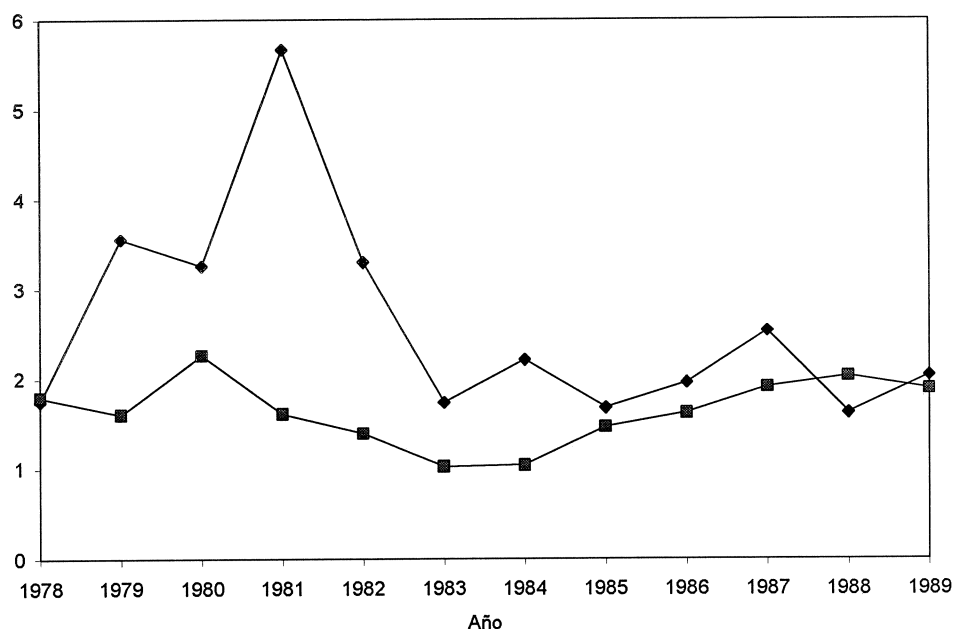


Figura 13. Intensidad de pesca efectiva (número de viajes/ Km² ♦) y rendimiento (t / Km² ■) anuales del barco tipo durante el período 1978 – 1989.

Así también la intensidad de pesca y el rendimiento por unidades de superficie y tiempo se calcularon con los valores inversos de las superficies de las subdivisiones como factores de conversión (tablas I y IV) que transforman, el esfuerzo en intensidad de pesca y la CPUE en rendimiento por unidades de superficie y tiempo (Siri et al., 2000).

Tabla IV. Mediana, media y desviación estándar de los factores de conversión del esfuerzo y de la CPUE en intensidad y rendimiento respectivamente por bandas de 1° de latitud.

Latitud	1/Área (Km²)		
	mediana	media	desviación estándar
29° 00' - 29° 55'	0.013387	0.013393	0.000040
30° 00' - 30° 55'	0.013522	0.013528	0.000042
31° 00' - 31° 55'	0.013664	0.013671	0.000044
32° 00' - 32° 55'	0.013814	0.013820	0.000046

La producción por unidad de área obtenida por el cociente entre los desembarques anuales y la superficie de la unidad de área de pesca ponderada por los esfuerzos respectivos, se comparó con el rendimiento obtenido por el producto entre la CPUE y un factor único de conversión calculado y equivalente a 0.0136 para la totalidad del área estadística de pesca (fig. 14). Así, el rendimiento calculado por el factor de conversión generalizado para la totalidad del área estadística de pesca fue de 1.89 % menor respecto al valor obtenido de dividir la captura anual por el área ponderada.

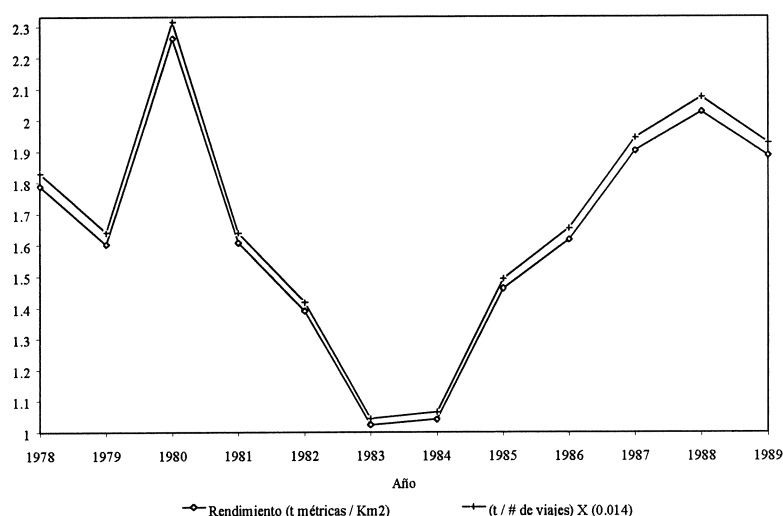


Figura 14 Rendimiento (t/Km²) y su aproximación empírica obtenida como el producto de la CPUE por un factor único de conversión igual a 0.0136.

Así mismo el promedio de las desviaciones estándar calculadas entre los valores reales y los generados por la aplicación del factor de conversión es de 0.02566.

Con base en intervalos de clase de 0.25 t/Km²/año se generaron agrupamientos sucesivos de rendimientos 1 y 2 t /Km²/año expresados porcentualmente en términos anuales (tablas V y VI) y (figs. 15 y 16).

Tabla V. Relación porcentual de los rendimientos anuales agrupados en intervalos de clase de 1 t / Km².

Año	Porcentaje						
	0 - 0.99 tm / Km ²	1 - 1.99 tm / Km ²	2 - 2.99 tm / Km ²	3 - 3.99 tm / Km ²	4 - 4.99 tm / Km ²	5 - 5.99 tm / Km ²	> 6 tm tm / Km ²
1978	44.190	25.580	9.300	13.950	6.980	0.000	0.000
1979	25.000	35.530	32.890	3.950	1.320	1.320	0.000
1980	22.970	18.920	29.730	21.620	4.050	1.350	0.000
1981	22.810	61.400	10.530	3.510	0.000	1.750	0.000
1982	27.270	54.540	9.090	9.090	0.000	0.000	0.000
1983	62.960	33.330	0.000	0.000	0.000	3.700	0.000
1984	55.550	22.220	7.410	12.960	1.850	0.000	0.000
1985	27.500	52.500	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000
1986	35.140	37.840	13.510	13.510	0.000	0.000	0.000
1987	17.240	44.830	24.140	6.900	3.450	0.000	3.450

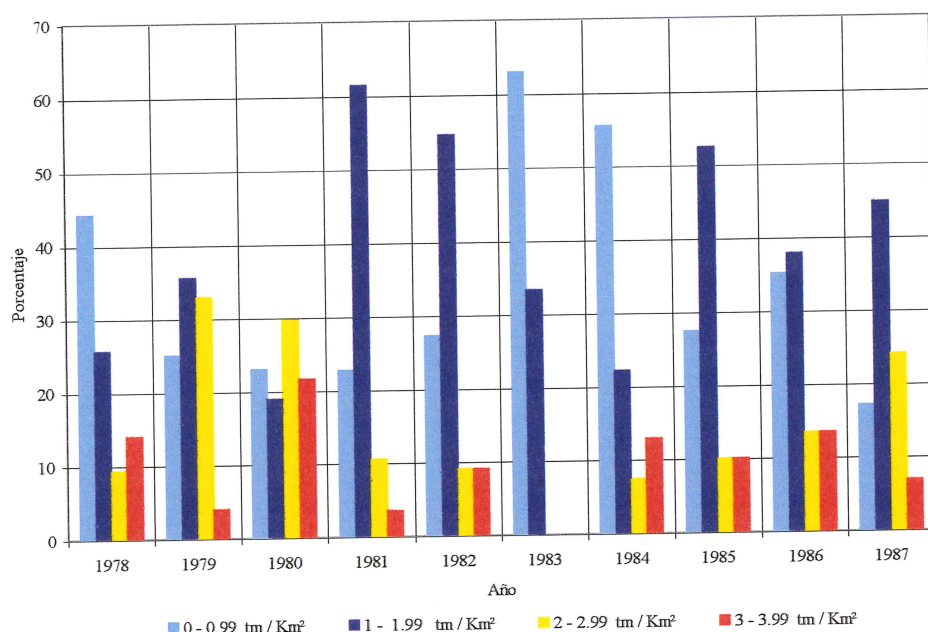


Figura 15. Porcentajes anuales del rendimiento agrupado en intervalos de clase de 1 t / Km².

En la gráfica se puede observar claramente como en el año de 1981 el rendimiento de 2 t métricas/ Km² ocupaba 61 %, en contraste con 1983, año en que sólo aparecen valores para los intervalos de clase de 1 y 2 t métricas / Km², siendo el porcentaje de este último 33%.

Tabla VI. Relación porcentual de los rendimientos anuales agrupados en Intervalos de clase de 2 t / Km².

