



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS F I P

FIP - IT / 96 - 34

INFORME : EVALUACION INDIRECTA DE CENTOLLA
FINAL EN LA X REGION

UNIDAD : UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
EJECUTORA

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**

N° 29 / 97

INFORME FINAL

"EVALUACION INDIRECTA DE CENTOLLA EN LA X REGION"

Valparaíso, septiembre de 1997

TITULO PROYECTO : “Evaluación Indirecta de Centolla en la X Región”

REQUIRENTE : Fondo de Investigación Pesquera (FIP).
Proyecto FIP N° 96-34

CONTRAPARTE : Universidad Católica de Valparaíso.
Facultad de Recursos Naturales.

UNIDAD EJECUTORA : Escuela de Ciencias del Mar.
Avda. Altamirano N° 1480.

INVESTIGADORES : Eleuterio Yáñez Rodríguez.
Víctor Espejo Briones.
Antonio González Casanga.

Distribución de ejemplares

10 Fondo de Investigación Pesquera (FIP).
1 Dirección General de Investigación, UCV.
1 Dirección Escuela de Ciencias del Mar, UCV.

RESUMEN EJECUTIVO

De los resultados obtenidos del proyecto "Evaluación Indirecta del Stock de Centolla en la X Región", se desprende que los actuales estudios de crecimiento de centolla en la X Región pueden ser considerados cuestionables, por cuanto éstos revelan situaciones inviables desde un punto de vista de máxima esperanza de vida del recurso. Los parámetros de crecimiento estimados para centolla en la X Región, en el presente estudio, equivalen a valores de $L_{\infty}=147,8$ mm y $K=0,211$ (1/año), cifras que en relación con la talla asintótica, revelan fuertes discrepancias con los resultados de Peñailillo y Báez (1992).

Por otra parte, y en relación con la determinación de la mortalidad natural, los valores estimados indican que para una longevidad media de 14,4 años, los modelos bioanalógicos presentaron valores de M entre 0,208 (Taylor) y 0,56 (Alverson y Carney), en tanto que los valores de mortalidad natural obtenidos a través de los modelos talla-estructurados ajustado para hembras, oscilaron entre 0,84 (van Zalingue) y 1,9 (Curva de captura linealizada). De estos resultados, se desprende, que sólo los modelos bioanalógicos de Alagaraja y Beverton & Holt presentan cuocientes M/K biológico-factibles. En este sentido, el valor final de mortalidad natural (M), se determina en $M = 0,338$.

Por otra parte, y en relación con los resultados derivados de la aplicación del modelo Análisis de Cohortes a la Talla (ACT), se determinó que la biomasa media total de centolla en el área indicada habría alcanzado entre 1994 y 1995 un total de 1.687 toneladas, de las cuales, 902 toneladas se encontrarían constituidas por ejemplares sobre la talla mínima legal de extracción. (100 mm). En este sentido, se determinó que la talla al 50% de retención se alcanza en torno a los 100 mm, corroborándose el comportamiento abrupto del patrón de explotación en torno a la vecindad acotada por el rango de 97 y 103 mm de longitud cefalotorácica.

Las tasas de mortalidad por pesca global ponderadas por el número de individuos capturados y el desembarque en peso, alcanzaron entre 1994 y 1995 valores de

0,25 y 0,32 respectivamente, lo que habría provocado tasas de explotación equivalentes a un 19% de la abundancia numérica y 24,5% de la biomasa media total; con lo cual se revela el alto grado de eficiencia que posee la flota hacia la extracción de los efectivos legalmente explotables.

En este contexto, el análisis de rendimiento equilibrado indica, que durante el período analizado, la mortalidad por pesca $F_{cr} = 0,58$ derivado del modelo ACT, se encuentra en el rango acotado por el valor de $F_{2/3}$ estimado en 0,35 y el valor de $F_{0.1}$ estimado en 0,775. Lo anterior sugiere que en la actualidad, los niveles desembarcados de centolla pueden ser aumentados a niveles de 735 toneladas anuales, esto siempre y cuando la explotación se realice en equilibrio.

Finalmente, el estado de situación de centolla en la X Región indica que el stock está siendo explotado eficientemente en términos de aprovechar la capacidad de crecimiento somático del recurso, por cuanto la talla de primera captura resulta significativamente similar a la talla crítica estimada en 98,83 mm de cefalotórax. No obstante lo anterior, las tasa de explotación indican elevados grados de remoción de los efectivos explotables, que de no mediar una debida atención, pueden provocar en el mediano plazo una sobreexplotación por reclutamiento.

CONTENIDO

	Pág.
Objetivo General	1
Objetivos específicos	1
1. Antecedentes Generales	2
1.1. Sobre la unidad de stock y pesquería	2
1.2. Sobre la fuente de información y composición de tallas	3
2. Metodología de Trabajo	4
2.1. Consideraciones sobre el tratamiento de la información	4
2.1.1. Estimación de los pesos medios a la talla	5
2.1.2. Expansión de la estructura de tallas al desembarque total	6
2.2. Modelo de evaluación de stock estructurado a la talla	6
2.2.1. Consideraciones básicas	6
2.2.2. Modelo de Análisis de Cohorte a la Talla (ACT)	9
2.3. Cálculo de la Mortalidad Natural	12
2.3.1. Modelos Bioanalógicos	12
2.3.2. Modelos Estructurados a la Talla	13
2.3.3. Selección del valor de mortalidad natural	14
2.4. Estimación de la Abundancia y Biomasa Media del Stock Explotable de Centolla de la X Región	14
2.5. Mortalidades por Pesca de Referencia	15
2.6. Estimación del Estado de Explotación de Stock de centolla de la X Región	16
2.6.1. Determinación de puntos biológicos de referencia	16
2.6.2. Determinación de los excedentes productivos	18
2.6.3. Determinación del estado de explotación	18
2.7. Análisis de incertidumbre de los parámetros poblacionales y su impacto en los estimados de biomasa y CBA	20
3. Resultados	21
3.1. Determinación de la Mortalidad Natural	21
3.2. Evaluación Indirecta del Stock de Centolla de la X Región	23
3.3. Estado de explotación de centolla en la X Región	27
3.3.1. Puntos biológicos de referencia	27
3.3.2. Talla crítica y de primera captura	29
3.4. Incertidumbre de los tamaños poblacionales y los rendimientos de equilibrio de largo plazo	30
4. Análisis y Discusión de Resultados	35
4.1. Análisis de los parámetros poblacionales	35
4.2. Valores de Mortalidad Natural	36
4.3. Evaluación Indirecta del Stock de Centolla de la X Región	36
4.4. Estado de Explotación de centolla en la X Región	37
4.5. Análisis del incertidumbre	38
4.6. Consideraciones finales	40
5. Conclusiones	41
6. Referencias Bibliográficas	44

Listado de Tablas

	Pág.
Tabla I. Determinación de mortalidad natural de centolla en la X Región.	21
Tabla II. Parámetros de crecimiento, patrón de explotación y mortalidad por pesca de los grupos completamente reclutados a la pesquería de Centolla en la X Región	24
Tabla III. Biomاسas medias totales, explotables y desembarque promedio de centolla en los años 1994 y 1995, X Región.	26
Tabla IV. Mortalidades por pesca globales y tasas de explotación en número y peso, centolla X Región.	27
Tabla V. Mortalidades por pesca de referencia y capturas biológicas adecuadas (CBA), centolla X Región.	28
Tabla VI. Talla crítica y de primera captura, centolla X Región	29

Listado de Figuras

	Pág.
Figura 1. Desembarque de centolla de la X Región (<i>Lithodes antarcticus</i>) entre los años 1986 a 1995. Fuente SERNAPESCA.	3
Figura 2. Esquema en que se ilustra el desarrollo del Análisis de Cohorte (Pope, 1972)	7
Figura 3. Determinación de la mortalidad de centolla en la X Región, a través de la linealización de la curva de captura de hembras.	22
Figura 4. Determinación de la mortalidad de centolla en la X Región, a través del modelo de van Zalinge aplicado a la frecuencia de tallas de hembras.	23
Figura 5. Patrón de explotación y mortalidad por pesca a la talla, centolla X Región.	25
Figura 6. Frecuencia de tallas del desembarque observada y predicha por el modelo ACT, centolla X Región.	26
Figura 7. Capturas y biomاسas medias equilibradas de largo plazo, centolla X Región.	28
Figura 8. Biomasa inexplorada ($Z=M$) respecto de la longitud cefalotoráxia, centolla X Región.	29
Figura 9. Derivada de la biomasa inexplorada ($Z=M$) respecto a la longitud cefalotoráxia, centolla X Región.	30
Figura 10. Distribución de probabilidad de la mortalidad natural de centolla en la X Región.	31
Figura 11. Distribución de probabilidad del reclutamiento de centolla en la X Región.	32
Figura 12. Distribución de probabilidad de la abundancia total de centolla en la X Región.	32
Figura 13. Distribución de probabilidad de la biomasa total de centolla en la X Región.	33

continuación

Figura 14. Distribución de probabilidad del rendimiento equilibrado (CBA) para una estrategia de explotación $F_{0.1}$, centolla X Región.	33
Figura 15. Distribución de probabilidad de la talla crítica de centolla en la X Región.	35

ANEXOS

ANEXO I : Ajuste Relación Longitud-Peso	Pág. 48
ANEXO II : Salida del algoritmo de solución ACT	49

Objetivo General

Efectuar una evaluación indirecta del stock de centolla (*Lithodes antarcticus*) explotado comercialmente en la X Región.

Objetivos específicos

1. Diseñar y desarrollar un método de evaluación indirecta para el stock de centolla, acorde a las características de esta especie y su pesquería.
2. Estimar la mortalidad natural del stock de centolla en la X Región.
3. Estimar la biomasa (en peso) y la abundancia (en número) del stock de centolla en la X Región.
4. Estimar la mortalidad por pesca de los períodos analizados, y las mortalidades por pesca de referencia para el stock explotado.
5. Determinar el estado de explotación del stock de centolla.

1. Antecedentes Generales

1.1. Sobre la unidad de stock y pesquería

La pesquería de centolla desarrollada en la X Región se encuentra espacialmente limitada a la operación de naves de pesca por sobre las bases rectas normales de la costa, y de acuerdo a los antecedentes existentes, el esfuerzo de pesca se concentra preferentemente en cañones submarinos cuya gradiente de profundidad varía entre 100 y 500 m, los cuales se ubican preferentemente a la cuadra de Corral, Golfo Coronados e Isla Grande de Chiloé (Peñailillo *et. al* 1995).

Esta concentración del esfuerzo de pesca sugiere la existencia de a lo menos 3 unidades de stock, las cuales a falta de estudios que confirmen esta hipótesis no serán consideradas en nuestros análisis, razón por la cual; se consideró que los focos de abundancia de centolla provienen de una sola unidad de stock, auto sustentada, cerrada y homogénea en términos de sus parámetros vitales.

Por otro lado y en relación con el desarrollo de la pesquería de centolla en la X Región, se destaca que hasta 1989 la extracción del recurso se limitaba a pequeños armadores industriales con desembarques que entre 1986 y 1989 oscilaban en torno a las 10 toneladas anuales. Posteriormente y como consecuencia de un mayor incentivo de precios y el decaimiento de los tradicionales efectivos ubicados en la XII Región, comienza el desarrollo de una pesquería de nivel industrial constituida por un número de 7 unidades de pesca, las cuales generaron en 1991, el máximo registro de desembarques cercanos a las 750 toneladas (Figura 1).

Luego de este máximo, los niveles desembarcados caen abruptamente hasta las 340 toneladas (1992), para luego evidenciar oscilaciones que hasta la fecha se han mantenido en torno a las 570 toneladas anuales.

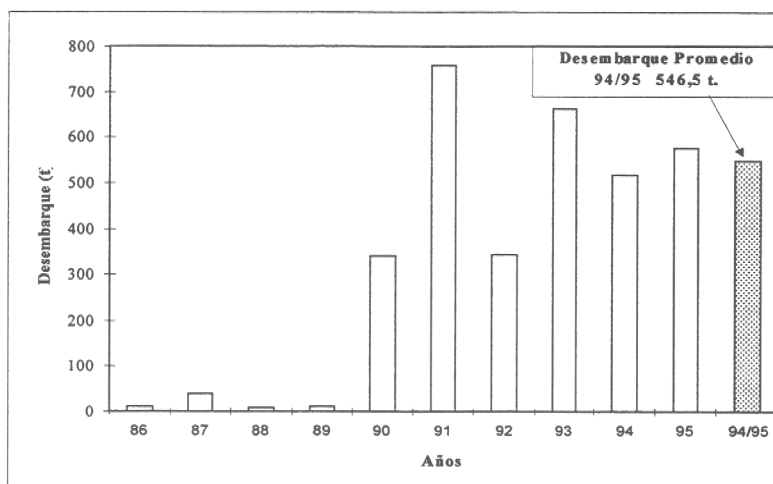


Figura 1. Desembarques de centolla de la X Región (*Lithodes antarcticus*) entre los años 1986 a 1995. Fuente SERNAPESCA.

