

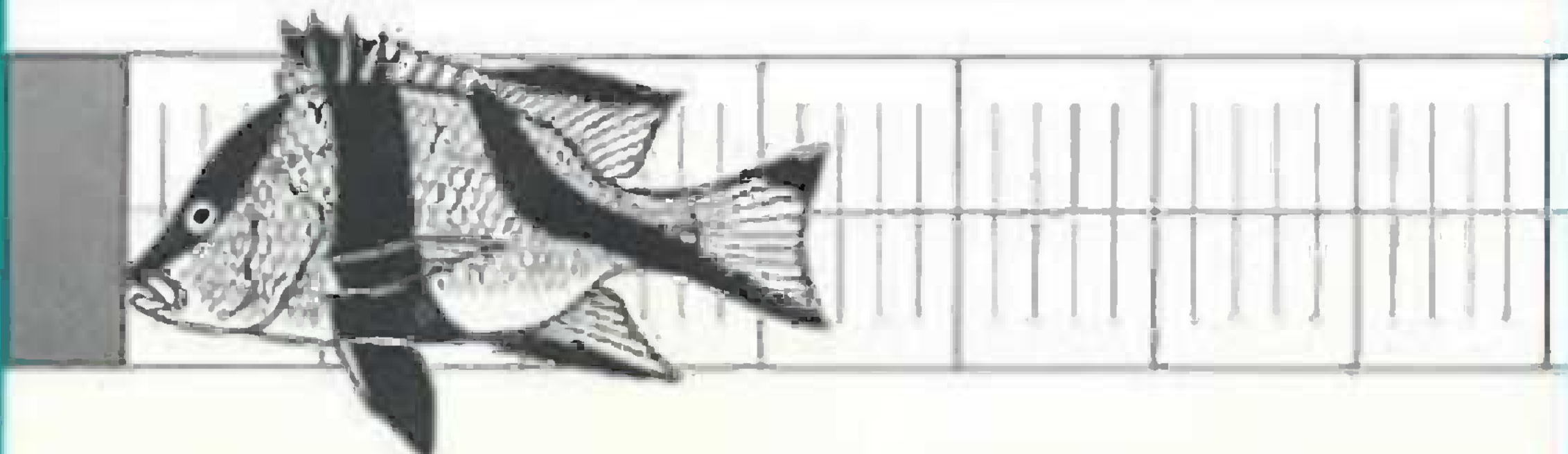
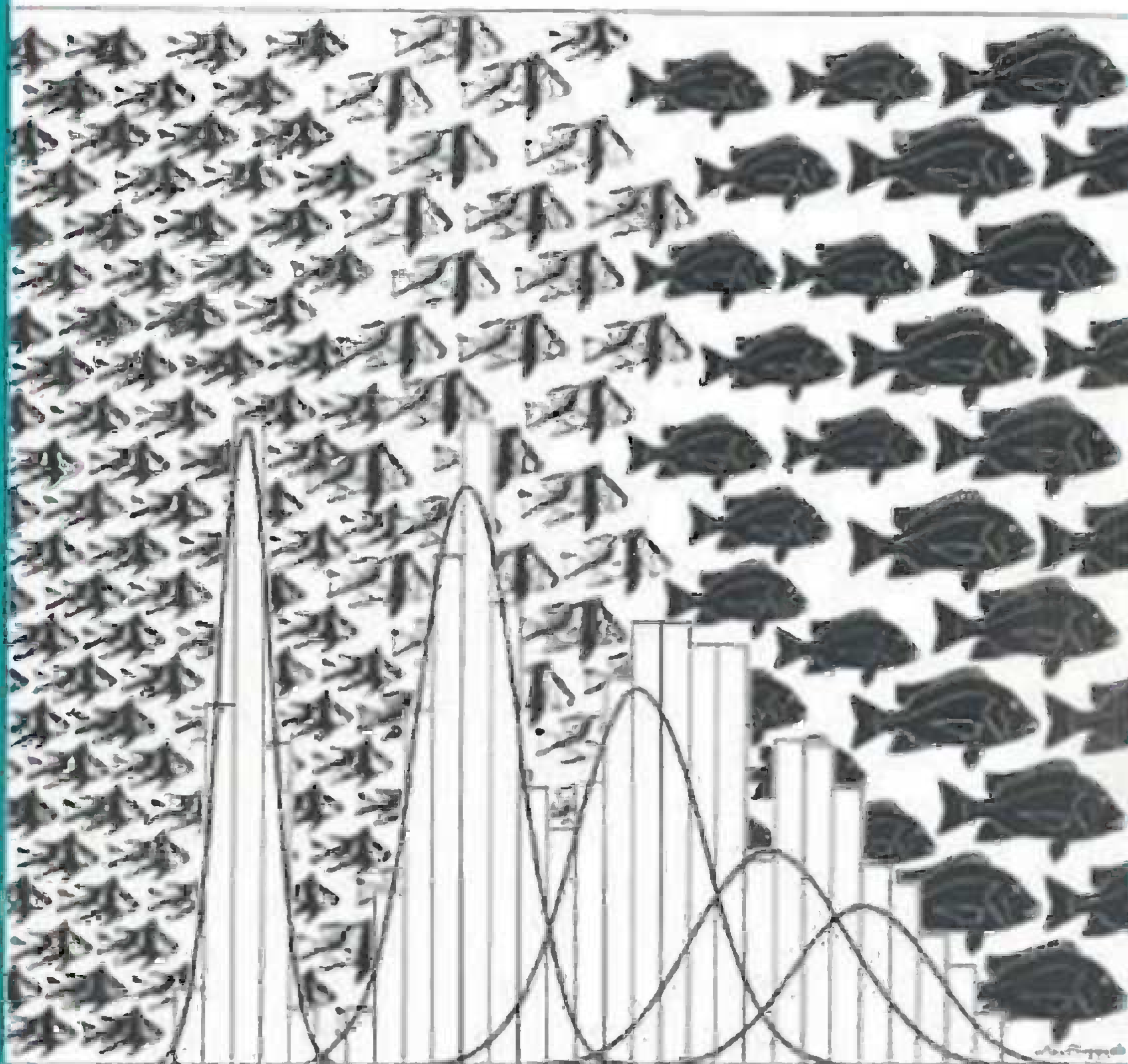
Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales

Parte 1: Manual

FAO
DOCUMENTO
TECNICO
DE PESCÁ

306/1

Rev. 2



DANIDA

Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación



Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales

Parte 1: Manual

por

Per Sparre

Investigador principal

Danish Institute for Fisheries Research

Charlottenlund Slot

DK-2920 Charlottenlund, Dinamarca

y

Siebren C. Venema

Director de los Proyectos

GCP/INT/392/DEN y GCP/INT/575/DEN

FAO, Departamento de Pesca

FAO
DOCUMENTO
TECNICO
DE PESCA

306/1

Rev. 2

MANIDA

Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación



Roma, 1997

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-43
ISBN 92-5-303996-5

Reservados todos los derechos: No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse a la Dirección de Información, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1997

Título original en inglés:

SPARRE, P. and VENEMA, S.C. 1997. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. *FAO Fisheries Technical Paper*. N° 306.1, Rev. 2. Rome (en prensa).

© **Introducción a la Evaluación de Recursos Pesqueros Tropicales**

Parte 1. Manual
P. Sparre y S.C. Venema

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
Inscripción N°85.673

Derechos reservados para todos los países

Impresores: IMPRESOS UNIVERSITARIA
San Francisco 454, Santiago de Chile

IMPRESO EN CHILE/PRINTED IN CHILE

PREPARACION DE ESTE DOCUMENTO

La primera edición del manual **Introduction to Tropical Fish Stock Assessment** lo preparó el proyecto FAO/DANIDA "Capacitación en evaluación de stocks de peces y planificación de la investigación pesquera" (GCP/INT/392/DEN), para utilizarlo en una serie de cursos regionales y nacionales de adiestramiento en evaluación de stocks de peces.