Año	Porcentaje			
	0 - 1.99	2 - 3.99	4 - 5.99	> 6
	tm / Km ²	tm / Km ²	tm / Km ²	tm / Km ²
1978	69.770	23.250	0.000	0.000
1979	60.530	36.840	1.320	0.000
1980	41.890	51.350	1.350	1.320
1981	84.210	14.040	1.750	0.000
1982	81.810	18.180	0.000	0.000
1983	96.290	0.000	3.700	0.000
1984	77.770	20.370	1.850	0.000
1985	80.000	20.000	0.000	0.000
1986	72.980	27.020	0.000	0.000
1987	62.070	31.040	3.450	3.450

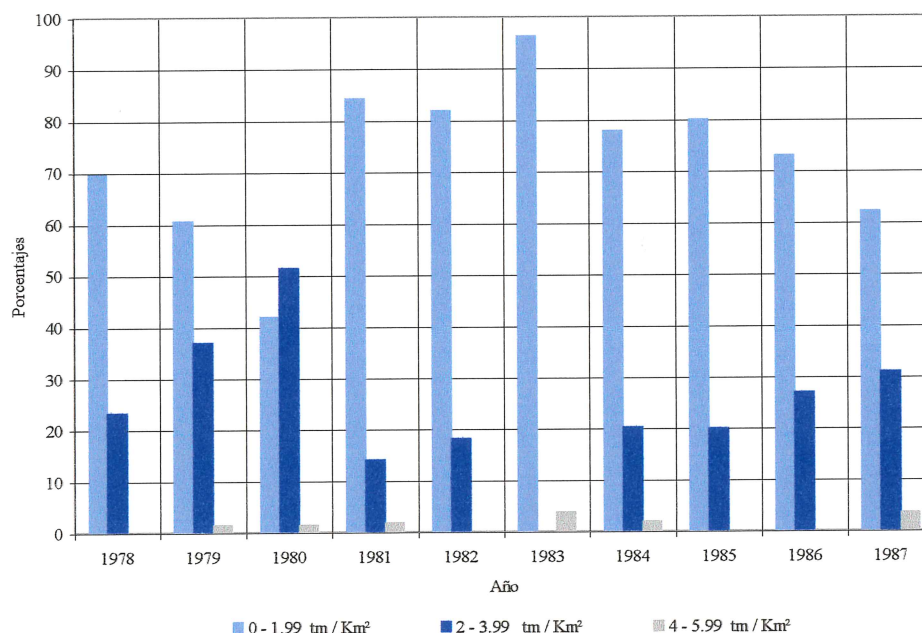


Figura 16. Porcentajes anuales del rendimiento agrupado en intervalos de clase de 2 t / Km².

Al ampliar los intervalos de clase a dos toneladas por Km² se puede observar un comportamiento bimodal para el rendimiento de 2 a 4 t m / Km².

Al analizar la composición quinquenal del porcentaje de los intervalos de clase de 2 t m / Km² se generaron las gráficas de pastel correspondientes a las fig 17 y 18.

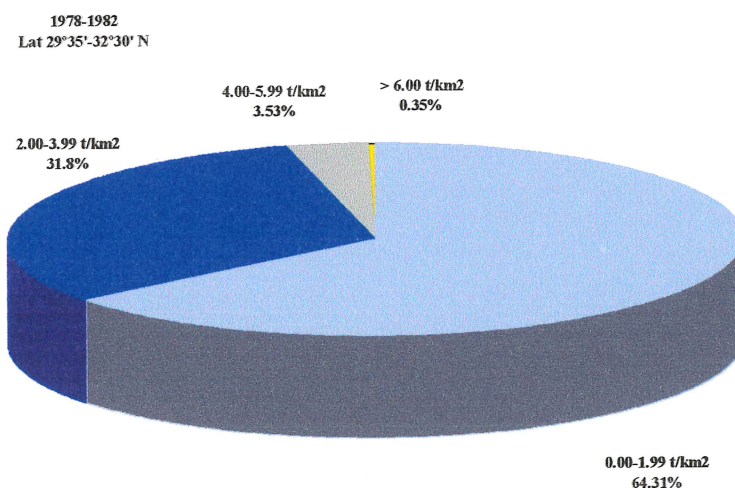


Figura 17. Importancia relativa quinquenal de los rendimientos por unidad de área agrupados en intervalos de clase de dos toneladas métricas por km².

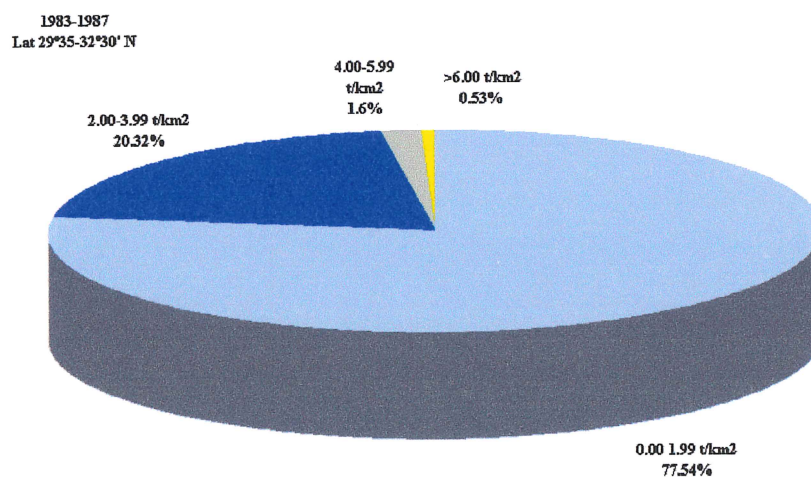


Figura 18. Importancia relativa quinquenal de los rendimientos por unidad de área agrupados en intervalos de clase de dos toneladas métricas por km².

Encontrándose que: i) la categoría de menos de dos toneladas, que durante el primer quinquenio representó el 64 % durante el segundo período ocupó un 77 %; ii) la categoría de 2 a 4 t / Km² que en el período 1978-1982 representó un 31.8 % redujo su importancia relativa durante el segundo quinquenio al situarse en 20.32%

Al analizar globalmente los valores el área ponderada, el esfuerzo, y la captura encontramos como estos disminuyeron en el segundo quinquenio (tabla VII).

Tabla VII. Valores de desembarque, esfuerzo y área cubierta por la unidad tipo, durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987.

	1978-1982	1983-1987	1978-1987
Desembarques	159142	77175	236317
número de viajes	1279	737	2016
CPUE	124.427	104.715	117.221
Km²	93326	53795	147121
Rendimiento	1.705	1.435	1.606

Así mismo, utilizando los datos de captura por viaje se realizó una prueba de hipótesis para verificar la diferencia estadística entre el promedio de la captura por viaje de los dos quinquenios (qi y qii):

	qi	qii
n	1279	737
media	124.43	104.72
std dev	99.423	94.311
var	9884.8	8894.6

H₀: media qi = media qii (Hipótesis nula)

H_i: media qi diferente a media qii (Hipótesis alternativa)

$$Z_o = \frac{\overline{qi} - \overline{qii}}{\sqrt{\frac{\text{var } qi}{ni} + \frac{\text{var } qii}{nii}}} = 4.43 \quad Zc = Z_{0.05(1)} = 1.645 \therefore Zo > Zc$$

Como el valor calculado de Z es mayor que el indicado en las tablas de distribución normal al 5 % de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se deduce que existen evidencias suficientes para decir que la captura promedio difiere en los dos quinquenios.

Al analizar los valores relativos a las zonas correspondientes a: i) mar territorial; ii) mar territorial y 30 millas náuticas; y iii) más allá 30 millas náuticas durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987, se encontró lo siguiente:

Tabla VIII. Valores de desembarque, esfuerzo y área cubierta en el mar territorial por la unidad tipo durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987.

Mar territorial	1978-1982	1983-1987	1978-1987
Desembarques	131755	73340	205096
número de viajes	1046	699	1745
CPUE	125.961	104.922	117.533
Km ²	76265	51013	127278
Rendimiento	1.728	1.438	1.611

Tabla IX. Valores de desembarque, esfuerzo y área cubierta en el mar territorial y 30 millas náuticas por la unidad tipo durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987.

menos de 30 millas	1978-1982	1983-1987	1978-1987
Desembarques	14702	2334	17035
número de viajes	134	27	161
CPUE	109.715	86.430	105.810
Km ²	9798	1975	11773
Rendimiento	1.500	1.182	1.447

Tabla X. Valores de desembarque, esfuerzo y área cubierta fuera de las primeras 30 Millas náuticas por la unidad tipo durante los quinquenios 1978-1982, 1983-1987; y el decenio 1978-1987.

más de 30 millas	1978-1982	1983-1987	1978-1987
Desembarques	12685	1501	14186
número de viajes	99	11	110
CPUE	128.133	136.484	128.968
Km ²	7263	807	8070
Rendimiento	1.747	1.860	1.758

Con base en el número de viajes, de conformidad con las tablas VIII, IX, X y la figura 19, se puede observar que la pesca se concentró sobre las regiones más próximas a la costa y en consecuencia a la planta industrial.

Paradójicamente se encontró que aunque la principal actividad pesquera se desarrolló en el mar territorial los mayores rendimientos se obtuvieron a más de 30 millas de la costa (fig. 19).