Finalmente, se debe destacar que en términos legales el recurso centolla de la X Región se encuentra actualmente sometido al régimen general de acceso (D.S. N° 479/1992), incluyendo además un período de veda extendido entre el 1° de diciembre y el 31 de enero de cada año (D.S. N° 134/1986; D.S. N° 509/1991), una talla mínima legal de 10 cm de cefalotórax (D.S. N° 375/1986) y total prohibición de capturar hembras (D.S. N° 39/1983).

1.2. Sobre la fuente de información

Durante 1994 y 1995, por encargo del Fondo de Investigación Pesquera, el Instituto de Fomento Pesquero llevó a cabo el proyecto FIP N° 93/12 “Monitoreo de la pesquería del recurso Centolla en la X Región, 1994”, el cual tenía entre otros objetivos, realizar un levantamiento de las estructuras de tallas del stock explotado en toda la X Región, así como la estimación de relaciones gravimétricas y de rendimientos de pesca.

En este contexto, como una forma de continuidad del proyecto antes indicado, en el presente estudio se realiza una evaluación de stock a partir de los datos generados en el proyecto FIP N° 93/12, con lo que se espera dar cuenta del actual estado de situación del recurso, en conformidad a lo establecido en los Términos Básicos de Referencia.

2. Metodología de Trabajo

2.1. Consideraciones sobre el tratamiento de la información

Los muestreos mensuales de longitud, recopilados por el Instituto de Fomento Pesquero en la X Región, enmarcados en el proyecto FIP N° 93/12 “Monitoreo de la pesquería del recurso Centolla en la X Región, 1994”, fueron tratados a través de los siguientes pasos:

- ⇒ se construyeron frecuencias de tallas mensuales y por sexos, en base a intervalos de 2 mm de longitud de cefalotórax.
- ⇒ se estimaron los pesos medios a la talla por sexo y mes, a través de la función somatométrica del recurso.
- ⇒ se expandieron por sexo y mes, las frecuencias de tallas al desembarque total.
- ⇒ se obtuvo una primera estructura de tallas resultante global, como la suma de las estructuras mensuales antes expandidas.
- ⇒ finalmente, la estructura resultante se corrigió por el desembarque promedio 1994-1995, frecuencia que a *posteriori* se empleara en la evaluación de stock propiamente tal.

2.1.1. Estimación de los pesos medios a la talla

Para la determinación del peso medio a la talla, se trabajó bajo el criterio propuesto por Beyer (1987; cit. por Gayanilo *et al* 1995), el cual dice relación a que el peso medio a la talla podrá quedar mejor descrito a través de una función continua del tipo:

$$\bar{f}(x: x_1, x_2) = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (1)$$

la cual para nuestro caso, se adapta en intervalos de tallas de la forma:

$$\bar{W}(L_i) = \frac{1}{L_{i+1} - L_i} \int_{L_i}^{L_{i+1}} W(L) dL \quad (2)$$

de manera tal que, la expresión conducente al peso medio a la talla, queda definida por la forma:

$$\begin{aligned} \bar{W}(L_i) &= \frac{1}{L_{i+1} - L_i} \int_{L_i}^{L_{i+1}} aL^b dL \\ &= \left(\frac{a}{L_{i+1} - L_i} \right) * \left(\frac{L_{i+1}^{b+1} - L_i^{b+1}}{b+1} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

siendo,

a, b : parámetros somatométricos.

L : longitud de los individuos en el intervalo de longitud i.

De esta forma, la ecuación (3) es un estimador insesgado de los pesos medios de los intervalos de tallas; razón por la cual se utilizó en todos los cálculos posteriores que contemplan valores para $\bar{W}(L_i)$.

2.1.2. *Expansión de la estructura de tallas al desembarque total*

Para expandir la captura estructurada a la talla al desembarque oficial, en el presente análisis se consideró un nivel de desembarque equivalente a las 546,5 toneladas, cifra que corresponde al promedio de los desembarques de los años 1995 y 1996. Lo anterior se debe a que la fuente de información empleada (FIP N° 93/12), da cuenta del muestreo registrado en la X Región entre los meses de julio a noviembre 1994, y los meses de marzo y abril de 1995.

En este sentido, se desprende que el empleo del desembarque promedio podrá dar cuenta de una condición estructural del stock a inicios de 1995, empleándose para estos efectos, la siguiente expresión de expansión:

$$C(L_i) = C(L_i^m) * \frac{Y_{tot}}{\sum_{i=1}^{\lambda} C(L_i^m) * \bar{W}(L_i)} \quad (4)$$

donde Y_{tot} corresponde al desembarque total, $C(L_i^m)$ es la frecuencia de individuos tomados del muestreo del desembarque correspondiente al intervalo de tallas (L) i-ésimo, y $\bar{W}(L_i)$ es el peso promedio del intervalo de tallas respectivo.

2.2. *Modelo de evaluación de stock estructurado a la talla.*

2.2.1 *Consideraciones básicas*

Al considerar la gama de modelos analíticos de evaluación, el Análisis de Cohortes propuesto por Pope (1972), como una aproximación al modelo de población virtual de Gulland (1965), resultó en su momento de vital importancia para lo que más tarde permiti-

ría la sintonización y calibración del APV. Este sencillo modelo, básicamente se sustentó en que las pérdidas en el stock ocasionadas por la pesca, eran significativamente mayores a los efectos de la mortalidad natural, razón por la cual supuso en términos discretos, que la captura podría quedar representada por una remoción instantánea exactamente a la mitad del año.

El desempeño de este modelo arrojó discrepancias máximas de un 8% respecto a la solución verdadera estimada del APV de Gulland (1965), situación que sugirió la restricción de valores de $M \leq 0,3$ y $F \leq 1,2$. De lo contrario, el análisis de cohorte podría aún ser válido si los datos de captura por edad se dividían en intervalos menores que un año (Jones, 1981; cit. por Megrey, 1989).

Siguiendo la lógica de Pope (1972), en la Figura 2 se ilustra el razonamiento y modelaje de la dinámica temporal de una cohorte en términos discretos, de la cual destaca que si suponemos que N_t es el número de individuos de una cohorte a inicios del período de tiempo t , y que esta será afectada sólo por mortalidad natural hasta el instante $t+0,5$,

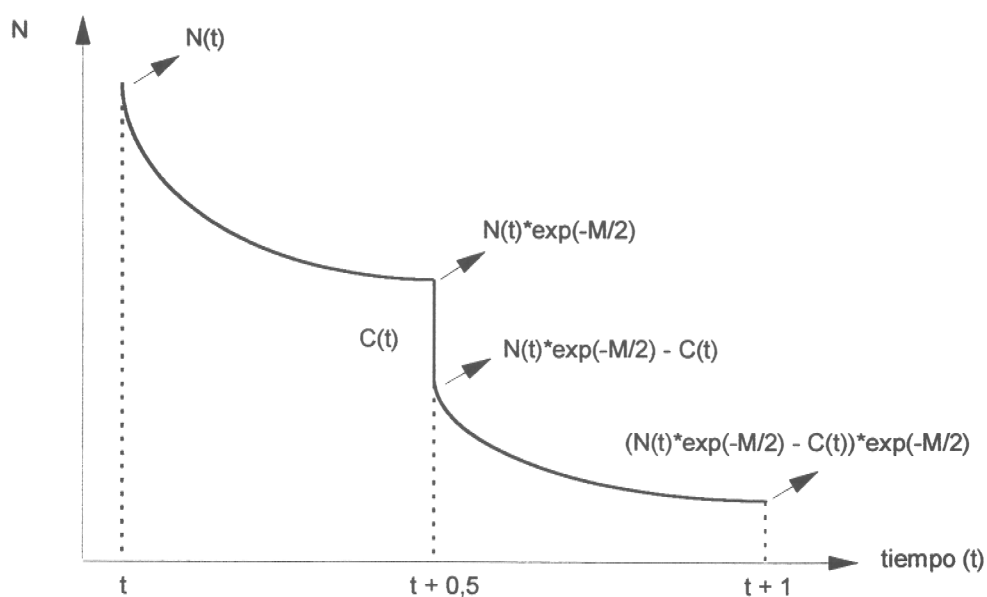


Figura 2: Esquema en que se ilustra el desarrollo del Análisis de Cohorte (Pope, 1972).

se tendrá que los sobrevivientes al tiempo $t+0,5$ podrán ser determinados por

$$N_t * e^{(-M/2)} \quad (5)$$

Luego, si la captura C_t se realiza de forma instantánea a la mitad del período de tiempo, el número de individuos en la cohorte luego de la remoción será:

$$N_t * e^{(-M/2)} - C_t \quad (6)$$

para luego, asumir que entre $t+0,5$ y $t+1$ actúan sólo los efectos de la mortalidad natural, con lo que se deduce que la fracción sobreviviente, arroja como resultado, el tamaño de la cohorte a inicios del tiempo $t+1$ de la forma:

$$N_{t+1} = N_t * e^{-M} - C_t * e^{-M/2} \quad (7)$$

Bajo este esquema, Pope (1972) planteó que la ecuación (7) podría ser reformulada para estimar los estadios etéreos pretéritos de una cohorte, a partir de la abundancia presente en la forma:

$$N_t = N_{t+1} * e^M + C_t * e^{M/2} \quad (8)$$

Sin embargo, y dada las fuertes restricciones de este modelo, MacCall (1986) demostró a través de serie de Taylor, que la expresión $\exp(M/2)$ podría quedar mejor representada por la expresión:

$$e^{(M/2)} \approx \left(\frac{M}{1 - e^{-M}} \right) \quad (9)$$

de manera tal que al ser introducida en la ecuación (8), se obtiene el modelo corregido como:

$$N_t = N_{t+1} * e^M + C_t * \left(\frac{M}{1 - e^{-M}} \right) \quad (10)$$

en el cual, se eliminan todos los supuestos de Pope (1972), extensibles al desarrollo de una temporada de pesca continua al interior del año y a cualquier valor de mortalidad por pesca.

2.2.2. Modelo de Análisis de Cohortes a la Talla (ACT)

Considerando la corta historia de la pesquería de centolla desarrollada en la X Región, se planteó la hipótesis de que dicho stock debería encontrarse en medianas condiciones de equilibrio ideales para la aplicación del modelo de Jones (1984) modificado, es decir, que los excedentes productivos del recurso probablemente son compensados por las pérdidas naturales y remociones efectuada por pesca, y que este último agente no ha alterado de forma significativa la composición etárea de la población.

Sin embargo, dado que este modelo responde a una adaptación del modelo Análisis de Cohortes de Pope (1972) incluyendo sus restricciones, se resolvió formular la ecuación (10) con la corrección de MacCall (1986) en intervalos de tallas de la forma:

$$N(L_i) = N(L_{i+1}) * e^{M * \Delta t_i} + \frac{C(L_i) * M * \Delta t_i}{1 - e^{-M * \Delta t_i}} \quad (11)$$

donde $C(L_i)$ es la captura en número del i -ésimo intervalo de tallas, M la mortalidad natural y Δt_i corresponde al tiempo requerido por un individuo en crecer desde el intervalo de tallas i al intervalo $i+1$ de la forma:

$$\Delta t_i = \frac{1}{K} * \ln \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i+1}} \right) \quad (12)$$

en la cual, L_{∞} y K corresponden a los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy.

Se debe destacar que si bien el modelo propuesto puede ser aplicado indistintamente sobre estructuras de desembarques basadas en tallas o edades, para el caso particular del recurso analizado, la imposibilidad de identificar más de 5 grupos modales-etéreos contra una esperanza media de vida de 14-15 años, sugiere que lo más adecuado es realizar el análisis sobre la base de composiciones de tallas.

En efecto, la aplicación de este método (pseudo-cohorte) basado en pocos grupos de edades, y en particular para recursos en los cuales es prácticamente imposible leer estructuras de las cuales se pueda inferir una determinada edad, presenta además el inconveniente asociado a una baja razón de convergencia en las mortalidades por pesca de entrada, con el consiguiente riesgo a la sobre o subestimación del stock analizado.