En 1984 se le pidió al autor, Per Sparre, que redactara este manual basándose en los apuntes de clases y en los estudios de casos preparados por el equipo de profesores encargado de estas labores. La primera edición se imprimió en julio de 1985, en Manila (Filipinas), y se distribuyó en el ámbito del proyecto, a través de la Red de Científicos de Pesca Tropical, del International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM) y de los cursos de capacitación.

En 1989, el manual fue sometido a una completa revisión por parte del Dr. E. Ursin, anterior Director del Instituto Danés de Investigaciones Pesqueras y por el Sr. S.C. Venema. Esa versión se publicó seguidamente como FAO Fisheries Technical Papers 306/1 (Manual) y 306/2 (Ejercicios).

A comienzos de 1991, cuando se agotó la versión en inglés, se decidió efectuar una nueva revisión de estos textos, dando énfasis a mejorar aspectos didácticos, a la corrección de errores advertidos y, al mismo tiempo, se relacionó el texto con el programa computacional *FiSAT* (FAO/ICLARM Stock Assessment Tools) que se había desarrollado contemporáneamente.

Dentro del marco de actividades del proyecto GCP/INT/575/DEN, en 1994, el Dr. Ursin preparó nuevas secciones, con el fin de reemplazar aquellas que habían demostrado ser inadecuadas y, simultáneamente, se incorporaron ejemplos adicionales y algunas extensiones a los métodos contenidos en el manual. Los textos nuevos y complementarios se encuentran principalmente en la Sección 2.6 Método de Bhattacharya; 3.4 Comparación de curvas de crecimiento, fi prima; 5.2 Análisis de cohorte con varias flotas; 6.2 Determinación de la selección de redes de enmalle; 8.3 Edad media y talla media en el rendimiento; 8.6 Predicciones de corto y largo plazo, y 8.7 Modelo de Thompson y Bell, basado en las tallas.

Nuevamente se ha tenido la oportunidad de efectuar la revisión del Manual y de los Ejercicios, la cual se ha aprovechado para corregir los numerosos errores advertidos por los traductores y quienes han empleado este texto, contribuciones que se reconocen y agradecen.

Las figuras fueron parcialmente revisadas en Chile por el P. Arana y por el Sr. A. Núñez, al preparar la versión en español de este libro.

Finalmente, se destaca que las nuevas figuras, tablas y fórmulas han sido numeradas en forma única, que no se sobrepone con ningún número utilizado en las versiones previas.

SPARRE, P. y S.C. VENEMA. 1997. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca. N^o. 306.1 Rev. 2: 420 pp.

RESUMEN

En el Manual (Parte 1), se describen detalladamente diversos métodos de evaluación de stocks de peces, con ejemplos de cálculos. Se hace especial hincapié en aquellos métodos basados en el análisis de frecuencias de tallas. Después de una breve introducción a la estadística, se analiza la estimación de los parámetros de crecimiento y las tasas de mortalidad; los métodos de población virtual, incluyendo el análisis de cohorte basado en la edad y en las tallas; la selectividad de artes de pesca; muestreo; modelos predictivos, incluyendo los modelos de rendimiento por recluta de Beverton y Holt y de Thompson y Bell; modelos de producción excedentaria; problemas multiespecíficos y de utilización de varias flotas; evaluación de stocks migratorios; y, además, se discute la relación stock/reclutamiento y las prospecciones demersales utilizando redes de arrastre, incluyéndose el método de área barrida. El manual se complementa con una revisión de las evaluaciones de stocks, donde se indican los métodos que se pueden aplicar de acuerdo a los datos de entrada disponibles; así también, se describen programas computacionales relevantes producidos por la FAO o en cooperación con ella, y se entrega una extensa lista de referencias, en la que se incluye material para lecturas complementarias.

En los Ejercicios (Parte 2), se entregan una serie de ejercicios con las correspondientes soluciones a las hojas de trabajo. Los ejercicios están directamente relacionados con los diversos capítulos y secciones del manual.



EDICION DE LA VERSION EN ESPAÑOL

La edición de la versión en español de este libro se efectuó a través de un convenio entre la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso (Valparaíso, Chile), labores que estuvieron a cargo del Profesor Patricio M. Arana.