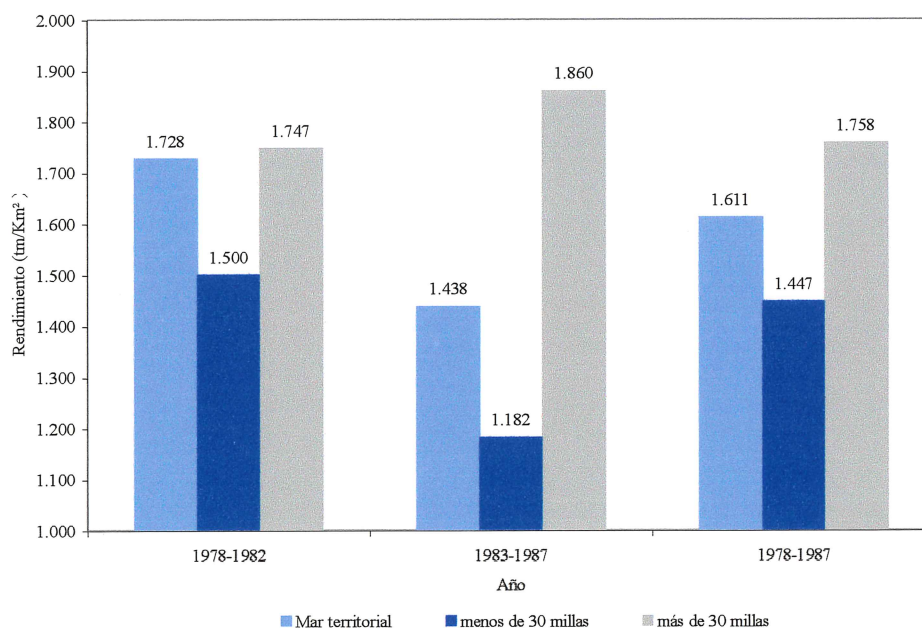


Figura 19. Rendimientos (t m / Km²) del mar territorial; de la zona entre doce y treinta millas marinas, y de la zona entre treinta millas y sesenta millas náuticas, para los periodos 1978 – 1982; 1983 – 1987; y 1978 -1987.

Para establecer estadísticamente una diferencia entre los rendimientos asociados a las tres zonas recurrimos a un análisis de varianza en el que la hipótesis nula sostiene la igualdad entre los rendimientos.

H₀: Rendimiento en Mar territorial = Rendimiento a menos de 30 millas = Rendimiento a más de 30 millas

H₁: Al menos una es diferente.

Tabla XI. Media, desviación estándar y varianza del rendimiento asociados a los tres estratos del área de estudio.

	Mar territorial	Menos de 30 millas	Más de 30 millas
	Rendimiento	Rendimiento	Rendimiento
Media	1.642740762	1.352421096	1.930246658
Desv. Std	0.387194204	0.442318827	0.682299505
Varianza	0.149919352	0.195645945	0.465532614
número de años	12	10	8
Σ rendimientos	19.71288914	13.52421096	15.44197326
Σ rendimientos ²	34.03227939	20.05124171	33.06554558

X^2 obs=	2.098876275
X^2 0.05,2=	5.991

Mediante el cálculo de χ^2 y su comparación con el valor crítico se estableció el requisito de homogeneidad de varianzas para desarrollar la prueba.

Tabla XII. Tabla de ANOVA del rendimiento entre estratos del área de estudio.

Fie. Var	SC	g.l	CM	F	F 0.05(1) 2 27	Conclusion
entre zonas	1.492005895	2	0.746002947	3.0204	3.35	Ho se acepta
Error	6.668654668	27	0.24698721			
Total	8.160660563	29				

De este manera se concluyó que existen evidencias suficientes al 5% de significancia para decir que el rendimiento promedio asociado a las tres estratos no difiere significativamente.

Finalmente para incluir en este análisis zonal a las bandas de un grado de latitud en las que se dividió el área de estudio, se desarrolló un último análisis de varianza sobre los datos de captura por viaje para las latitudes 29°00'-29°55'N; 30°00'-30°55'N; 31°00'-31°55'N; y 32°00'-32°30' N, en el que se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: CPUE de 29°00'-29°55'N = CPUE de 30°00'-30°55'N = CPUE de 31°00'-31°55'N = CPUE de 32°00'-32°30' N.

H1: la CPUE no es la misma para las cuatro bandas.

Tabla XIII. Media, desviación estándar y varianza de la CPUE asociadas a las cuatro bandas latitudinales del área de estudio.

	29°00-29°55	30°00-30°55	31°00-31°55	32°00-32°30
Año	CPUE	CPUE	CPUE	CPUE
Media	189.2396667	171.7903003	126.7282395	88.8173543
Desv. Std	31.93247083	50.10871622	40.77142451	15.90618318
Varianza	1019.682694	2510.883441	1662.309056	253.0066634
# de años	2	11	12	12
Σ CPUE	378.4793333	1889.693303	1520.738874	1065.808252
Σ CPUE ²	72642.98557	349739.8143	211005.96	97445.34239

$X^2_{obs} =$	10.19755785
$X^2_{0.05,3} =$	7.815

De la comparación del valor de χ^2 calculado con el valor crítico se estableció que en este caso no existía homogeneidad de varianzas por ello se recurrió al ANOVA no paramétrico de Kruskal Wallis, en el cual se emplea la numeración por rangos de los valores.

Tabla XIV. Valores promedio de la CPUE y los rangos para el ANOVA no paramétrico.

	29°00-29°55		30°00-30°55		31°00-31°55		32°00-32°30	
Año	CPUE	rango	CPUE	rango	CPUE	rango	CPUE	rango
1978	166.66	28	132.94143	23	177.13094	30	81.437577	8
1979	211.81933	35	166.00109	26	102.5134	12	108.05193	16
1980			184.7649	31	192.03145	32	107.54191	15
1981			107.0427	14	127.09986	21	109.95674	17
1982			94.333333	10	136.37796	24	73.835045	4
1983					74.475143	6	102.86119	13
1984			147.46808	25	52.7484	1	73.889597	5
1985			166.50813	27	115.55897	19	79.009683	7
1986			193.8027	33	111.15245	18	72.070943	3
1987			210.66091	34	131.04807	22	99.711818	11
1988			257.66403	37	126.84837	20	89.147439	9
1989			228.506	36	173.75385	29	68.294375	2
n_i	2		11		12		12	
R_i	63		296		234		110	
$N =$	37							

$EV_{ar^2/n_i} =$	15520.924
$H =$	18.46877
$X^2_{0.05,2} =$	7.815

$$H > \chi^2_{0.05,2} \rightarrow H_0: \text{se rechaza}$$

En este caso como el valor calculado de H es mayor que el valor de $\chi^2_{0.05,2}$ se concluye que la CPUE promedio asociada a las cuatro bandas latitudinales difiere al 5% de significancia.

Para tener una idea del comportamiento espacial de la pesquería se presentan las interpolaciones de valores de la captura de 1978; 1983 y 1989, realizados con el programa s-plus, que ciertamente muestran un efecto de concentración de la pesca en zonas costeras y progresivamente más al norte (fig. 20).

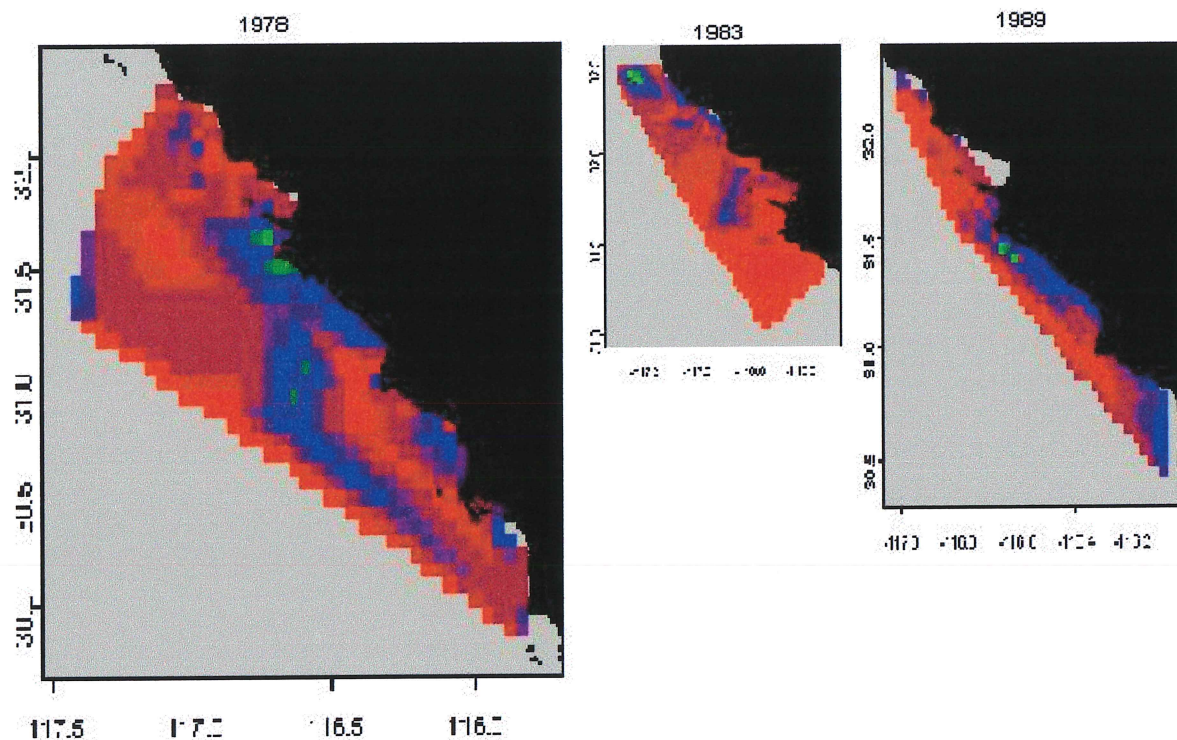


Figura 20. Distribución geográfica de la captura en los años 1978, 1983 y 1989, la magnitud de la captura se expresa en una escala que va de los menores valores (en azul); a los maximos (en rojo).

Modelos de producción excedente

Los modelos de producción de Schaefer y Fox se aplicaron utilizando el programa "Mat-lab 5.2" partiendo de los datos de captura y esfuerzo anuales procedentes de las diferentes categorías de la flota nacional, desarrollándose para el período de 1978 - 1988, y los quinquenios 1978 - 1982 y 1983 - 1987.