En este contexto, el modelo de evaluación de stock base que se propone, corresponde a un Análisis de Cohortes a la Talla (ACT) modificado del modelo de “pseudo cohorte” de Jones (1984) antes descrito, según las siguientes consideraciones:

- 1) Se incorporó un patrón selectivo talla-específico teórico, basado en el algoritmo CASA desarrollado por Han-Lin-Lai y Amjoun (1993).
- 2) Se propuso una solución del modelo no lineal a través de una subrutina de optimización, de acuerdo a lo desarrollado por Zuleta y Moreno (1993) y Canales (1994).
- 3) Se modificó la ecuación recursiva de Pope (1972) por el algoritmo de MacCall (1986).

y cuyos supuestos pueden ser sintetizados de la siguiente forma:

⇒ La tasa de mortalidad natural permanece constante entre los intervalos de tallas y durante el período analizado (años 1994 y 1995).

⇒ El crecimiento de los individuos está descrito por la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy.

⇒ El patrón de reclutamiento (selectividad) a la pesquería está descrito por una función logística.

⇒ La captura a la talla es representativa de una situación de un estado equilibrado.

Como el modelo que se plantea en la ecuación (11) es secuencial y recursivo, la abundancia de partida correspondiente al último intervalo de tallas (λ), se obtiene al ser despejada desde la ecuación de captura de Baranov (1918) de la forma:

$$N(L_\lambda) = \frac{C(L_\lambda) * (F(L_\lambda) + M)}{F(L_\lambda) * (1 - e^{-(F(L_\lambda) + M) * \Delta_i})} \quad (13)$$

donde $F(L_\lambda)$ corresponde a la mortalidad por pesca del último grupo de tallas obtenida desde el vector F talla-específico:

$$F(L_i) = F_{cr} * r(L_i) \quad (14)$$

siendo F_{cr} la mortalidad por pesca de grupos de tallas completamente reclutados a la pesquería, y $r(L_i)$ el vector de selectividad a la talla definido por:

$$r(L_i) = \frac{1}{1 + e^{a-b*L_i^c}} \quad (15)$$

De esta forma y con el fin de obtener la abundancia por grupo de tallas, se deben determinar los parámetros asociados al crecimiento (L_∞ y K), al vector de selectividad y mortalidad por pesca talla-específica (a , b , c y F_{cr}) que minimizan la función objetivo:

$$\phi = \sum_{i=1}^{\lambda} \left\{ C(L_i) - \frac{N(L_i) * F(L_i) * (1 - e^{-Z(L_i) * \Delta_i})}{Z(L_i)} \right\}^2 \quad (16)$$

Una vez resuelta la función, los errores estándar de cada uno de los parámetros

son obtenidos tomando la raíz cuadrada de cada uno de los elementos que constituyen la diagonal de la matriz compuesta por:

$$s(\beta_i) = \frac{\phi}{n-p} * (J^T J)^{-1} \quad (17)$$

siendo n el número total de intervalos de tallas, p el número de parámetros estimados y “ J ” la matriz Jacobiana de derivadas parciales denotada por la forma:

$$J = \frac{\partial C(L, \theta_i)}{\partial \theta_i} \quad (18)$$

donde θ_i es el conjunto de parámetros resueltos.

2.3. *Cálculo de la Mortalidad Natural*

Para la determinación de la mortalidad natural de centolla en la X Región se propone el empleo de las siguientes aproximaciones.

2.3.1. *Modelos Bioanalógicos*

a) Modelo bioanalógico de Taylor (1958): supone que la mortalidad natural se relaciona con los parámetros de la función de crecimiento del recurso del siguiente modo:

$$M = \frac{2,966 * K}{2,996 + K * t_0} \quad (19)$$

b) Modelo bioanalógico de Beverthon y Holt (1956): supone que la mortalidad natural depende de la máxima longevidad del individuo ($t_{\text{máx}}$ en años) y propone que:

$$M = \frac{5}{t_{max}} \quad (20)$$

- c) Modelo bioanalógico de Alverson y Carney (1975): supone que la mortalidad natural se relaciona con el factor de alometría (b), el parámetro de crecimiento K y la longevidad del individuo ($t_{m\acute{a}x}$) a través de la expresión:

$$M = \frac{b * K}{e^{t_{max} * K * 0,25} - 1} \quad (21)$$

- d) Modelo de Alagaraja (1984): relaciona la tasa instantánea de mortalidad natural con la longevidad de la especie, es decir, asocia la edad a la que el 99% de una cohorte habría muerto si hubiera estado expuesta solamente a la mortalidad natural. Si T_m representa la longevidad y $M_{1\%}$ la mortalidad natural correspondiente al 1% de supervivencia, entonces:

$$M_{1\%} = \frac{-\ln(0,01)}{T_m} \quad (22)$$

2.3.2. Modelos Estructurados a la Talla

En los modelos que a continuación se describen se trabajó con los datos de hembras capturadas y muestreadas en los meses de julio a noviembre de 1994, asumiendo para este efecto que la mortalidad por pesca para éstas es prácticamente despreciable; ya que sólo se desembarcan machos por sobre los 100 mm de longitud cefalotoráxia. Por consiguiente, los modelos utilizados son :

- a) Modelo de curva de captura linealizada convertida a longitud: se sustenta en el análisis de regresión de la curva de captura sobre la base de logaritmo natural de la forma:

$$\ln\left(\frac{C(L_i, L_{i+1})}{\Delta t(L_i, L_{i+1})}\right) = c - Z * t \left(\frac{L_i + L_{i+1}}{2}\right) \quad (23)$$

b) Modelo de Jones y van Zalinge (1981): se sustenta en el análisis de regresión de la curva de captura basándose en logaritmo natural de la forma:

$$\ln\left(C(L_i - L_{oo})\right) = \alpha + \frac{Z}{K} * \ln(L_{oo} - L_i) \quad (24)$$

2.3.3. Selección del valor de mortalidad natural

Con el fin de establecer, dentro del set de valores de M determinados por cada uno de los 6 modelos antes indicados, el valor más probable de mortalidad natural, se consideraron sólo aquellos que respondieran a las expectativas biológicas admisibles según el criterio propuesto por Beverthon y Holt (1959) denotado por el dominio $1,5 \leq M/K \leq 2,5$.

En este sentido, y ante el desconocimiento de la real distribución de probabilidades de este parámetro, basados en la hipótesis que este responde a una distribución uniforme, se resolvió establecer como valor probable de M, el promedio de los valores admisibles antes destacados.

2.4. Estimación de la Abundancia y Biomasa Media del Stock Explotable de Centolla de la X Región

Una vez estimada la abundancia por intervalos de longitud, se calculó la abundancia y biomasa media derivada analógicamente de la expresión:

$$\overline{N}_t = \frac{C_t}{F} = \frac{N_t - N_t * e^{-Z}}{Z_t} = \frac{N_t - N_{t+1}}{Z_t} \quad (25)$$

donde N es la abundancia a inicios de temporada, F la mortalidad por pesca, y Z la mortalidad total del período t . De esta manera, la expresión anterior al ser reformulada en número y biomasa en función de sumatorias sobre las tallas, se obtiene que la abundancia y biomasa media corresponden respectivamente a:

$$\overline{N} = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{N(L_i) - N(L_{i+1})}{Z(L_i)} \quad (26)$$

$$\overline{B} = \sum_{i=1}^{\lambda} \overline{N}(L_i) * \overline{W}(L_i) \quad (27)$$

donde $\overline{W}(L_i)$ es el peso promedio de la i -ésimo clase de longitud.

2.5. *Mortalidades por Pesca de Referencia*

Bajo el concepto que la mortalidad por pesca global equivale a la expresión:

$$F = C/\overline{S} \quad (28)$$

siendo \overline{S} un indicador del tamaño medio del stock (medido en número de individuos o biomasa), en el presente estudio se ha propuesto como indicadores alternativos al valor referencial F_{cr} (derivado del modelo ACT), ciertas medidas globales de mortalidad por pesca que a continuación se indican:

$$F_n = \frac{\sum_{i=1}^{\lambda} C(L_i)}{\bar{N}} \quad (29)$$

$$F_y = \frac{\sum_{i=1}^{\lambda} C(L_i) * \bar{W}(L_i)}{\bar{B}} \quad (30)$$

expresiones en las cuales, F_n recogen los efectos de la estructura numérica de la población media, y F_y de la estructura biomásica del stock.

Consecuentemente con lo anterior, es factible calcular las respectivas tasas de explotación, de acuerdo a:

$$\mu_n = \frac{F_n}{(F_n + M)} * \left(1 - e^{-(F_n + M)}\right) \quad (31)$$

$$\mu_y = \frac{F_y}{(F_y + M)} * \left(1 - e^{-(F_y + M)}\right) \quad (32)$$

2.6. *Estimación del Estado de Explotación del Stock de centolla de la X Región.*

2.6.1. *Determinación de puntos biológicos de referencia*

Este punto deriva de la estimación de las mortalidades por pesca globales de referencia del punto anterior, F_n , F_y y F_{cr} , donde esta última permite evaluar el actual estado de explotación del recurso, al ser comparada con mortalidades por pesca referenciales derivadas del modelo de rendimiento equilibrado de Thompson & Bell (1934) estructurado a la talla. Dicho modelo, se basa en suponer una condición ideal de equilibrio, requiriendo un estimado del reclutamiento (R) y del vector patrón de selectividad (r) obtenidos por el modelo

ACT. De esta forma, se obtiene para cada nivel de mortalidad por pesca, un determinado valor de rendimiento equilibrado de largo plazo a través de la expresión:

$$Y(F) = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{F * r(L_i) * (1 - e^{-Z(L_i) * \Delta t_i})}{Z(L_i)} * N(L_i) * \bar{W}(L_i) \quad (33)$$

donde la abundancia en cada intervalo de talla, se evalúa por:

$$N(L_i) = R * e^{\left(-\sum_{i=1}^{\lambda} Z(L_i) * \Delta t_i\right)} \quad (34)$$

Dentro del espectro de mortalidades por pesca de referencia biológicas que se pueden desprender de una curva de rendimiento equilibrado, se analizaron las más relevantes a saber:

- ⇒ $F_{0,1}$: mortalidad por pesca que equivale al valor de la curva de rendimiento equilibrado que adopta un valor del 10% de la pendiente en el origen. Esta medida permite reducir en el largo plazo el riesgo de sobreexplotación por crecimiento.
- ⇒ $F_{m\acute{a}x}$: mortalidad por pesca que equivale al punto sobre el cual, el valor de la pendiente de la curva de rendimiento equilibrado se hace nula. Cualquier valor sobre esta mortalidad sugiere una condición de sobrepesca por crecimiento.
- ⇒ $F_{2/3}$: criterio de explotación que fija el nivel de biomasa equilibrada en 2/3 de la biomasa original, esta última, estimada en niveles donde F es significativamente igual a cero. En tal sentido, la curva de biomasa media equilibrada se determina por:

$$\bar{B}(F) = \frac{1}{F} * Y(F) \quad (35)$$

que constituye una expresión análoga a la presentada en la ecuación 25.

2.6.2. Determinación de los excedentes productivos

Las estimaciones de los excedentes productivos del recurso en cuestión, fueron determinadas a través de una Captura Biológica Adecuada (CBA), evaluada en los distintos valores de mortalidad por pesca de referencia. Su expresión general corresponde a:

$$CBA(F_{ref}) = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{F_{ref} * r(L_i) * (1 - e^{-Z(L_i) * \Delta t_i})}{Z(L_i)} * N(L_i) * \bar{W}(L_i) \quad (36)$$

donde F_{ref} corresponde al nivel de mortalidad por pesca recomendable que en nuestro caso particular, corresponderán a los niveles $CBA(F_{0.1})$, $CBA(F_{m\acute{a}x})$ y $CBA(F_{2/3})$.

2.6.3. Determinación del estado de explotación

Con el fin de evaluar el estado de explotación del stock de centolla en la X Región, se emplearon los siguientes criterios:

- 1) **Análisis de mortalidades por pesca:** en este sentido, se evalúa la posición de la mortalidad por pesca de los grupos de tallas completamente reclutados a la pesquería (F_{cr}) en relación con las mortalidades por pesca biológicas derivadas del análisis de rendimiento equilibrado, empleando los siguientes criterios:
 - a) si $F_{cr} > F_{m\acute{a}x}$, entonces el stock se encuentra en sobrepesca por crecimiento.
 - b) si $F_{0.1} < F_{cr} < F_{m\acute{a}x}$, entonces el stock se encuentra en plena explotación.
 - c) si $F_{cr} < F_{0.1}$, entonces el stock se encuentra sub-explotado y permite un mayor nivel de extracción.