Diagramación y diseño del libro: Alvaro Núñez B.

CONTENIDOS

PARTE 1 - MANUAL

	Página
LISTA DE EJEMPLOS	XI
LISTA DE SIMBOLOS	XII
1 INTRODUCCION	1
1.1 EL OBJETIVO PRIMARIO DE LA EVALUACION DE STOCKS DE PECES	1
1.2 EL CONCEPTO DE STOCK	2
1.3 MODELOS	5
1.3.1 Modelos analíticos	7
1.3.2 Modelos holísticos	9
1.4 EVALUACION DE LOS STOCKS DE AGUAS TROPICALES	10
1.5 DEFINICIONES DE LA TALLA O LONGITUD CORPORAL	11
1.6 EDAD Y RECLUTAMIENTO	13
1.7 EL SUPUESTO EN QUE SE BASAN LAS MUESTRAS ALEATORIAS	13
1.8 ORGANIZACION DEL MANUAL	15
1.9 OTRAS LECTURAS	19
2 BIOESTADISTICA	21
2.1 MEDIA Y VARIANZA	21
2.2 DISTRIBUCION NORMAL	24
2.3 LIMITES DE CONFIANZA	27
2.4 ANALISIS DE REGRESION LINEAL SIMPLE	29
2.5 EL COEFICIENTE DE CORRELACION Y LA REGRESION FUNCIONAL	34
2.6 TRANSFORMACIONES DE LINEALIZACION	38
3 ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO	47
3.1 LA ECUACION DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY	47
3.1.1 Variabilidad y aplicabilidad de los parámetros de crecimiento	51
3.1.2 La ecuación de crecimiento de von Bertalanffy convertida a peso	52
3.2 DATOS PARA LA ECUACION DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY	53
3.2.1 Datos derivados de lecturas de la edad y mediciones de la talla	53

	Página
3.2.2 Datos de la composición por tallas (sin la composición por edades)	60
3.2.3 Datos obtenidos de capturas comerciales	61
3.3 METODOS PARA LA ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO A PARTIR DE DATOS DE TALLAS POR EDADES	62
3.3.1 El gráfico de Gulland y Holt	62
3.3.2 El gráfico de Ford-Walford y el método de Chapman	65
3.3.3 El gráfico de von Bertalanffy	68
3.3.4 El método de mínimos cuadrados	69
3.4 ESTIMACION DE LA COMPOSICION POR EDADES A PARTIR DE LAS FRECUENCIAS DE TALLAS	70
3.4.1 El método de Bhattacharya	82
3.4.2 Análisis de progresión modal	95
3.4.3 El método del papel de probabilidad y el método de la parábola	105
3.5 DETERMINACION DE CURVAS DE CRECIMIENTO MEDIANTE PROGRAMAS COMPUTACIONALES	105
3.5.1 Programa computacional ELEFAN I	107
3.5.2 La ecuación de crecimiento de von Bertalanffy estacionalizada	112
3.5.3 Métodos de máxima verosimilitud	113
3.5.4 Limitaciones del análisis de frecuencias de tallas	118
4 ESTIMACION DE LAS TASAS DE MORTALIDAD	121
4.1 EL CONCEPTO DE COHORTE Y SU NOTACION BASICA	121
4.2 DINAMICA DE UNA COHORTE, MODELO DE EXTINCION EXPONENCIAL	123
4.3 ESTIMACION DE Z A PARTIR DE DATOS DE CPUE Y EL CONCEPTO DE COEFICIENTE DE CAPTURABILIDAD	129
4.3.1 El método de Heincke	133
4.3.2 El método de Robson y Chapman	135
4.4 ESTIMACION DE Z A PARTIR DE UNA CURVA DE CAPTURA LINEALIZADA	135
4.4.1 El sistema de parámetros constantes	136
4.4.2 La ecuación de la curva de captura linealizada	136
4.4.3 La curva de captura linealizada, basada en datos de la composición por edades	138
4.4.4 La curva de captura linealizada, basada en composiciones por edades con intervalos de tiempo variables	141
4.4.5 La curva de captura linealizada, basada en datos de la composición por tallas	142
4.4.6 La curva de captura acumulativa, basada en datos de la composición por tallas (El método de Jones y van Zalinge)	146
4.4.7 Resumen de los métodos de curva de captura linealizada	146
4.5 ECUACIONES DE Z DE BEVERTON Y HOLT	148
4.5.1 Ecuación de Z de Beverton y Holt, basada en las tallas	151
4.5.2 Ecuación de Z de Beverton y Holt, basada en las edades	152