El comportamiento de la CPUE así como el esfuerzo variaron significativamente de acuerdo a las diferentes categorías de la flota y a los diferentes períodos de referencia. Del conjunto de todas las categorías, la relativa a las unidades estándar fue la única sobre la que se pudo desarrollar los modelos de producción en todos los períodos, por lo ello dicha categoría se usó con fines comparativos.

El comportamiento que mostraron los modelos de producción para los diferentes períodos se muestra a continuación.

Período 1978 -1982

A partir de las curvas de CPUE vs esfuerzo se obtuvieron por mínimos cuadrados rectas de pendientes negativas para las cuatro categorías de la flota nacional (fig 21 A). Asimismo, en el caso de la unidad estándar la recta que la describe obedece a la forma $Y / f = 167.4492 - 0.0422 f$ donde la "Y/f" es la captura por unidad de esfuerzo y "f" el esfuerzo. Multiplicando dicha ecuación de la recta por un factor de esfuerzo "f" se llegó a una ecuación cuadrática que describe la parábola de captura conocida como modelo de Schaefer la cual se muestra en la figura 21 junto con las curvas correspondientes al resto de las categorías de la flota.

Así, la ecuación correspondiente a las unidades estándar es de la forma $Y = 167.4492 f - 0.0422 f^2$, a partir de la cual se obtuvo, mediante métodos analíticos, un valor de captura máxima sostenible de 166 110 toneladas y un esfuerzo óptimo de 1 984 viajes.

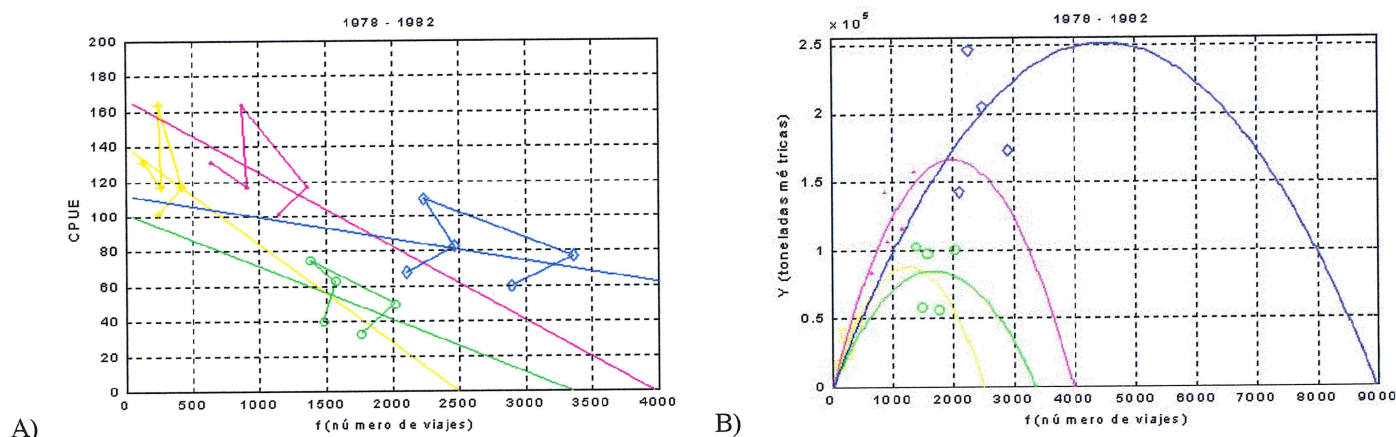


Figura 21. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B) Parábolas de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para: la unidad tipo (amarillo); unidades estándar (rosa); otras unidades (verde); y total nacional (azul).

Los valores numéricos generados por el modelo de Schaefer correspondientes a cada una de las categorías de la flota se muestran en la tabla XV.

Aplicando la metodología descrita por Fox, basada en la ecuación de crecimiento poblacional de Gompertz, se generó una relación logarítmica entre la CPUE y el esfuerzo, a partir de la cual se obtuvo la ecuación de la forma $Y/f = e^{5.1517} \times e^{-0.0003 \times f}$ para la flota estándar, en la que “ Y/f ” es la captura por unidad de esfuerzo y “ f ” el esfuerzo (fig. 22 A), a partir de esta función se obtuvo una ecuación de captura de la forma $Y = e^{5.1517} \times f \times e^{-0.0003 \times f}$ (fig. 22 B) de donde se calculó para las unidades estándar durante el período 1978-1982 una captura máxima de 211 810 toneladas y un esfuerzo óptimo de 3333 viajes (tabla XV).

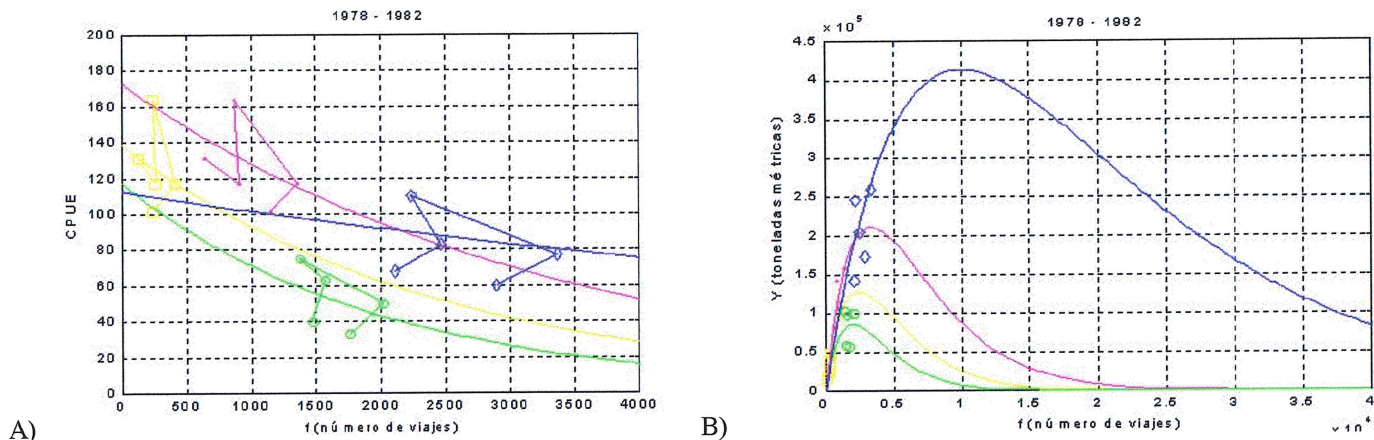


Figura 22. A) Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B) Curva que describe el modelo de Fox para: la unidad tipo (amarillo); unidades estándar (rosa); otras unidades (verde); y total nacional (azul).

Las capturas máximas sostenibles, y los niveles de esfuerzo óptimo del resto de las categorías según el método Fox se muestran junto con los aportados por el método de Schaefer en la tabla XV.

Tabla XV. Valores asociados a los modelos de producción excedente para las diferentes categorías de la flota nacional relativos al período 1978-1982.

Modelo de Schaefer		pendiente	ordenada al origen	captura máxima	esfuerzo óptimo
Unidades tipo	(1978-1982)	-0.0561	140.3628	87797	1251
Unidades estándar	(1978-1982)	-0.0422	167.4492	166110	1984
Otras Unidades	(1978-1982)	-0.0304	101.7385	85121	1673
Flota nacional	(1978-1982)	-0.0125	112.0745	251210	4483
Modelo de Fox		pendiente	ordenada al origen	captura máxima	esfuerzo óptimo
Unidades tipo	(1978-1982)	-0.0004	4.9327	127610	2500
Unidades estándar	(1978-1982)	-0.0003	5.1517	211810	3333
Otras Unidades	(1978-1982)	-0.0005	4.7647	86302	2000
Flota nacional	(1978-1982)	-0.0001	4.7203	412770	10000

En lo que refiere al método de Shaefer; las capturas máximas sostenibles obtenidas para la unidad tipo, otras unidades y la flota nacional resultaron inferiores a los máximos

valores de captura registrados durante ese período por dichas categorías, mientras que el esfuerzo óptimo se situó con excepción de la categoría otras unidades de pesca, por encima de los valores reales registrados (tabla II).

Los resultados aportados por el método de Fox se muestran congruentes sólo para los valores de captura y esfuerzo óptimos relativos a la categoría de otras unidades de pesca, mientras que los resultados asociados al resto de las categorías de la flota sobrestiman los resultados reales que muestra la tabla II.

Período 1983 -1987

En 1983 se registraron los menores niveles de captura (con excepción de la unidad estándar cuyo mínimo se presentó en 1988), a partir de este año se inicia un período caracterizado por el incremento de las capturas y una disminución del esfuerzo. Es importante subrayar que durante este período la pesca se concentró en las zonas costeras (fig. 20); y se efectuó sobre una población compuesta mayoritariamente por individuos menores a un año de edad (fig. 30).