- 2) **Análisis de la talla de primera captura:** en este sentido se evaluó la eficiencia de la pesquería en relación con el crecimiento somático del recurso, determinándose para dicho efecto la talla crítica (L^*), donde la razón de cambio de la biomasa afectada a pérdidas sólo

por causas naturales en relación con la talla se hace cero:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{d\left(N_0 * e^{Mt} * W_\infty * \left(1 - e^{k*(t-t_0)}\right)^b\right)}{dt} = 0 \quad (37)$$

lo que conduce a la expresión de edad crítica como:

$$t_{crit} = t_0 - \frac{1}{k} * \ln\left(\frac{M}{M + bk}\right) \quad (38)$$

y a la talla crítica de la forma:

$$L_{crit} = \frac{bkL_\infty}{M + bk} \quad (39)$$

No obstante que la legislación vigente prohíbe la extracción de individuos menores a 100 mm de longitud cefalotoráxia, la talla de primera captura fue calculada partir de la composición de tallas del desembarque por medio de la expresión:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^{\lambda} C(L_i) * L_i}{\sum_{i=1}^{\lambda} C(L_i)} \quad (40)$$

la cual da cuenta del 50% de la frecuencia de tallas acumulada.

De esta manera, si $\bar{L} < L^*$ se podrá inferir que la explotación del recurso es ineficiente, por cuanto se desaprovecha el crecimiento somático natural de la centolla en la X Región, situación que de ser muy aguda, deberá reflejarse en el análisis de rendimiento equilibrado a través de una condición de sobrepesca por crecimiento.

2.7. *Análisis de incertidumbre de los parámetros poblacionales y su impacto en los estimados de biomasa y CBA*

Con el fin de medir el impacto en los tamaños poblacionales y las Capturas Biológicas Adecuadas (CBA) derivadas del modelo de evaluación, se realizó un análisis de sensibilidad de dicho modelo ante variaciones de los parámetros biológicos asociados a la función de crecimiento (L_{∞} y K), los de la relación talla-peso (a y b) y la mortalidad natural, a través de una simulación tipo “Montecarlo” sobre la base de 10.000 repeticiones del proceso.

El procedimiento utilizado contempla lo siguiente:

- ☞ Una vez determinado los valores y los respectivos errores estándares de los parámetros de la relación longitud-peso, se asume que cada valor puede ser representado por una función de probabilidad normal acotada entre los límites de confianza al 95%, con media \bar{x} y error estándar s conocidos (ANEXO I).
- ☞ Del mismo modo, los parámetros de crecimiento, L_{∞} y K ; derivados del modelo “Análisis de Cohortes a la Talla” y sus desviaciones, se suponen normalmente distribuidos con media \bar{x} y error estándar s conocidos.
- ☞ Finalmente, la mortalidad natural M se estimó como el promedio aritmético entre la estimación de los modelos bioanalógicos de Alagaraja y de Beverton & Holt. El valor promedio de M , por lo tanto varió en cada repetición, dependiendo principalmente del parámetro de crecimiento L_{∞} que se emplea en estimar t_m , edad de máxima permanencia en la pesquería.

3. Resultados

En este capítulo, la entrega de los resultados se realiza desde la perspectiva del requerimiento de información para el modelo de evaluación; razón por la cual se presentan los valores de mortalidad natural, posteriormente los resultados propios de la evaluación indirecta, continuando con el estado de explotación, y finalizando con el análisis de incertidumbre.

3.1. Determinación de la Mortalidad Natural

Los valores de mortalidad natural estimados por los procedimientos descritos en el punto 2.1., son resumidos en la Tabla I. En ésta sobresale, que para una longevidad media de 14,4 años, estimada a un 95% de la longitud asintótica derivada del modelo ACT ($L_{\infty}=147,89$ mm), los modelos bioanalógicos presentaron valores de M entre 0,21 (Taylor) y 0,56 (Alverson y Carney), en tanto que los valores de mortalidad natural obtenidos a través de los modelos talla-estructurados ajustado para hembras, oscilaron entre 0,84 (van Zalingue) y 1,88 (Curva de captura linealizada).

Tabla I

Determinación de mortalidad natural de centolla en la X Región.

Tipo de modelo	Modelo empleado	M	M/K
Analítico	Captura linealizada	1,876	8,903
Analítico	Jones y Van Zalinge	0,839	3,983
Bio-analógico	Alverson y Carney	0,556	2,639
Bio-analógico	Taylor	0,208	0,986
Bio-analógico	Beverton y Holt	0,347	1,646
Bio-analógico	Alagaraja	0,329	1,561
	Promedio ($1,5 < M/K < 2,5$)	0,338	

De lo anterior se destaca, que los modelos analíticos talla-estructurados de Jones y van Zalinge (1981), y de linealización de la curva de captura estructurada a la talla, aplicados a las composiciones de tallas de las hembras, presentaron buenos ajustes en el segmento de los grupos de tallas completamente reclutados (Figuras 3 y 4). Sin embargo, la aproximación $M \approx Z$ según los procedimientos antes informados, presentaron valores de M/K exageradamente altos respecto del máximo valor biológico planteado por Beverton y Holt ($M/K=2,5$).

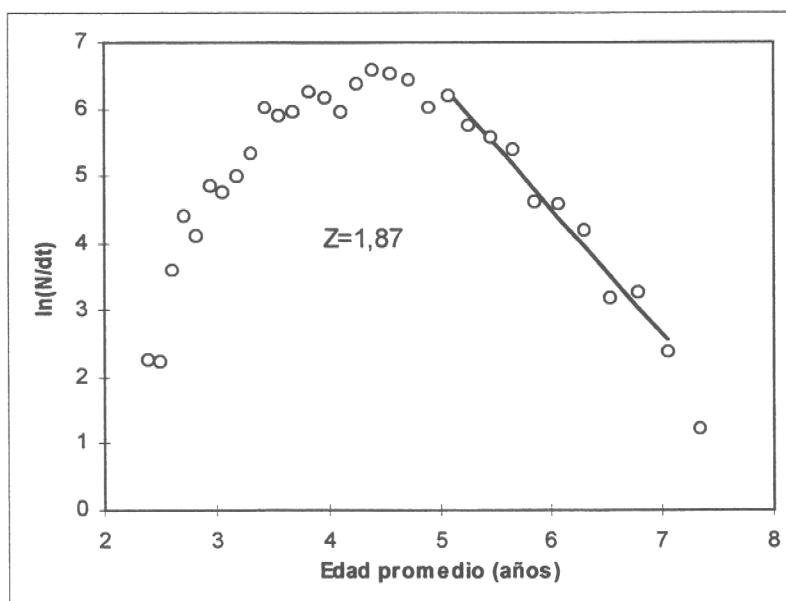


Figura 3. Determinación de la mortalidad de centolla en la X Región, a través de la linealización de la curva de captura de hembras.

Por su parte, de la aplicación de los modelos bioanalógicos a los parámetros poblacionales de centolla, se destaca que para una longevidad media de 14,4 años, los resultados de M obtenidos por estos procedimientos, indican valores significativamente más bajos que los respectivos estimados a través de modelos analíticos (Tabla I). De estos resultados se observa que los únicos razonables en términos biológicos son los obtenidos por los modelos de Alagaraja y Beverton & Holt, y de cuocientes M/K concordantes al dominio biológico-factible propuesto por Beverton & Holt (1959) 1,5 a 2,5.

A la luz de tales resultados, y considerando las restricciones biológicas antes señaladas, se determinó como valor más probable de M , el promedio de los dos modelos bioanalógicos antes destacados y estimado en $M=0,338$.

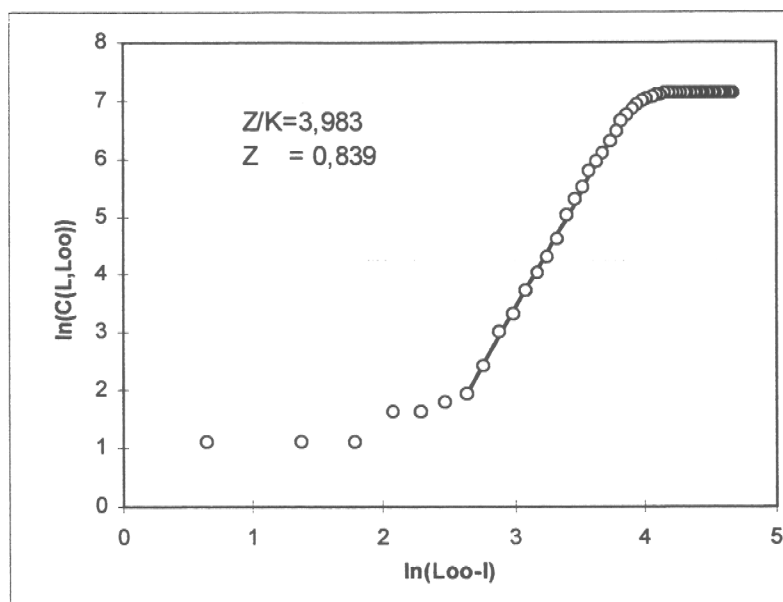


Figura 4. Determinación de la mortalidad de centolla en la X Región, a través del modelo de van Zalinge aplicado a la frecuencia de tallas de hembras.

3.2. Evaluación Indirecta del Stock de Centolla de la X Región

Considerando lo informado en el punto previo, se aplicó el modelo ACT a la estructura de tallas de los desembarques del período julio-noviembre de 1994 y marzo-abril de 1995. Los parámetros que determinaron el crecimiento del recurso (L_{oo} y K) y el vector de mortalidades por pesca a la talla (a , b , c y F_{cr}) y sus correspondientes errores estándar son presentados en la Tabla II.

Tabla II

Parámetros de crecimiento, patrón de explotación y mortalidad por pesca de los grupos completamente reclutados a la pesquería de Centolla en la X Región

	Crecimiento		Patrón de explotación y mortalidad por			
	Loo	K	a	b	c	Fcr
Parámetro	147,899	0,211	105,333	0,212	1,346	0,579
Error st.	31,054	0,412	28,990	0,961	0,938	1,488

Se observa, que el valor de la mortalidad por pesca de los grupos completamente reclutados a la pesquería de centolla en la X Región, alcanzó en el período 1994-1995 un valor de 0,579 anual, valor que se logra cuando el patrón de explotación llega a un 100%. En efecto, de la Figura 5, se observa que el vector de selectividad talla-específico alcanza su máxima pendiente en el rango de 97 y 103 mm de longitud cefalotorácica, y que sobre estas tallas, el valor de la selectividad alcanza el 100%. De igual manera, se destaca que la talla al 50% de retención se alcanza en torno a los 100 mm, lo que revela un comportamiento abrupto del patrón de explotación, particularmente en torno a la vecindad acotada por el rango donde la pendiente alcanza su máxima expresión.

Esta situación indica que los efectivos evaluados correspondan, de manera significativa, a la biomasa media legal explotable, por lo que no es de extrañar, que la biomasa media legal explotada, estimada como la suma de las biomásas a la talla por sobre los 100 mm de cefalotórax, no difiera significativamente de la biomasa media total estimada por el modelo ACT.

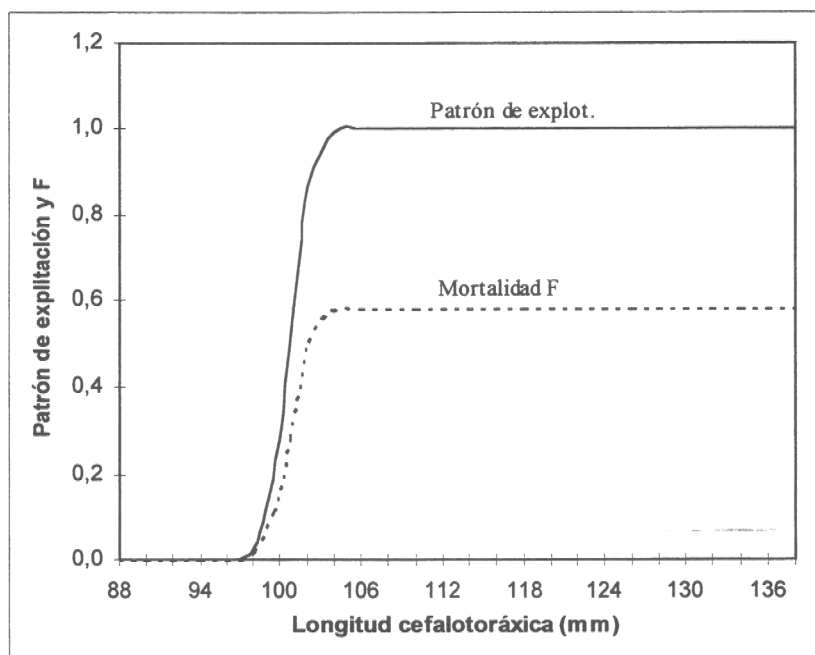


Figura 5. Patrón de explotación y mortalidad por pesca a la talla, centolla X Región.