	Página
4.5.3 Ecuación de Z de Beverton y Holt, basada en la talla de primera captura	152
4.5.4 El método de Powell-Wetherall	153
4.6 GRAFICO DE Z RESPECTO DEL ESFUERZO PARA LA ESTIMACION SEPARADA DE F Y M	155
4.7 MORTALIDAD NATURAL	158
4.7.1 Mortalidad natural y longevidad	159
4.7.2 Fórmula empírica de Pauly	160
4.7.3 Fórmula de Rikhter y Efanov	161
5 METODOS DE POBLACION VIRTUAL	163
5.1 ANALISIS DE POBLACION VIRTUAL (APV)	163
5.2 ANALISIS DE COHORTE BASADO EN LA EDAD (Análisis de cohorte de Pope)	171
5.3 ANALISIS DE COHORTE DE JONES, BASADO EN LAS TALLAS	176
5.4 TÉCNICA DE REBANAR ("SLICING")	185
6 SELECTIVIDAD DE ARTES DE PESCA	189
6.1 ESTIMACION DE LA SELECCION DE REDES DE ARRASTRE	189
6.2 ESTIMACION DE LA SELECCION DE LA RED DE ENMALLE	193
6.2.1 Curvas de selección simétricas	193
6.2.2 Combinación de dos curvas logísticas	202
6.3 DISCUSION SOBRE LA SELECCION DE OTROS ARTES DE PESCA	207
6.4 OTROS ASPECTOS DE LA SELECCION DE LOS ARTES DE PESCA	207
6.4.1 Selección tipo filo de cuchillo	207
6.4.2 Reclutamiento y selectividad	207
6.4.3 Selectividad en función de la edad	208
6.5 ESTIMACION DE LA OJIVA RESULTANTE, A PARTIR DE LA CURVA DE CAPTURA	210
6.6 SELECTIVIDAD DE ARTES DE PESCA Y LOS METODOS DE APV	215
6.6.1 Selectividad del arte y mortalidad por pesca	215
6.6.2 Estimación de curvas de selección a partir del análisis de cohorte	216
6.7 UTILIZACION DE LA CURVA DE SELECCION PARA AJUSTAR MUESTRAS DE FRECUENCIAS DE TALLAS	217
7 MUESTREO	223
7.1 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE	223
7.2 MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO	227
7.3 MUESTREO PROPORCIONAL	231

	Página
7.4 MUESTREO DE CAPTURAS COMERCIALES	232
7.5 ESTIMACION DE LA CAPTURA TOTAL EN PESO DE UNA DETERMINADA ESPECIE	233
7.6 ESTIMACION DE LA COMPOSICION POR TALLAS DE UNA DETERMINADA ESPECIE EN LA CAPTURA TOTAL	236
8 MODELOS PREDICTIVOS	247
8.1 SUPUESTOS Y MODELOS SUBYACENTES EN EL MODELO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT	248
8.2 MODELO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT	251
8.3 MODELO DE BIOMASA POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT	256
8.4 MODELO RELATIVO DE RENDIMIENTO POR RECLUTA DE BEVERTON Y HOLT	260
8.5 RENDIMIENTO POR RECLUTA, EN BASE A DATOS DE TALLAS	261
8.6 MODELO DE THOMPSON Y BELL, BASADO EN LA EDAD	262
8.7 MODELO DE THOMPSON Y BELL, BASADO EN LAS TALLAS	277
8.8 PREDICCION DEL EFECTO DEL CAMBIO DEL TAMAÑO DE MALLA, USANDO EL METODO DE THOMPSON Y BELL	284
9 ESTIMACION DEL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIBLE MEDIANTE MODELOS DE PRODUCCION EXCEDENTARIA	287
9.1 LOS MODELOS DE SCHAEFER Y FOX	287
9.2 LA FORMULA DE GULLAND	294
9.3 LA FORMULA DE CADIMA	296
9.4 ESTIMACIONES DEL RMS BASADAS EN EL MODELO DE PRODUCCION EXCEDENTARIA	296
9.4.1 Validación de las estimaciones del RMS, basadas en fórmulas empíricas	298
9.5 EL GRAFICO DE MUNRO Y THOMPSON	299
9.6 NORMALIZACION DEL ESFUERZO	301
9.7 EL MODELO DE DIFERENCIA DE RETRASO DE DERISO Y SCHNUTE	305
10 PROBLEMAS ASOCIADOS A SISTEMAS MULTIESPECIFICOS Y MULTIFLOTAS	307
10.1 MODELOS DE PRODUCCION EXCEDENTARIA APLICADOS A SISTEMAS MULTIESPECIFICOS/MULTIFLOTAS	307
10.2 INTERACCION BIOLOGICA	309
10.3 INTERACCION ECONOMICA	310