Así en este período de hiper-estabilidad pesquera, únicamente las curvas de captura por unidad de esfuerzo vs esfuerzo correspondientes a las unidades estándar y a la flota total nacional presentaron valores negativos para las pendientes de sus respectivas rectas. Prosiguiendo con el análisis comparativo de la flota estándar, en este período la recta que se ajusta al comportamiento de la captura por unidad de esfuerzo vs el esfuerzo de dicha flota corresponde a la forma: $Y = 229.2256 - 0.1678 f$ y la

parábola del modelo de Schaefer se ajustó a la forma:

$$Y = -0.1678 f^2 + 229.2256 f \quad (\text{Tabla XVI}) \text{ y (fig. 23).}$$

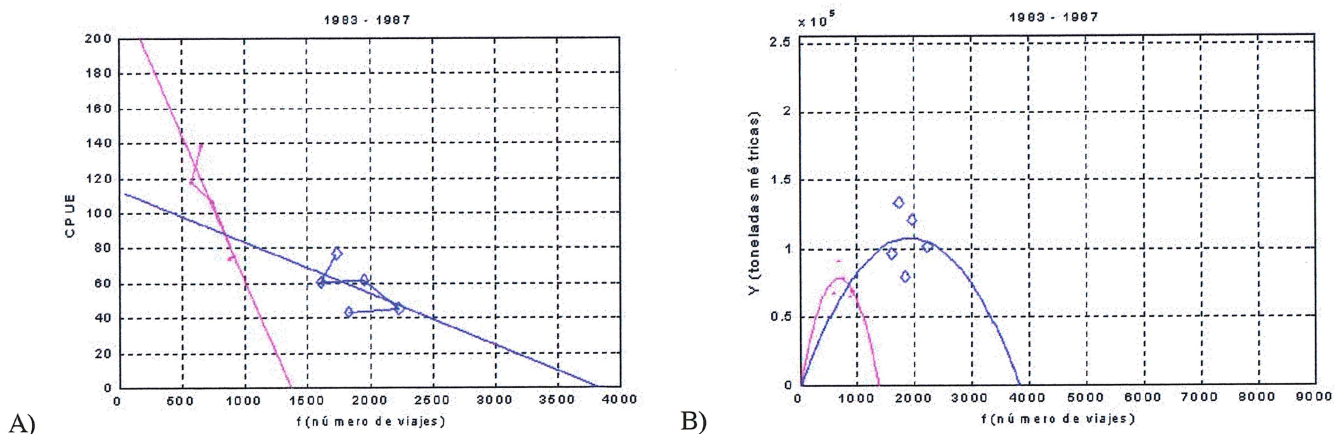


Figura 23. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B) Parábolas de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para: las unidades estándar (rosa); y total nacional (azul).

Así mismo el modelo de Fox describe para la categoría de la flota estándar las siguientes ecuaciones $Y/f = e^{5.5768} x e^{-0.0013 f}$; $Y = e^{5.5768} x f x e^{-0.0013 f}$ que se muestran gráficamente en la figura 24 y a partir de las cuales se obtuvieron los valores de captura máxima sostenible y esfuerzo óptimo.

Sin embargo el modelo de Fox, presenta resultados no únicamente para las unidades estándar y la flota total nacional sino también para la categoría de otras unidades de pesca.

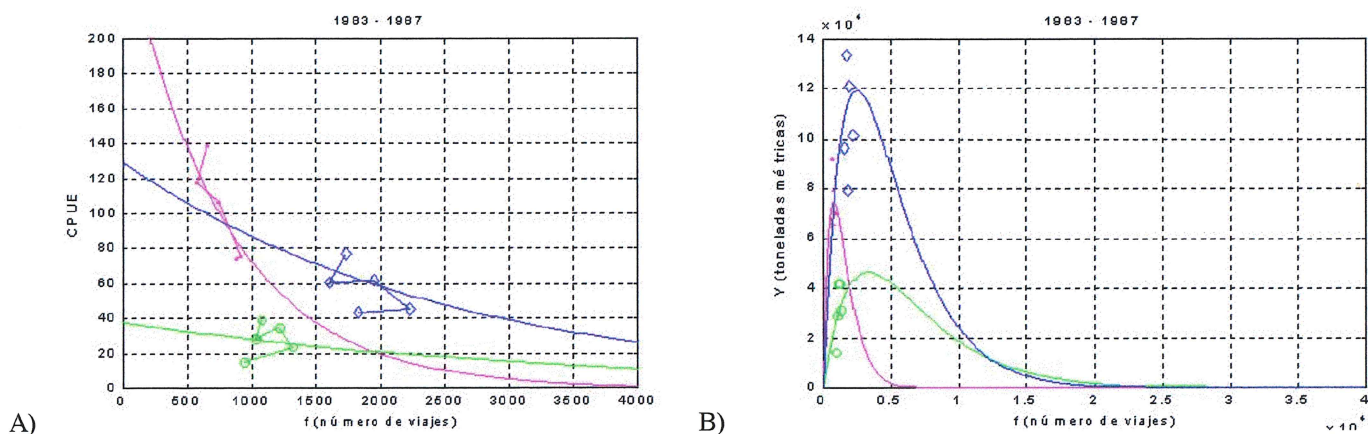


Figura 24. A) Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B) Curvas que describen el modelo de Fox para las unidades estándar (rosa); otras unidades (verde); y total nacional (azul).

Para el segundo quinquenio los valores de captura máxima sostenible y de esfuerzo óptimo obtenidos por el método de Schaefer para la flota nacional y la unidad estándar son inferiores a los máximos de captura y esfuerzo reales representando así una alternativa viable en el manejo de la pesquería (tabla XVI).

Tabla XVI. Valores asociados a los modelos de producción excedente para las diferentes categorías de la flota nacional relativos al período 1983-1987.

Modelo de Schaefer		ordenada	captura	esfuerzo
	pendiente	al origen	máxima	optimo
Unidades estándar (1983-1987)	-0.1678	229.2256	78284	683
Flota nacional (1983-1987)	-0.0293	112.3509	107700	1917
Modelo de Fox		ordenada	captura	esfuerzo
	pendiente	al origen	máxima	optimo
Unidades estándar (1983-1987)	-0.0013	5.5768	74771	769
Otras Unidades (1983-1987)	-0.0003	3.6334	46403	3333
Flota nacional (1983-1987)	-0.0004	4.8653	119290	2500

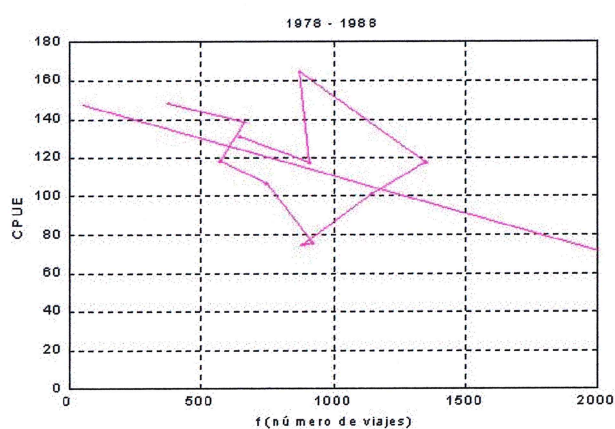
Los resultados aportados por el modelo de Fox, al ser comparados con los datos reales mostrados en la tabla II presentan lo siguiente: i) para la unidad estándar una captura máxima de 74 771 t y un esfuerzo óptimo de 769 viajes; ii) para la flota nacional se presenta una captura máxima de 119 290 t la cual constituye una buena alternativa toda

vez que es inferior al nivel máximo alcanzado por dicha flota en 1987, en tanto el esfuerzo óptimo calculado para dicha flota es ligeramente mayor al registrado en 1984 (tablas II y XVI); y iii) para la categoría otras unidades de pesca los valores de captura máxima y esfuerzo óptimo son muy superiores a los máximos que presenta la tabla II.

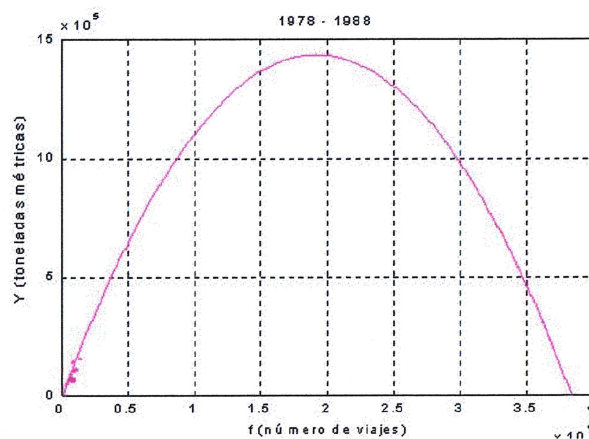
Período 1978 -1988

Finalmente para el período 1978-1988 únicamente se obtuvieron resultados de los modelos de producción excedente en la categoría de unidades estándar.

Una función de captura vs esfuerzo ajustada por mínimos cuadrados proporcionó una recta de pendiente negativa de la forma $Y = 149.5358 - 0.039 f$; siendo la ecuación de la parábola de captura, $Y = 149.5358 f - 0.039 f^2$ (fig. 25).



A)



B)

Figura 25. A) CPUE vs f y rectas de regresiones; B) Parábola de la ecuación de captura generada por el modelo de Schaefer para las unidades estándar (rosa).

A partir del método de Fox se obtuvieron las ecuaciones $Y = e^{5.0142} \times e^{-0.0003 \times f}$ y $Y/f = e^{5.0142} \times e^{-0.0003 f}$ de donde se obtuvieron la captura máxima y el esfuerzo óptimo para la flota estándar durante el período 1978-1989 (tabla XVII) y (fig.26).