Sobre este particular, la Figura 6 muestra que las capturas a la talla predichas por el modelo se ajustan favorablemente entre los 93 y los 111 mm de cefalotórax, y que sobre éstas, el modelo tiende a subestimar levemente los efectivos removidos por la pesca. Sin embargo y pese a lo anterior, en términos globales el modelo ACT predijo adecuadamente la frecuencia de tallas observadas, con lo cual se prevé que los estimados de biomasa medias explotables podrán reflejar de buena forma, la situación poblacional del stock de centolla explotado en la X Región. Asimismo, en el ANEXO II, se resume ilustrativamente el algoritmo de solución ACT empleado en la evaluación del presente recurso.

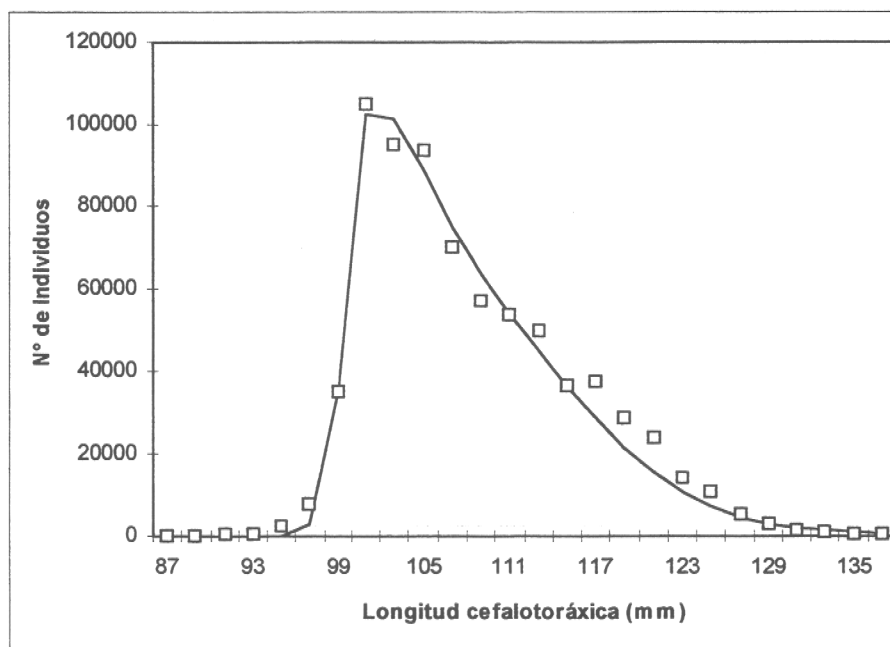


Figura 6. Frecuencia de tallas del desembarque observada y predicha por el modelo ACT, centolla X Región.

Dichas estimaciones son proporcionadas en la Tabla III, en la cual se informa el nivel de desembarque promedio registrado, biomasa y abundancias medias totales y explotables que sustentaron estos desembarques. En tal sentido, la biomasa media total habría alcanzado entre 1994 y 1995 un total de 1,6 mil toneladas, de las cuales, 908 toneladas se encontrarían constituidas por ejemplares sobre la talla mínima legal de extracción. (100 mm). Estos niveles de biomasa se traducen en un efectivo poblacional de machos equivalente a los 2,9 millones de individuos totales, de los cuales 1,2 millones de individuos se encontrarían en condiciones legales de ser explotados.

Tabla III

Biomasa medias totales, explotables y desembarque promedio de centolla en los años 1994 y 1995, X Región.

Totales				Explotables (L>100 mm)			
Biomasa (t)	Abund. (nº)	Desemb. (t)	Desemb. (nº)	Biomasa (t)	Abund. (nº)	Desemb. (t)	Desemb. (nº)
1.687	2.926.670	547	733.139	902	1.200.252	522	687.033

Por otro lado, se destaca que durante este período de tiempo, las tasas de mortalidad por pesca global ponderadas por el número de individuos capturados y el desembarque en peso, alcanzaron valores de 0,25 y 0,32 respectivamente, lo que habría provocado tasas de explotación equivalentes a un 19% de la abundancia numérica y 24% de la biomasa media total (Tabla IV).

Tabla IV

Mortalidades por pesca globales y tasas de explotación en número y peso, centolla X Región.

Totales				Explotables (L>100 mm)			
Mortalidad Fy	Mortalidad Fn	Tasa de explot u(y)	Tasa de explot u(n)	Mortalidad Fy	Mortalidad Fn	Tasa de explot u(y)	Tasa de explot u(n)
0,324	0,251	23,8%	19,0%	0,578	0,572	38,0%	37,7%

En términos globales, las mortalidades por pesca ponderadas por el número de individuos capturados y el desembarque en peso alcanzaron valores significativamente más altos que los totales antes informados, los que consecuentemente se tradujeron en tasas de explotación que llegaron a un 38% de la biomasa y un 37% de la abundancia explotable.

3.3. *Estado de explotación de centolla en la X Región.*

3.1. *Puntos biológicos de referencia.*

La determinación del estado de explotación de centolla en la X Región, realizado en base al análisis de las mortalidades por pesca referenciales derivadas del modelo de rendimiento equilibrado de Thompson y Bell (1934), indica que durante el período analizado, la mortalidad por pesca $F_{cr} = 0,579$ derivado del modelo ACT, resultó inferior al valor recomendado $F_{0,1}$ estimado en 0,775, y superior a un nivel de mortalidad que permite dejar por remanente, los 2/3 de la biomasa inicial ($F_{2/3}=0,35$) (Tabla V, Figura 7).

Tabla V

Mortalidades por pesca de referencia y capturas biológicas adecuadas (CBA),
centolla X Región.

Mortalidad por pesca	F _{cr}	F _{0.1}	F _{2/3}	F _{máx}
Valor F	0.579	0.775	0.350	1.690
Valor CBA (t)	670.1	734.9	527.2	798.5

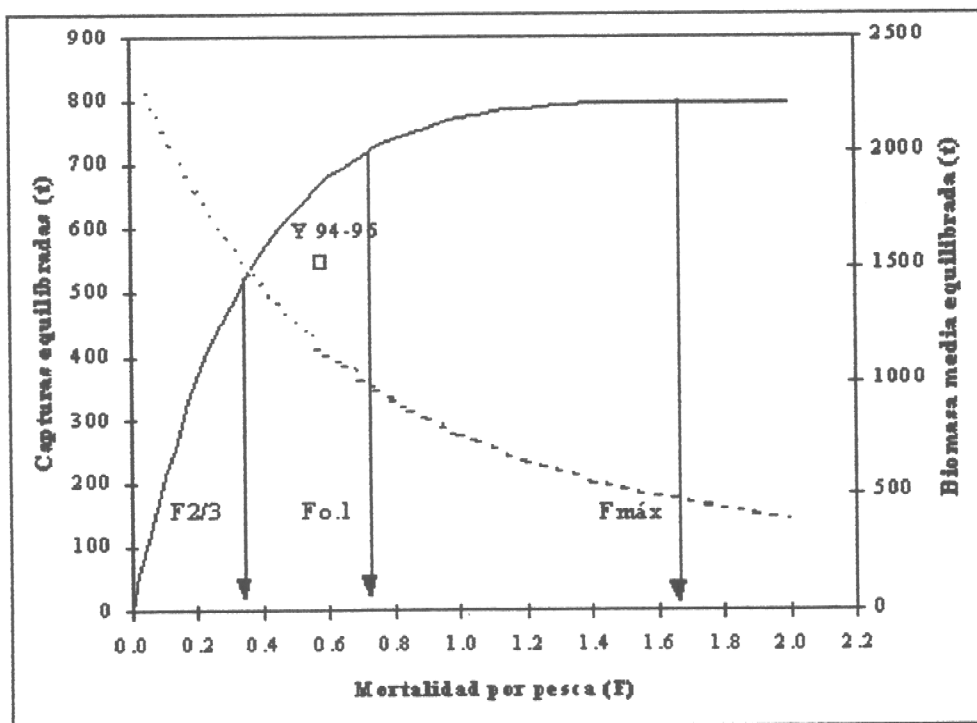


Figura 7. Capturas y biomasa media equilibrada de largo plazo, centolla X Región.

3.3.2. Talla crítica y de primera captura

El valor de la talla crítica estimada para este recurso resultó igual a 98,83 mm de cefalotórax, punto en el cual una biomasa inexplorada alcanza su máximo (Figura 8) y donde la derivada de la biomasa respecto a la longitud se hace cero (Figura 9). De igual forma, la talla de primera captura, entendida como aquella talla que da cuenta del 50% de la frecuencia acumulada de tallas del desembarque, fue estimada en 108,43 mm de cefalotórax y superior en un 9,7% respecto de la talla crítica (Tabla VI).

Tabla VI

Talla crítica y de primera captura, centolla X Región

Talla de primera captura (mm)	Talla crítica (mm)	Diferencia porcentual
108,43	98,83	9,7%

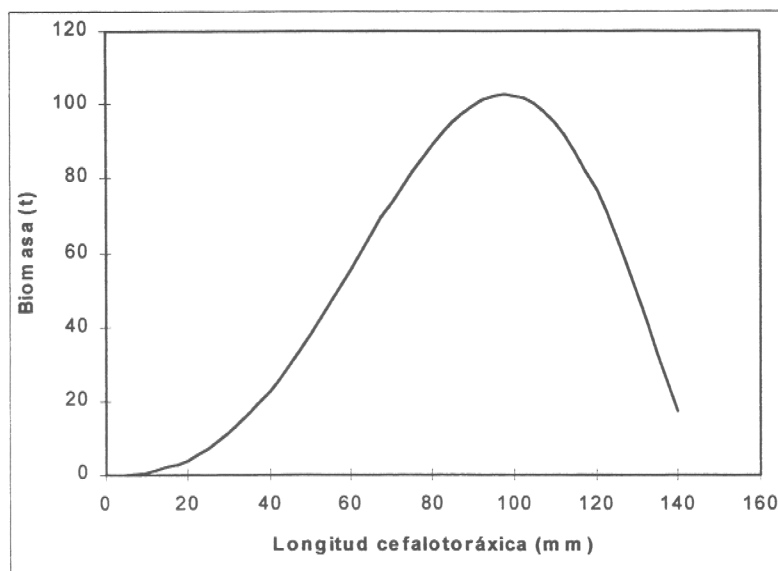


Figura 8. Biomasa inexplorada ($Z=M$) respecto de la longitud cefalotorácica, centolla X Región.

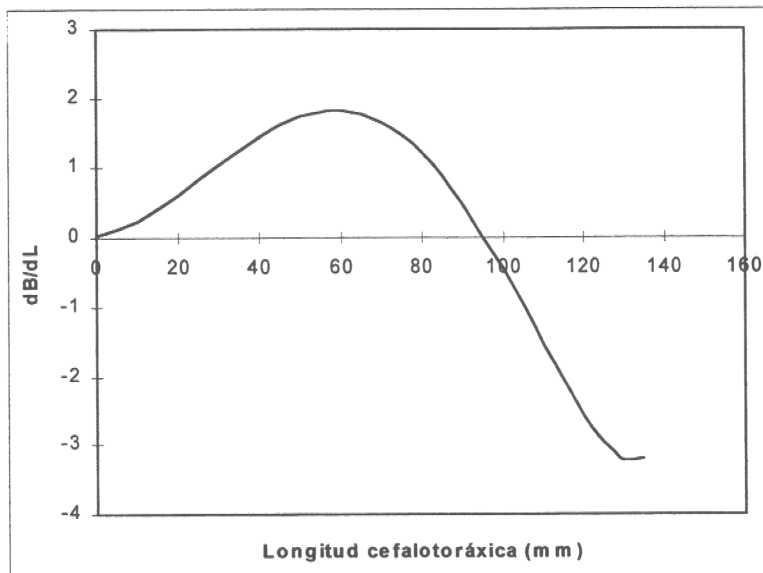


Figura 9. Derivada de la biomasa inexplorada ($Z=M$) respecto a la longitud cefalotorácica, centolla X Región.

3.4. *Incertidumbre de los tamaños poblacionales, rendimientos de equilibrio de largo plazo (CBA) y la talla crítica.*

Con el fin de evaluar la incertidumbre asociada a los parámetros biológicos del recurso, y sus efectos en los estimados de biomasa, abundancia, Capturas Biológicas Recomendables (CBA) y talla crítica, se realizó un análisis de incertidumbre basado en una simulación tipo "Montecarlo" sobre 10.000 replicas, en cada una de las cuales se incorporó el error estándar asociado a los parámetros de crecimiento, los de la relación talla peso (Anexo I) y la mortalidad natural.

Las distribuciones de probabilidad resultante de la mortalidad natural y los reclutamientos son presentadas en las Figuras 10 y 11, destacándose de la primera de ellas, una clara distribución uniforme con valores extremos a un 95% de probabilidad estimados para M entre 0,33 y 0,34 anual, y para la segunda de estas figuras, una clara normalidad con valores de reclutamientos entre 1,38 y 2,25 millones de individuos.

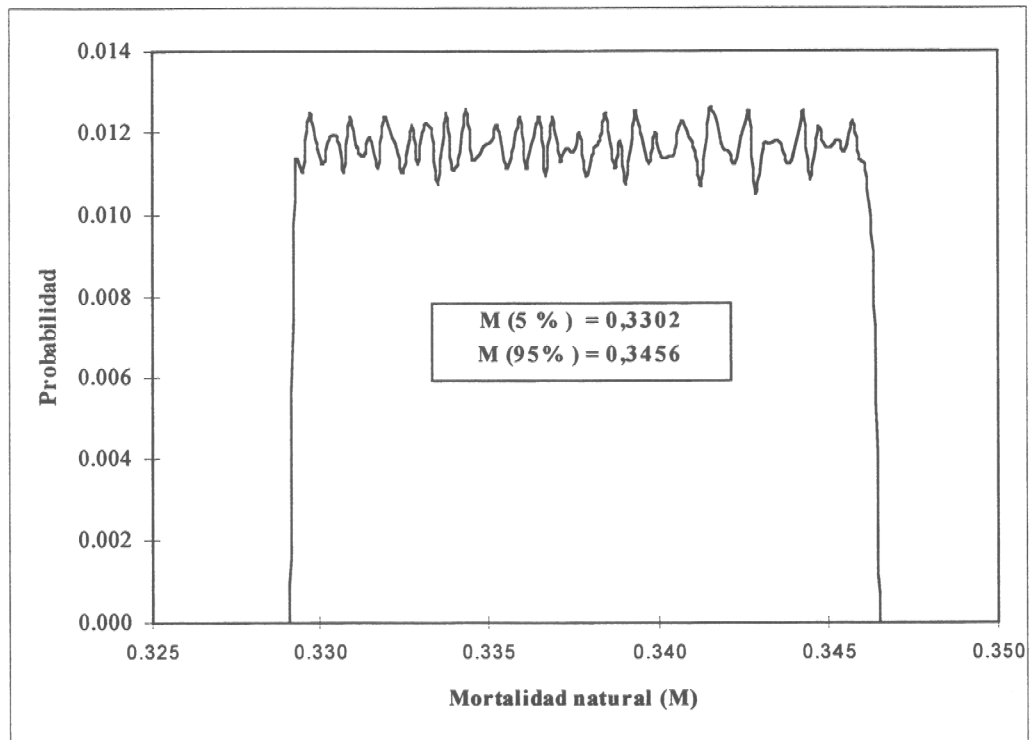


Figura 10. Distribución de probabilidad de la mortalidad natural de centolla en la X Región.

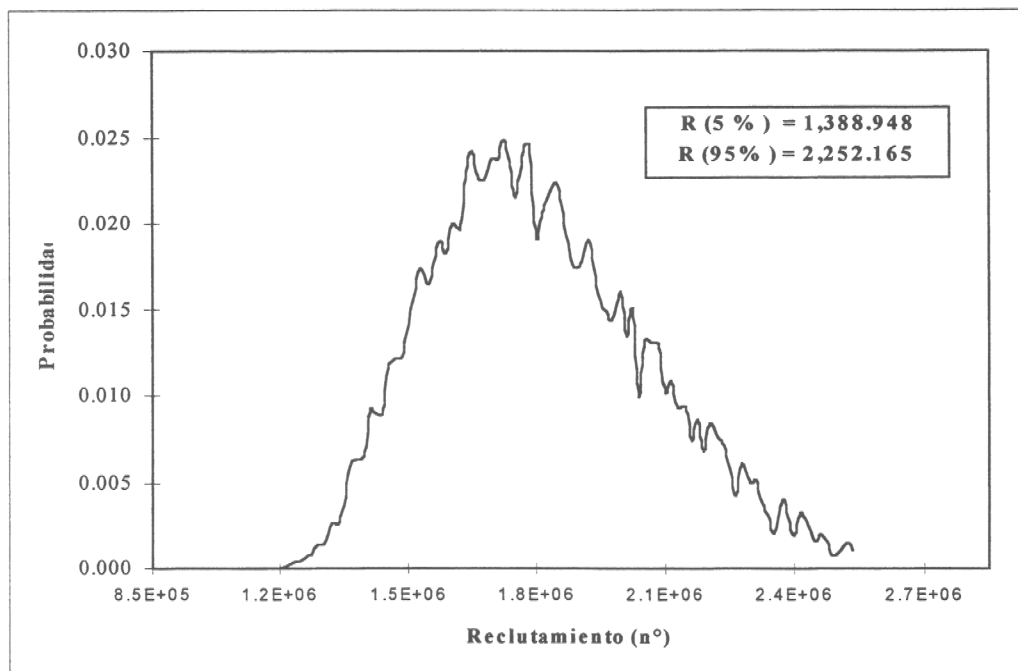


Figura 11. Distribución de probabilidad del reclutamiento de centolla en la X Región.

Por su parte, la distribución de probabilidad de la abundancia media, Figura 12, destaca por asimilarse con la distribución normal con sesgo positivo, con valores extremos de 2,33 y 3,99 millones de individuos. De igual forma, la biomasa media, Figura 13, se diferencia de las distribuciones antes presentadas ya que ésta tiende a un comportamiento asimilable a una distribución Delta con rangos de 1,47 y 2,13 mil toneladas.

En relación a la distribución de probabilidad del rendimiento equilibrado recomendado $F_{0,1}$, señala que valores de CBA se hallan distribuidos normalmente en el rango de 596 a 972 toneladas (Figura 14).

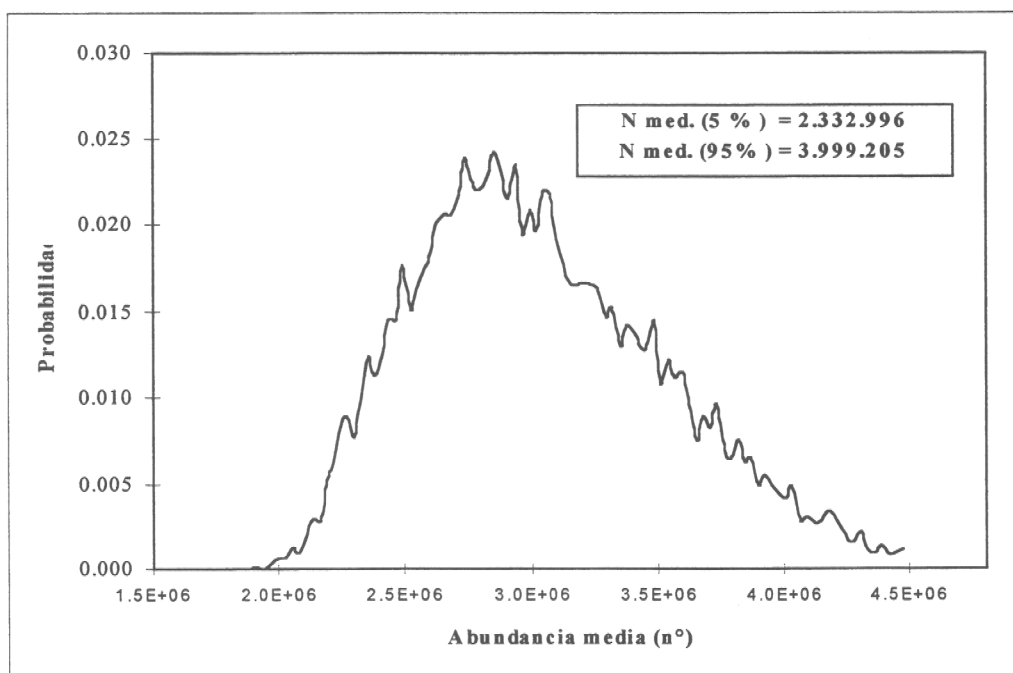


Figura 12. Distribución de probabilidad de la abundancia total de centolla en la X Región.

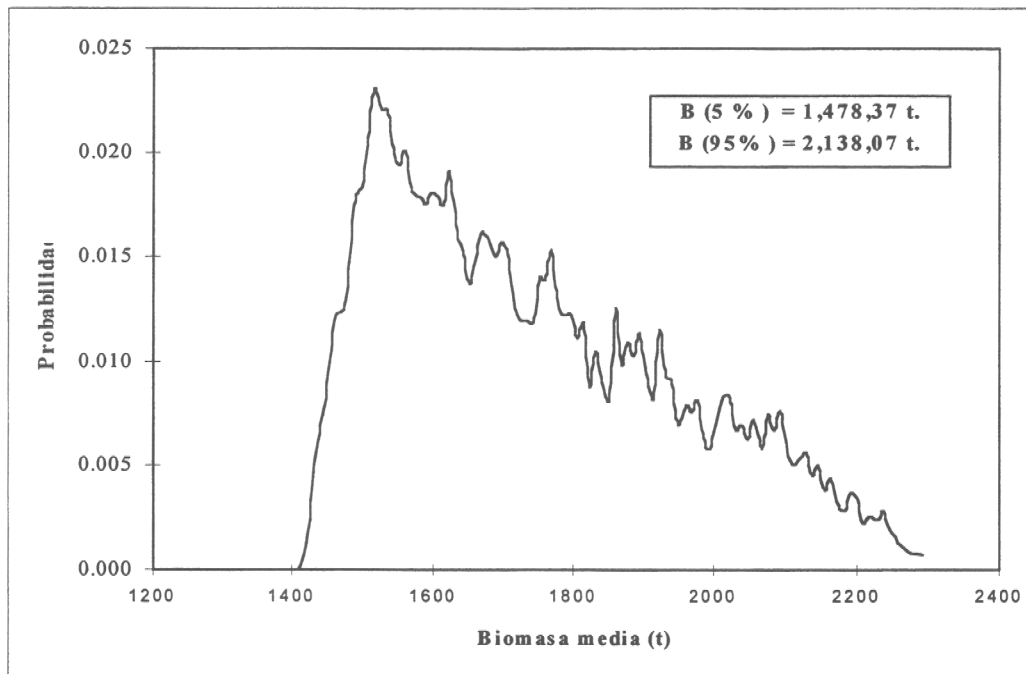


Figura 13. Distribución de probabilidad de la biomasa total de centolla en la X Región.