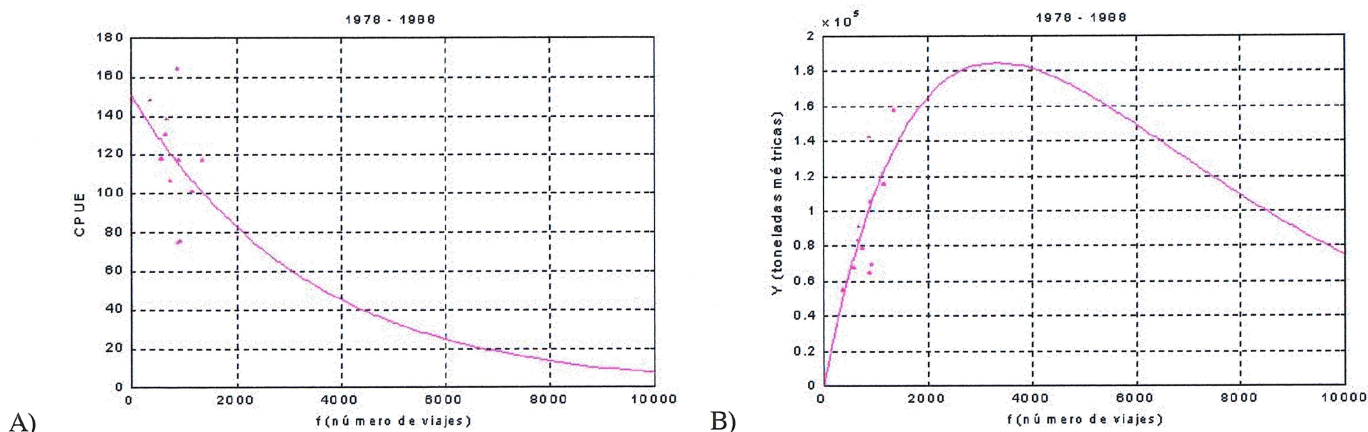


Figura 26. A) Relación logarítmica de CPUE vs f ; y B) Curva que describe el modelo de Fox para las unidades estándar (rosa).

De acuerdo con los valores obtenidos analíticamente de la parábola de Schaefer se observó una sobrestimación de la captura máxima sostenible de las unidades estándar, dado que dicha captura máxima (1,433 400 t métricas) es similar a la captura total nacional de los doce años que duró la pesquería (1,641 615 t métricas).

Comparando los resultados del modelo de Schaefer, con los resultados del modelo de Fox, se encontró que estos últimos son más coherentes al situar a la captura máxima sostenible en 184 600 toneladas (tabla XVII).

Tabla XVII. Valores asociados a los modelos de producción excedente de las unidades estándar durante el período 1978-1989.

Modelo de Schaefer		ordenada al origen	captura máxima	esfuerzo óptimo
	pendiente			
Unidades estándar (1978-1989)	-0.0039	149.5359	1433400	19171
Modelo de Fox		ordenada al origen	captura máxima	esfuerzo óptimo
	pendiente			
Unidades estándar (1978-1989)	-0.0003	5.0142	184600	3333

De igual manera se observó una sobrestimación del esfuerzo óptimo tanto por el método de Schaefer como por el de Fox.

Análisis variográfico

Cuando se otorga un valor de rendimiento a una unidad geográfica, se presenta el dilema de si ese rendimiento es efectivamente asociable a toda esa área. Para resolver este problema se puede recurrir al uso de variogramas para determinar las distancias de máxima correlación para cada año.

Prosiguiendo con lo planteado en la metodología referente al empleo de herramientas geoestadísticas, los datos de captura y sus coordenadas geográficas se manejarón con el programa S-plus.

Los datos para el análisis variográfico se conformaron con la captura por viaje; la latitud; y la longitud de referencia ordenados matrices para cada año y para todo el período.

De este modo una vez corregidas las tendencias de orientación de los datos, se obtuvieron modelos variográficos anuales para la pesquería de anchoveta norteña en Baja California durante el período de 1978 a 1989, por parte de una planta industrial (figura 27).

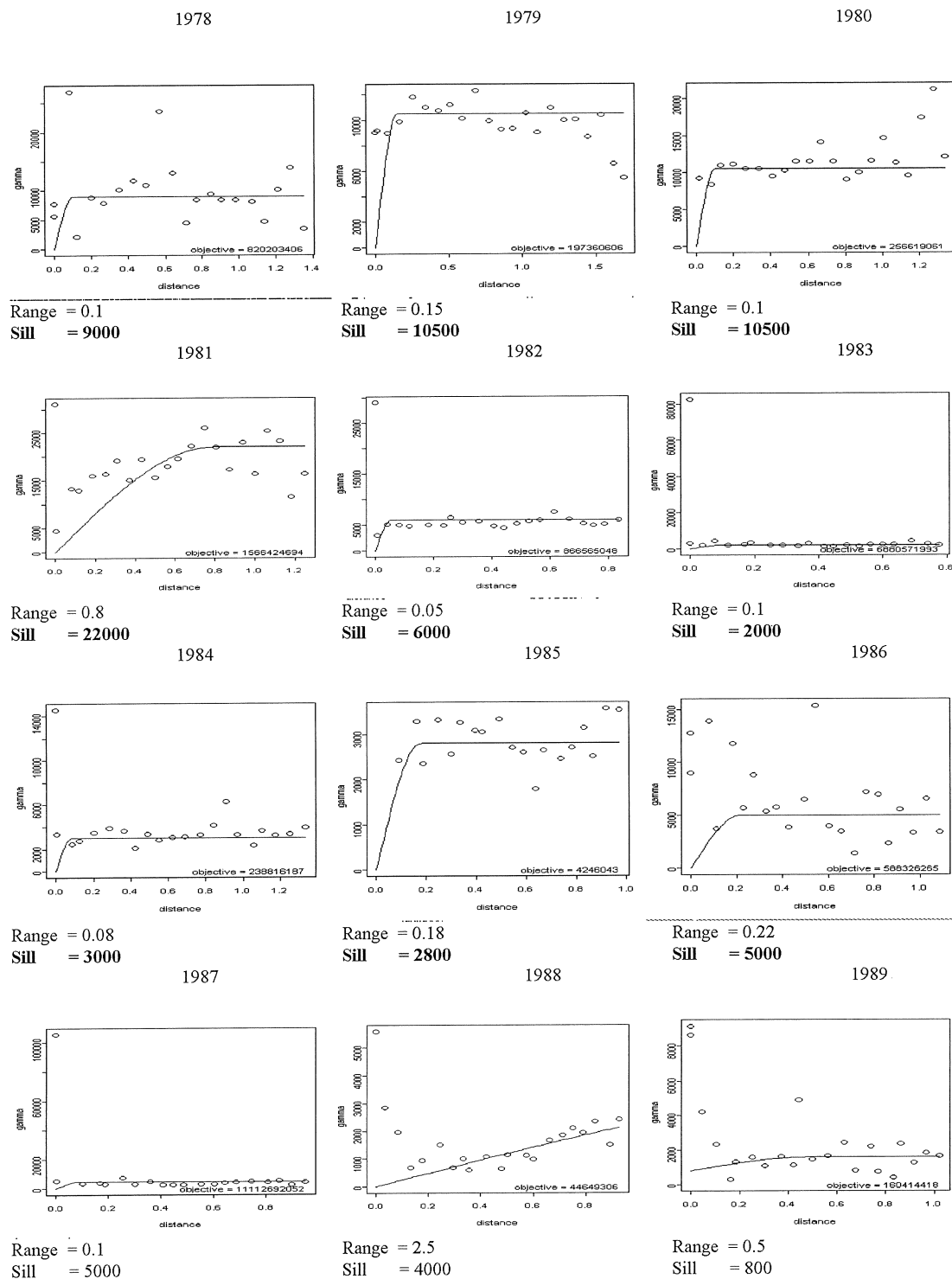


Figura 27. variogramas anuales para los datos de captura de anchoveta por parte del buque tipo.

En ellos se observa que el rango sólo estuvo por debajo de un décimo de grado (6 minutos) en 1982 y 1984. Mientras que la variable “sill” presentó un máximo de 22000 durante 1981 y un mínimo de 800 para 1989.

Para observar mejor dicho comportamiento se generaron dos series de tiempo que muestran la oscilación anual de las variables rango y sill (fig. 28).

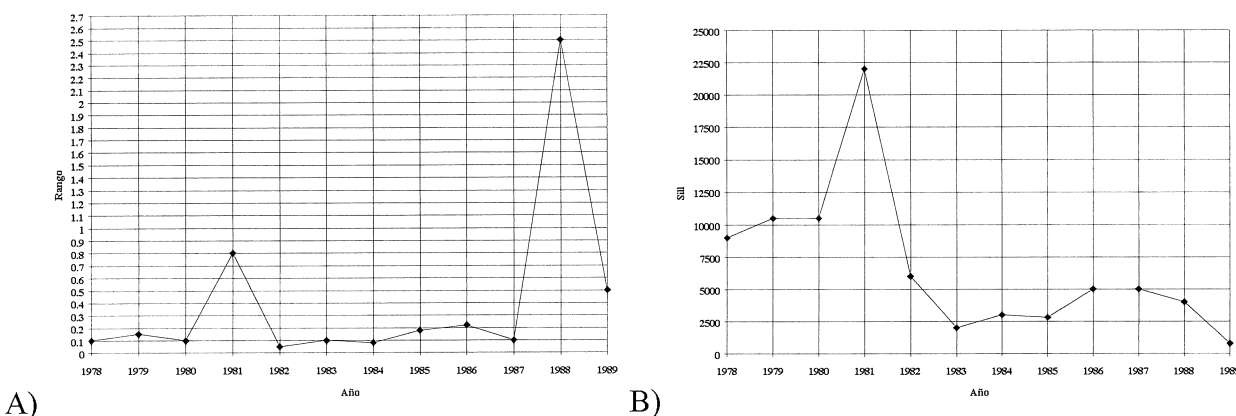


Figura 28. A) Serie de tiempo que muestra el comportamiento del rango; y B) Serie de tiempo que muestra el comportamiento de la variable sill relativa a la varianza.