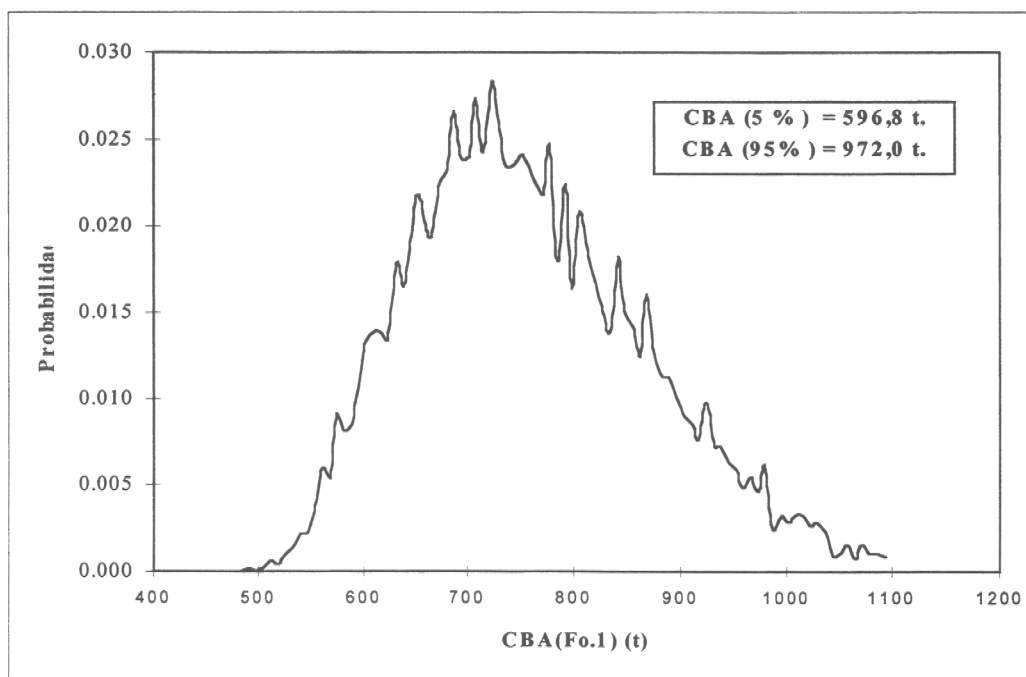


Figura 14. Distribución de probabilidad del rendimiento equilibrado (CBA) para una estrategia de explotación $F_{0.1}$, centolla X Región.

Finalmente y en relación con la determinación de la distribución de probabilidades de la talla crítica, se debe destacar que las fuentes de incertidumbre empleadas correspondieron a la mortalidad natural y los parámetros de la relación peso-talla. En este contexto, se desestimó el empleo del error asociado a los parámetros de crecimiento, por cuanto para ello es necesario conocer el grado de correlación que existe entre estos factores, aspecto que sólo podrá ser resultado en base con datos que sustenten la relación edad-talla.

No obstante lo anterior, y con el fin de proveer una banda de confianza de la talla que maximice el rendimiento en peso del recurso, se determinó la distribución de probabilidades a través de simulación "Montecarlo", Figura 15. De ésta se destaca un significativo comportamiento normal, con límites de confianza al 5% estimados en 94,23 y 104,36 mm de cefalotórax.

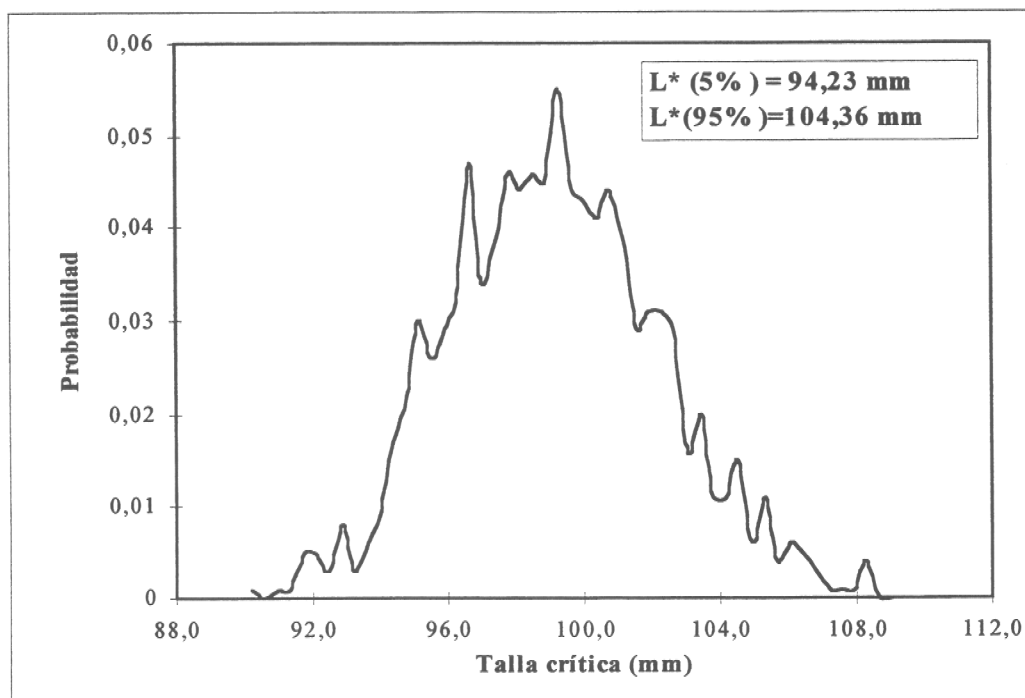


Figura 15. Distribución de probabilidad de la talla crítica de centolla en la X Región.

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Análisis de los parámetros poblacionales.

Se debe recordar, que una de las fuentes de entrada al modelo “Análisis de Cohortes a la Talla” (ACT), la constituían inicialmente los parámetros de la función de crecimiento, valores que recientemente fueron determinados por Peñailillo y Báez (1992; cit. por Peñailillo *et. al*, 1995) y corresponden a los estimados de: $L_{\infty} = 187,75$ (mm); $K=0,20$ (1/años); $t_0=0,1954$ (años). Sin embargo, y con el fin de validar dichos estimados en relación con las actuales condiciones biológicas de la pesquería, se realizó una primera prueba tentativa, que consideró la estimación de M , la aplicación del ACT y la determinación de la talla crítica.

Si bien estos análisis no son informados, los resultados obtenidos en dicho análisis dieron cuenta de las siguientes situaciones:

- ⇒ valores de M en el orden de 0,6 anual, que hacen inviable la posibilidad que un individuo llegue a una edad máxima teórica de 14 años, según lo informado por Peñailillo *et al* (1995),
- ⇒ estimaciones de biomasa total obtenidas del ACT cercanas a las 700 toneladas, magnitud que hace imposible sustentar en el largo plazo, niveles como los desembarcados actualmente (app. 500 toneladas),
- ⇒ un valor de talla asintótica que supera en más de un 35% la máxima longitud observada ($L=137$ mm),
- ⇒ para valores de M cercanos a la relación biológica sugerida $M/K=1,5$, se obtuvieron tallas críticas en torno a los 120 mm de cefalotórax, lo que hace inviable el desarrollo de esta pesquería.

Considerando estas observaciones, y ante la aparente inconsistencia de los parámetros de crecimiento informados por Peñailillo *et al* (1993), se resolvió emplear como mejor aproximación, los derivados del modelo ACT.

4.2. Valores de Mortalidad Natural

Los valores de mortalidad natural que se obtienen al emplear procedimientos analíticos talla-estructurados no resultan apropiados para el stock de centolla de la X Región, debido a que con tales estimaciones se vulneran aspectos biológicos-pesqueros del recurso; tales como por ejemplo, que la razón de M/K sobrepasa considerablemente el límite superior recomendado por Beverton & Holt ($M/K=2,5$). Tal fenómeno, se debe al empleo de la aproximación $M \approx Z$ en la composición de tallas de las hembras, situación que induce a pensar en una explotación ilegal de hembras, actualmente protegidas de toda explotación.

Los modelos bioanalógicos en cambio arrojaron resultados más coherentes, dentro de los cuales los modelos de Alagaraja y Beverton & Holt son los que en definitiva se utilizan para el cálculo final de la mortalidad, como un promedio aritmético entre ambos.

4.3. Evaluación Indirecta del Stock de Centolla de la X Región

Es importante destacar, que los parámetros de crecimiento obtenidos producto de la aplicación del modelo de evaluación estructurado a la talla (ATC) alcanzaron valores de $L_{\infty} = 147,9$ mm y un $K=0,211$ (1/año). Éstos al ser analizados en relación con los informados por Peñailillo y Baez (1992), corroboran lo planteado anteriormente, en el sentido que los valores obtenidos por dichos autores dan cuenta de una longitud asintótica probablemente sobrestimada para las condiciones estructurales actuales del stock.

De los niveles de remoción observados (tasas de explotación), se desprende que el stock ha sido sometido a una fuerte presión de pesca, lo cual y a falta de mayores antecedentes relativos al grado de renovación de la población, sugiere inicialmente una condición que debe ser atendida con cautela, más aún si se considera, que para especies de características biológicas similares, explotadas en otras latitudes, tasas de explotación superiores al 10% generan serias disminuciones de los efectivos poblacionales.

En efecto, se debe considerar que no necesariamente una determinada talla mínima de extracción o mortalidades por pesca inferiores a las recomendadas, aseguran que la población no sufrirá reducción por pesca. En este contexto, y para recursos de un alto valor agregado como es la centolla de la X Región, es posible que en el extremo, la explotación de los individuos de tallas comerciales llegue a tales niveles que consecuentemente el potencial reproductor presente un significativo detrimento, tendiendo positivamente hacia el fenómeno conocido como sobrepesca por reclutamiento, lo que conlleva finalmente al colapso de una pesquería.

Lamentablemente, esta situación podrá ser evaluada sólo en la medida que se conozca el grado de respuesta combinado entre reclutamiento, stock y mortalidad por pesca, resultados imposibles de precisar a la luz de estos resultados, pero válidos para ser tomados en cuenta a la hora de establecer medidas de conservación que tiendan a proteger una determinada fracción del stock (p. ej. CTP).

4.4. Estado de Explotación del stock de centolla de la X Región.

De los resultados informados en la Tabla V y Figuras 7 a 9, se desprende que dado los actuales niveles de mortalidad por pesca F_{cr} , los rendimientos de centolla podrían ser aumentados bajo una explotación equilibrada, a niveles que minimicen los efectos de sobrepesca por crecimiento en el largo plazo, y equivalentes a una estrategia de explotación de $F_{0,1}$ de 735 toneladas anuales. En este sentido, la curva de rendimiento y biomasa equilibrada que se presentara en la Figura 7, muestran que durante el período 1994-1995, los de-

sembarques de centolla se encontraban levemente por debajo del desembarque equilibrado de largo plazo, indicando con esto, que para las condiciones de explotación antes señaladas, el stock podría haber generado un desembarque de 670 toneladas. Sin embargo, en consideración a los antecedentes antes proporcionados, dicha situación deberá ser atendida con precaución, pues estos resultados sólo acusan que la explotación es eficiente desde la perspectiva del aprovechamiento del crecimiento somático del recurso, pero no necesariamente aseguran, que se deja en el medio un mínimo potencial reproductivo que permita establecer una adecuada renovabilidad del stock.

En efecto, si bien las actuales medidas de administración protegen de toda explotación a las hembras, y a los machos bajo los 100 mm de cefalotórax, no es menos cierto que es precisamente sobre esta talla donde los ejemplares han alcanzado la completa madurez sexual, fracción que tal como se mencionó anteriormente, se encuentra sometido a tasas de explotación en torno al 38% de la biomasa y abundancia comercial.

Asimismo, al analizar la talla crítica (98,83 mm) respecto a la talla promedio del desembarque, 108,43 mm de cefalotórax, se observa una diferencia del orden del 9% a favor del stock. Vale decir y tal como lo demostrado anteriormente, para lograr el óptimo aprovechamiento somático del stock, es permisible reducir levemente la talla promedio del desembarque sin mayor incidencia sobre la capacidad somática del recurso.

4.5. *Análisis de incertidumbre.*

Es interesante señalar que la forma de la distribución de probabilidad de la biomasa media (Figura 13), presenta un comportamiento asimilable a una distribución Delta. Esto obedece a consideraciones obvias dentro del modelamiento de sistemas biológicos; puesto que por naturaleza las variables poblacionales tienden a agruparse con mayor probabilidad dentro de los grupos más pequeños, y en menor grado, hacia las colas más extremas. En efecto, Sparre y Venema (1995) determinaron que el índice de abundancia relativa CPUE presenta una clara distribución Delta; razón por la cual, los estimados cen-

trales y límites de confianza deben ser abordados de acuerdo a los estimadores estadísticos que sean desarrollados para este tipo de distribuciones.

En este contexto, se desprende que el estimado puntual de biomasa derivado del modelo ACT (1.687 t) está en el rango de mayor probabilidad (1.478 - 2.138 toneladas), pero sesgado hacia la zona de mayor densidad, la cual se encuentra en entorno a las 1.500 toneladas y corresponde efectivamente a la moda de esta distribución. Lo anterior implica que una política de manejo adversa al riesgo podrá ser por ejemplo, considerar un estimado modal (1.500 t) por sobre un estimado mediano (1.687 t), situación que deberá incidir en la fijación de una CBA acotándola entre el 5% y 50% de la distribución de probabilidad asociada.

Por otra parte y en relación con la talla mínima legal de captura vigente (100 mm de cefalotórax), se debe indicar que esta medida cae dentro de la banda de confianza señalada en la figura 15, con lo cual se concluye que la actual talla mínima tiende al correcto aprovechamiento del crecimiento somático del recurso. Sin embargo y conforme a lo mencionado anteriormente, dicha talla de captura podría ser teóricamente reducida hasta los 95 mm de cefalotórax, siempre y cuando sea validada conforme se resuelva la problemática asociada al crecimiento de la centolla en la X Región. De lo contrario y dentro de un enfoque precautorio de manejo, se recomienda mantener la talla mínima y en caso de signos de sobrepesca por crecimiento, elevarla hasta los 105 mm de cefalotórax.

4.6. *Consideraciones finales*

En virtud de los resultados y análisis antes informados, se desprende en primer lugar, que aparentemente la problemática asociada a la determinación de la función de crecimiento de centolla en la X Región aún no está resuelta, aspecto que cobra mucha importancia para la realización de estudios tendientes a la determinación del estado de situación de este stock. En tal sentido, se recomienda realizar a la brevedad, un estudio que propenda al establecimiento de los parámetros biológicos de este recurso, y en particular, la determinación de los asociados a la función de crecimiento, así como la revalidación de la mortalidad natural y la talla crítica.

Finalmente y como consecuencia de lo anterior, los resultados obtenidos de la evaluación del stock de centolla en la X Región, deberán ser atendidos con cautela y bajo la restricción de que estos, probablemente, se encuentren perturbados por efectos del error que pudieran albergar los parámetros biológicos antes señalados.

5. Conclusiones

De los resultados obtenidos del proyecto “Evaluación Indirecta del Stock de Centolla en la X Región”, se desprenden las siguientes conclusiones.

- ⇒ Los actuales estudios de crecimiento de centolla en la X Región pueden ser considerados cuestionables, por cuanto éstos revelan situaciones inviables desde un punto de vista de máxima esperanza de vida del recurso.
- ⇒ Los parámetros de crecimiento estimados para centolla en la X Región en el presente estudio, equivalen a valores de $L_{\infty} = 147,8$ mm y $K=0,211$ (1/año), cifras que en relación con la talla asintótica, revelan fuertes discrepancias con los resultados de Peñailillo y Báez (1992).
- ⇒ Los valores de mortalidad natural estimados indican que para una longevidad media de 14,4 años, los modelos bioanalógicos presentaron valores de M entre 0,208 (Taylor) y 0,56 (Alverson y Carney). En tanto, los valores de mortalidad natural obtenidos a través de los modelos talla-estructurados ajustados para hembras, oscilaron entre 0,84 (van Zalingue) y 1,9 (Curva de captura linealizada).
- ⇒ Del análisis realizado para la determinación de la mortalidad natural de centolla en la X Región se desprende, que sólo los modelos bioanalógicos de Alagaraja y Beverton & Holt presentan cuocientes M/K biológico-factible. En este sentido, el valor final de mortalidad natural (M), se determina en $M = 0,338$.
- ⇒ El análisis regresional de las frecuencias de tallas de las capturas de hembras, indican que ante los altos valores de $Z \approx M$ obtenidos, no se estaría respetando la norma que protege a las hembras de toda explotación.

- ⇒ El valor de la mortalidad por pesca de los grupos completamente reclutados a la pesquería de centolla en la X Región alcanzó un valor de 0,579 anual.
- ⇒ La talla al 50% de retención se alcanza en torno a los 100 mm, lo que revela un fuerte comportamiento abrupto del patrón de explotación, particularmente en torno a la vecindad acotada por el rango de 97 y 103 mm de longitud cefalotorácica.
- ⇒ La biomasa media total de centolla estimada habría alcanzado entre 1994 y 1995 un total de 1.687 toneladas, de las cuales, 902 toneladas se encontrarían constituidas por ejemplares sobre la talla mínima legal de extracción. (100 mm).
- ⇒ Las tasas de mortalidad por pesca global ponderada por el número de individuos capturados y el desembarque en peso, alcanzaron entre 1994 y 1995 valores de 0,25 y 0,32 respectivamente, lo que habría provocado tasas de explotación equivalentes a un 19% de la abundancia numérica y 24,5% de la biomasa media total. Esto revela el alto grado de eficiencia que posee la flota hacia la extracción de los efectivos legalmente explotables.
- ⇒ El análisis de rendimiento equilibrado indica, que durante el período analizado, la mortalidad por pesca $F_{cr} = 0,58$ derivado del modelo ACT, se encuentra en el rango acotado por el valor de $F_{2/3}$ estimado en 0,35 y el valor de $F_{0,1}$ estimado en 0,775.
- ⇒ El análisis de los rendimientos equilibrados de largo plazo (CBA), sugieren que en la actualidad, los niveles desembarcados de centolla pueden ser aumentados a niveles de 735 toneladas anuales, esto siempre y cuando la explotación se realice en equilibrio.
- ⇒ La talla crítica de centolla se determinó igual a 98,83 mm de cefalotórax.
- ⇒ El estado de situación de centolla en la X Región indica que el stock está siendo explotado eficientemente en términos de aprovechar la capacidad de crecimiento so-

mático del recurso, pero a elevados grados de remoción de los efectivos explotables, que pueden provocar en el mediano plazo, una sobreexplotación por reclutamiento.

⇒ Finalmente, se recomienda propiciar estudios que permitan revalidar los parámetros de crecimiento de centolla en la X Región.

6. Referencias Bibliográficas

Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.*, 31: 177-208.

Alverson, D. y M. Carney. 1975. A graphic review of growth and decay of population cohort. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 36: 133-143.

Beverton, R.J. y S.J. Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 140: 67-83.

Beverton, R.J. y S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish population. *Min. Agr. Fish and Food (UK), Fish. Investig. Ser. II*: 553 pp.

Canales, C. 1994. Evaluación del stock y estimación de una captura total permisible para el recurso langostino amarillo (*Cervimunida johni*) en la III y IV Regiones. Informe Técnico, Subsecretaría de Pesca: 22 pp.

Cushing, D.H. 1971. The dependence of recruitment on parent stock in different groups of fishes. *J. Cons. int. Explor., Mer*, 33: 340-362.

Fournier, D. y I. Doonan. 1987. A length based stock assessment method utilizing a generalized delay-difference model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44:

Gayanilo, Jf., F.C., M. Soriano y D. Pauly 1995. The FAO ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries), N° 8, Rome, 186 pp.

Han-Lin-Lay and B. Amjoun. 1993. User's guide to CASA Catch-at-Size Analysis, versión 1.1., for the Microcomputer. Working Paper N° 102: Fisheries Stock Assessment CRSP Title XII. University of Washington.

Hilborn, R. and C.J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall (Eds.), New York, 570 pp.

Jones, R. 1984. Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis). FAO Fish. Tech. Pap., (256): 118 pp.

Jones, R. and N.P. Van Zalinge, 1981. Estimates of mortality rate and population size for shrimp in Kuwait water. Kuwait Bull. Mar. Sci., 2:273-288

Laurec, A. y J.C. Le Guen. 1981. Dynamique des populations marines exploitées. CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques N° 45: 117 pp.

Mac Call, A.D. 1986. Virtual population analysis (VPA) equations for non homogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43: 2406-2409.

Megrey, B. A., 1989. Review and Comparison of Age-Structured Stock Assessment Models from Theoretical and Applied Points of View. American Fisheries Society Symposium, 6: 8-48.

Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. CIEM, 39 (2): 175-192.

Pella, J. and P. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3): 419-496.

Peñailillo T., S Palma, M., H. Miranda, A. Muñoz y M. Rojas, 1995. Monitoreo de la pesquería del recurso centolla en la X Región, 1994. Proyecto FIP N ° 93/12. Informe Final IFOP : 84 pp + anexos.

Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. ICNAF, (9): 65-74.

Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd. Can., 11(5): 559-623.

Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fis. Res. Board Canada, Bull. 191, 382 pp.

Rivard, D. 1982. APL programs for stock assessment. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, N° 1.091.

SERNAPESCA, 1978-95. Anuarios estadísticos de pesca. Servicio Nacional de Pesca (SERNAP), Chile.

Sparre, P. y S. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Doc. Téc. de Pesca, 306(1), Rev.1: 440 pp.

Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. J. Cons. Int. Explor. Mer., 23 (3): 366-370.

Thompson, W.F. y F.H. Bell. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery. 2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut) Comm., (8): 49 pp.

Yáñez E., L Pizarro, M. A. Barbieri y O. Barra, 1985. Dinámica del stock de langosta (*Ja-sus frontalis*) explotado en le archipiélago de Juan Fernández. In: Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 251-271.

Zuleta A. y C. Moreno, 1993. Investigación Modelo y Manejo Pesquería Recurso Loco (Fase II), Informe Final Proyecto BIP 20-052-259, Universidad Austral de Chile, 1993: 41 pp.

ANEXO I: Ajuste Relación Longitud-Peso

El procedimiento de ajuste empleado fue el de Levenberg-Marquardt, considerando un error tipo gaussiano, con datos correspondientes a muestreos de las capturas entre los meses de julio a noviembre de 1994 y marzo y abril de 1995. Los resultados de tal procedimiento son resumidos en las siguientes tablas.

Tabla A
Estadísticos generales

r^2	Error st.	F
0,833	71,789	28861,9

Tabla B
Parámetros estimados

Parámetro	Valor	Error st.	Limites al 95%	
a	0,000273475	2,2721E-05	0,0002294	0,00031755
b	3,152	0,0176	3,118	3,186

Tabla C
Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Regresión	148747540	1	148747540	28861,9
Error	29866048	5795	5153,7615	
Total	178613580	5796		

ANEXO II: Salida del algoritmo de solución ACT.

Talla	Talla med.	W(gr)	dt (años)	C(n°)	Selectiv.	Mort F	Mort Z	N	NM(n°)	BM(t)
87	88	369.23	0.158511	183	0.0000	0.0000	0.3300	1,683,185	260,484	96
89	90	396.36	0.163987	114	0.0000	0.0000	0.3300	1,597,225	255,300	101
91	92	424.81	0.169856	326	0.0000	0.0000	0.3300	1,512,976	250,876	107
93	94	454.63	0.176160	632	0.0001	0.0001	0.3301	1,430,187	246,580	112
95	96	485.85	0.182950	2,235	0.0014	0.0008	0.3308	1,348,802	245,409	119
97	98	518.50	0.190285	7,648	0.0229	0.0133	0.3433	1,267,611	246,350	128
99	100	552.62	0.198232	34,969	0.2782	0.1612	0.4912	1,183,050	221,419	122
101	102	588.24	0.206873	105,079	0.8661	0.5017	0.8317	1,074,298	207,319	122
103	104	625.40	0.216301	95,310	0.9910	0.5740	0.9040	901,873	170,434	107
105	106	664.13	0.226630	93,890	0.9995	0.5789	0.9089	747,792	158,767	105
107	108	704.47	0.237994	70,159	1.0000	0.5792	0.9092	603,484	124,309	88
109	110	746.45	0.250559	57,015	1.0000	0.5792	0.9092	490,460	102,958	77
111	112	790.11	0.264525	53,421	1.0000	0.5792	0.9092	396,848	92,711	73
113	114	835.48	0.280141	49,654	1.0000	0.5792	0.9092	312,551	82,480	69
115	116	882.60	0.297716	36,387	1.0000	0.5792	0.9092	237,568	62,535	55
117	118	931.50	0.317645	37,395	1.0000	0.5792	0.9092	180,700	58,788	55
119	120	982.22	0.340435	28,490	1.0000	0.5792	0.9092	127,248	44,479	44
121	122	1034.79	0.366749	23,675	1.0000	0.5792	0.9092	86,806	35,378	37
123	124	1089.26	0.397475	13,998	1.0000	0.5792	0.9092	54,640	21,795	24
125	126	1145.65	0.433823	10,574	1.0000	0.5792	0.9092	34,823	15,926	18
127	128	1204.00	0.477495	5,322	1.0000	0.5792	0.9092	20,343	8,666	10
129	130	1264.35	0.530955	2,962	1.0000	0.5792	0.9092	12,464	5,184	7
131	132	1326.74	0.597911	1,399	1.0000	0.5792	0.9092	7,751	2,919	4
133	134	1391.19	0.684225	1,095	1.0000	0.5792	0.9092	5,097	2,206	3
135	136	1457.76	0.799733	481	1.0000	0.5792	0.9092	3,091	1,251	2
137	138	1526.46	0.962322	726	1.0000	0.5792	0.9092	1,953	2,148	3
Totales				733,139					2,926,670	1,687