Durante todo el período el rango promedio fue de 0.406 grados, esto es 24.4 minutos, recordando que el rango (distancia de máxima correlación) es una distancia máxima a la cual se pueden asociar las características en este caso de captura por lance o rendimiento, se puede interpretar dicho resultado como que el rendimiento obtenido de cada lance es interpolable a un radio de 24.4 minutos.

En el caso de la variable sill, interpretada como una especie de varianza poblacional, se encontró congruencia con los resultados anteriores al presentar esta dos máximos en 1981, 1986 y 1987, años en que los volúmenes de captura anual también presentaron máximos.

Asímismo, los resultados del variograma de todo el periodo arrojaron un modelo ajustado a la forma esférica en el cual el rango es de 0.23 grados y la variable sill = 240 000 (fig. 29).

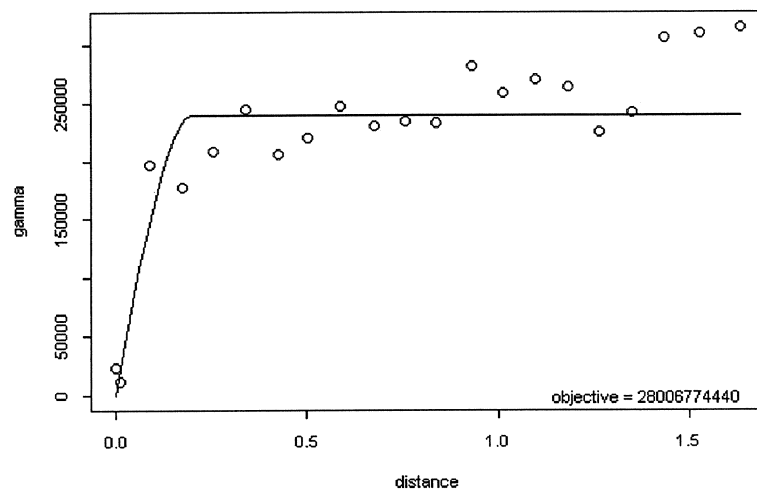


Figura 29 Variograma ajustado al modelo esférico obtenido para los datos de captura de anchoveta por parte del buque tipo.

Es curioso que eliminando el valor máximo y el mínimo el promedio de los rangos de los variogramas anuales (0.233°) coincida con el rango del modelo esférico obtenido del conjunto 1978 – 1989, 0.23° que expresado en minutos y segundos es igual a $13' 48''$.

7. Discusión

Es notable que después del desembarque máximo alcanzado en 1981, los años siguientes se caracterizaron por una tendencia a la disminución de las capturas y por un cambio en el régimen de pesca en el cual el esfuerzo registró una disminución paulatina (fig. 11).

Es lógico pensar que durante los dos primeros años la actividad pesquera se realizó sobre un recurso latente que prácticamente no había sido explotado. Asimismo el área cubierta por la flota fue mayor durante dichos años, después de los cuales se ubicaron las mejores zonas de captura lo que favoreció, aunado a la infraestructura de pesca empleada, el rápido ascenso de los volúmenes de desembarque.

Respecto al comportamiento espacial de la pesquería se pudo decir con base en el análisis de varianza de la CPUE asociados a los estratos del mar territorial, menos de treinta millas y más de treinta millas náuticas, que no se encontraron diferencias significativas entre la CPUE de dichos estratos. Mientras que análisis de varianza de los promedios anuales del rendimiento asociados para las diferentes bandas de un grado de latitud, concluyó en que sí se encontraron diferencias significativas en el rendimiento por bandas latitudinales. De lo anterior se puede decir que la principal concentración de la pesca se dio más latitudinalmente que longitudinalmente.

Así, para el período de 1978 a 1989 basados en la composición por edades tomada de las muestras biológicas del buque tipo (figura 30) y de los trabajos de Pedrín (1992) se observó que la composición y la estructura poblacional variaron tanto como el régimen operativo de las flotas.

Al aplicar los modelos de producción excedente durante el período **1978-1988**, se obtuvieron por el modelo de Fox volúmenes de captura máxima coherentes mientras que los aportados por el método de Schaefer sobreestiman hasta en 1.4 millones de toneladas la captura máxima.

La interpretación quinquenal de los resultados arroja lo siguiente:

En el período quinquenal **1978 –1982**, se desarrolló un régimen de pesca con el cual se alcanzó la máxima captura por unidad de esfuerzo (164.12 t métricas / viaje) en el año de 1980 después del cual se presentó un decremento de la misma durante los tres años siguientes. A partir de 1982, para mantener el rendimiento constante se presentó una paulatina disminución del esfuerzo, conforme el recurso se hacia más escaso. Así en 1983, se registró el nivel más bajo de la captura por unidad de esfuerzo coincidente con el final del primer quinquenio cuando la clase anual de 1978, alcanzó los cinco años de edad en 1982 (fig 30).

En lo que refiere al posible manejo de la pesquería para el período (1978-1982), el método de Schaefer aporta resultados más útiles que los proporcionados por el modelo de Fox, con la reserva de que la captura máxima asociada por el método de Schaefer a la flota estándar es 8246 toneladas mayor que la captura registrada en 1981 por dicha flota. Así mismo la categoría otras unidades de pesca parece estar bien descrita por ambos métodos durante este período.

En el quinquenio **1983-1987** se presentó un cambio en el régimen hacia lo que se considera una situación de hiper-estabilidad en la que el esfuerzo se concentraba en áreas cada vez mas reducidas obteniendose así capturas mayores con la consecuente

disminución del esfuerzo, descartándose a la CPUE como un buen indicador de la abundancia relativa del recurso.

Asímismo, durante dicho período se registró una disminución en el número de peces mayores de un año debido el efecto de la mortalidad por pesca desarrollada en el primer período, esto también respalda los bajos volúmenes de captura respecto del quinquenio anterior.

Para comprender el efecto de la mortalidad por pesca sobre la población de anchoveta se presenta la composición en número de peces por edades de los desembarques procedentes del barco tipo correspondientes a los dos quinquenios (fig. 30).

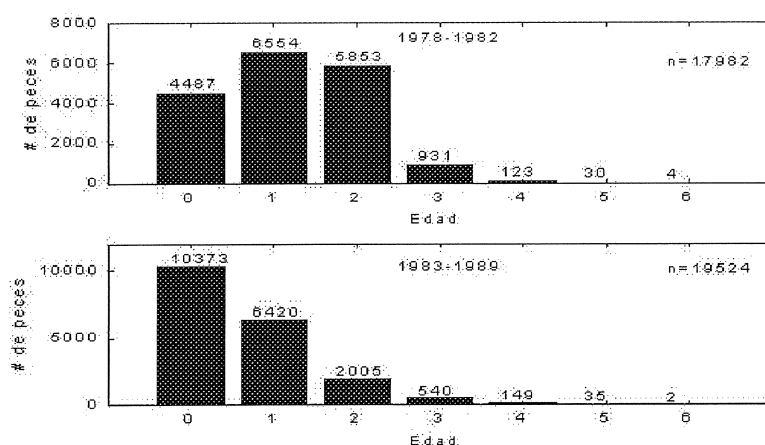


Figura 30. Distribución de edades en las capturas del barco tipo.

Es evidente como durante el segundo quinquenio la pesquería se desarrolló sobre zonas con altas concentraciones de peces de menos de un año ya ubicadas con anterioridad, invirtiendo cada vez menos esfuerzo en localización e incidiendo directamente sobre el reclutamiento del recurso todo ello con el único fin de mantener los niveles de rendimiento constantes.

En general los valores de captura máxima sostenible obtenidos durante el quinquenio 1983 – 1987 por los métodos de Schaefer y Fox fueron inferiores a los resultados obtenidos para el quinquenio anterior (tabla 15 y 16). Sin embargo dado que el uso de los modelos de producción excedente requiere de ciertas condiciones de equilibrio entre el esfuerzo y la captura, y en virtud de que el régimen de la pesquería en cuestión cambio hasta generarse una hiper-estabilidad del sistema, los resultados arrojados por los modelos de producción excedente se deben interpretar con precaución durante este período.

Al desarrollar el análisis variográfico se encontró que el rango se mantuvo por debajo de un décimo de grado (seis minutos de latitud o longitud), únicamente en 1982 y 1984 cuando la intensidad de pesca aumento, sin registrarse mayores capturas. Tomando en cuenta que las subdivisiones a las que se asignó un valor de rendimiento (t métricas /Km²) tenían como medida 5 minutos de latitud por cinco minutos de longitud. Se establece así que el rendimiento asociado a cada subdivisión tiene correlación con el área de la subdivisión de acuerdo a un análisis variográfico.

Con base en el resultado general del análisis variográfico para todo el período, el cual señala una distancia de correlación máxima cercana a los 13 minutos, podemos establecer que dentro de dicho margen las condiciones de utilización de los modelos de producción son óptimas.

8. Conclusiones

Analizando los desembarques y el esfuerzo empleado se reconocieron dos fases de características disímiles en cuanto al régimen de operación de las diferentes categorías de la flota nacional, correspondientes a los quinquenios 1978 – 1982 y 1983 –1987.

La primera fase se caracterizó por una pesca en la cual la captura y el esfuerzo fluctuaron proporcionalmente, y durante ese período la pesca se realizó en regiones amplias y sobre una población que presentó una composición normal de 0 a 4 años de edad.

La segunda fase se caracterizó por un régimen de hiper-estabilidad pesquera que antecede a un colapso de las capturas. Presentó incrementos de los desembarques ante una disminución del esfuerzo, consecuentemente con operaciones de pesca en regiones donde se concentraba el recurso, y cuya composición por edades era mayoritariamente de menos de un año de edad.

Así los efectos acumulativos de la mortalidad por pesca constituyeron un factor predominante que alteró la disponibilidad de *Engraulis mordax*, lo cual se relacionó directamente con la citada la disimilitud del régimen de operación de la flota.

La idea de las fases disímiles se refuerza con base en los resultados obtenidos por los modelos de producción excedente relativos a cada uno de los quinquenios.

Los resultados obtenidos por el modelo de Schaefer para el primer quinquenio muestran valores superiores respecto a los obtenidos por el citado método para el segundo período. Dichos valores representaron una mejor alternativa de manejo de la pesquería que los aportados por el método de Fox.

Por el contrario en el caso del período 1978-1988 los resultados del método de Fox son más útiles como herramientas de manejo, toda vez que los valores aportados por el método de Schaefer sobrestiman tanto la captura máxima como los el esfuerzo óptimo.

A partir del análisis variográfico de las capturas se estableció una distancia máxima de correlación equivalente a 13' 48''. Con el fin de optimizar los resultados en base a esto, se recomienda la aplicación de los modelos de producción excedente a las capturas y esfuerzos realizados en áreas delimitadas por dicha distancia máxima de correlación.

Así mismo, la correlación entre el rendimiento y el área de las subdivisiones de 5' x 5' de latitud y longitud quedó respaldada con base en que dichas áreas se encuentran dentro del rango (o distancia máxima de correlación) aportado por el análisis variográfico.

Recomendaciones

Para disminuir el efecto de mortalidad por pesca es necesario: i) Disminuir el volumen de la captura; ii) No pescar individuos menores a un año; iii) Cambiar el destino de la captura optimizando el uso de recurso distintos a la producción de harina de pescado.

Metodologicamente, es viable el utilizar los resultados de la exploración geostadística para desarrollar modelos globales, así mismo como medida alterna a la CPUE se puede utilizar el rendimiento para la elaboración de dichos modelos.

9. Referencias Bibliograficas:

Baumgartner, T.R., Soutar, A., Riedel, W. 1996 Natural time scales of variability in coastal pelagic fish populations of the California Current over the past 1500 years: Response to global climate change and biological interaction. California –Sea-Grant- Program Joya, Calif. USA pp. 31-37

Butler, J.L. 1987 Comparison of the early life history parameters of Pacific sardine and northern anchovy and implications for species Interactions. DISS.-ABST.-INT.-PT.-B-SCI.-and-ENG.1987 vol. 48, no.2,261 pp

Castellanos, C. E. 1975. Listado y código de embarcaciones cerqueras de la región del Noroeste del País. Enero 1975, Instituto Nacional de Pesca. INP/SI:25. 38pp.

Chávez, H., Silva, S. y Sunada, S. 1979. La pesquería de la anchoveta, *Engraulis*

mordax, en California y Baja California durante 1975, con datos sobre el desarrollo de la industria en 1976-1977. Serie Científica No. 20, 1979. Dir. Gral. Instituto Nal. de Pesca. México. 48 pp.

Cotero A., C.E. 1987 Ciclo Reproductivo, Madurez y Fecundidad de la anchoveta *Engraulis mordax*. Análisis comparativo de 1981-1983. CICESE. Ensenada, B.C. Tesis de Maestría. 60 p.

Ehrhardt M., Nelson 1981 Curso de evaluación de los recursos y dinámica de poblaciones: Métodos de análisis de las estadísticas de captura y esfuerzo de pesca y su aplicación en modelos globales de pesquería. La Paz Baja California Sur, Mexico.

Escudero, M. y Castellanos, E. 1990. Estudio de la Anchoveta *Engraulis mordax* en aguas mexicanas. INP-SEPESCA 93 p.

FAO, (1981). Yearbook of fishery statistics. Catches and landings, 1981 Yearb. Fish. Statist., (52): 357 pp.

FAO, (1983). Yearbook of fishery statistics. Catches and landings, 1981 Yearb. Fish. Statist., (52): pp.

FAO, (1995). Yearbook of fishery statistics. Catches and landings, 1993 Yearb. Fish. Statist., (76): 35 pp.

FAO, (1997). Yearbook of fishery statistics. Catches and landings, 1995 Yearb. Fish. Statist., (80): 713 pp.

Fiedler, P.C., Methot, R.D. and Hewitt, R.P. 1986. Effects of California El Niño 1982-1984 on the northern anchovy. J. Mar. Res. 44; 317-338.

Fox, W. W. Jr. 1970 An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Am. Fish. Soc., 99(1):80-p.

Green-Ruiz, Y. y Acal-Sanchez, D. 1987 Distribución de larvas de peces en el Golfo de California (noviembre 1987). 13ava. National meeting of American Fisheries Society: Early Life History Section. Mérida, Yuc., mayo de 1989. Resumen.

Hammann, G. y Cisneros-Mata, M. 1989. Range extension and comercial capture of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard, in the gulf of California, México. Calif. Fish and Game. 75(1):49-53.

- Hart, J.L. 1973 Pacific fishes of canada. Buul. Fish. Res. Board Can., (180):1-740.
- Hedgecock, D., Li, G. and Sly, F. 1983. Gentic analysis of spatial and temporal structure en northern anchovy populations. Resumen. Conferencia CALCOFI.
- Hernandez V., S. 1995. Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951 - 1989. CICESE. Ensenada, B.C. Tesis de Maestria. 178 pp.
- Hilborn, R. and Walters, C. 1992 Quantitative fisheries stock assesment. Chapman and Hall, London. 570 pp.
- Howard, G. 1963 The matter of availability and the harvest of tunas. U. S. Bureau of Comercial Fisheries Biological Laborsatory San Diego California Methodological paper.
- Lluch-Belda, D., Arvizu, J., Baumgartner, T., Cota, A., Coterio, C.E., Garcia, W., Green Y.A., Hammann, G., Hernández, S., Lizarraga, S., Lluch, D.B. , Martinez, M. A., Morales, R., Nevárez, M.O., Ochoa, R.I., Páez, F., Pedrín, O., Rodriguez, R. , Salinas, C.A., Santos, P. y Torres, J.R. 1994. Estado

actual de la pesquería de sardina y anchoveta. 164 p. En: Pesquerías Relevantes de México. Volumen 3: Peces. INP/SePesca México.

Lo, N. and Methot, R. 1989. Spawing biomass of the northern anchovy in 1988. NMFSs - SWFC. La Jolla, Calif. USA. CalCOFI Rep., Vol. 30, p.p.18-31 1989

Methot, R. and Lo, N. 1987. Spawing biomass of the northern anchovy in 1987. Admin. Rep. LJ-87-14. NMFSs -SWFC. La Jolla, Calif. USA. 46 pp.

Mexicano Vargas., Ma. L. (1989) Estimación de la abundancia relativa de anchoveta norteña *Engraulis mordax* girard en la plataforma continental frewnte a la costa occidental de Baja California en 1980-1982. Tesis Profesional FC UABC Ensenada México (12):63 pp.

Myers, Jeffrey C. 1997 Geostatistical Error Management : Quantifying Uncertainty for Environmental Sampling and Mapping. ISBN: 0471285560 Edt ITP 571 pp.

Pedrin O., O., Granados. G., Ma. L., Cota. V., A. 1992 Tasas de explotación y mortalidad por pesca de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), para el período de 1974 a 1989. Ciencias Marinas, 18 (4): 97-113.

Pella, J.J. and Tomlinson, B.K. 1969. A generalized stock production model. Bull. Inter-Am. Tuna Comm. 13:419-496

Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of population importante to the management of the commercial marine fisheries. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1(2):27-56.

Siri, M., R. Durazo y J. Rojas 1999 Factores de conversión del peso descargado por viaje en rendimiento por unidades de superficie y tiempo. En resúmenes ampliados VIII Congreso latinoamericano sobre Ciencias del Mar 17-21 octubre 1999 Trujillo Perú.

Siri, M., J. Rojas y R. Durazo 2000. Sistema normalizado de conversión del peso desembarcado por viaje en rendimiento por unidades de superficie y tiempo. En resúmenes ampliados XII Congreso Nacional de Oceanografía 22-26 mayo 2000 Huatulco Oax., México.

Villamar, A., Barrera, A., Castellanos, E., Cota, A., Chavez, H., de la Rosa, M., Escudero, M., Garcia, W., Green, J.M., Jiménez, R., Mondragon, E., & Silva, S. 1979. Análisis y propuesta nacional para la administración de la pesquería de anchoveta. Depto de Pesca. Dir. Gral. Del INP. Programa Anchoveta. 244 p.

Vrooman, A. M. , Paloma, P.A. and Zweifel, J.R.. 1981. Electrophoretic, morphometric and meristic studies of sub-poblations of northern anchovy, *Engraulis mordax* . Calif. Fish and Game 67 (1) : 39-51.

Whitehead P.J.P.y Rodriguez-Sánchez 1995, en: Fischer, W., Krupp, F. , Schneider, W. , Sommer, C. , Carpenter K. and Niem, V. Guía FAO para la identificación de especies para fines de la pesca Pacífico Centro Oriental. Vertebrados Vol. 2 Parte 1. p.p 1015-1025 Roma, Italia.