	Página
10.4 INTERACCION TECNICA	310
10.4.1 Modelo de rendimiento por recluta para pesquerías mixtas	311
10.4.2 Evaluación de pesquerías mixtas a partir de datos de frecuencias de tallas	312
10.4.3 Pesquerías mixtas utilizando varias flotas	314
11 EVALUACION DE POBLACIONES MIGRATORIAS	317
11.1 CONCEPTO Y ESTUDIO DE LA MIGRACION	317
11.2 SESGOS CAUSADOS POR LA MIGRACION	320
11.3 EL METODO DE MUESTRAS PAREADAS DE RETORNO ANUAL	326
11.3.1 Parámetros de crecimiento estimados con el método de muestras pareadas de retorno anual	326
11.4 EL METODO GENERAL DE MUESTRAS PAREADAS	328
11.5 EVALUACION BASADA EN LOS DATOS DEL MERCADO	332
11.6 ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE CRECIMIENTO DE UNA POBLACION MIGRATORIA: LA CABALLA DEL ATLANTICO	333
12 LA RELACION STOCK/RECLUTAMIENTO	337
12.1 CONSIDERACIONES SOBRE LA RELACION S/R CLASICA	339
12.2 LA ESTABILIDAD DEL RECLUTAMIENTO	341
12.3 HACIA LA PREPARACION DE MODELOS DE RECLUTAMIENTO	342
13 PROSPECCIONES CON REDES DE ARRASTRE	345
13.1 LA RED DE ARRASTRE DE FONDO	345
13.2 PLANIFICACION DE UNA PROSPECCION CON RED DE ARRASTRE DE FONDO	346
13.3 REGISTRO DE DATOS	348
13.4 MUESTREO EN CUBIERTA Y PROCEDIMIENTOS DE REGISTRO DE LAS CAPTURAS	348
13.5 EL AREA BARRIDA	349
13.6 ESTIMACION DE LA BIOMASA POR EL METODO DE AREA BARRIDA	352
13.7 PRECISION DE LA ESTIMACION DE LA BIOMASA	353
13.8 ESTIMACION DEL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIBLE	355
14 RESUMEN DE EVALUCION DE STOCKS	357
14.1 ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACION DE STOCKS DE PECES	359

	Página
14.2 REVISION DE LOS METODOS A USAR DE ACUERDO AL TIPO DE DATOS DISPONIBLE	361
15 PAQUETES DE PROGRAMAS PARA MICROCOMPUTADORES	373
15.1 EL PAQUETE DE PROGRAMAS <i>LFSA</i>	373
15.1.1 Programas de distribución de frecuencias de tallas	373
15.1.2 Análisis talla/edad: Estimación de los parámetros de crecimiento a partir de datos de talla/edad	377
15.1.3 Otros programas	377
15.2 EL PAQUETE COMPUTACIONAL <i>COMPLEAT ELEFAN</i>	377
15.3 EL PAQUETE COMPUTACIONAL <i>FISAT</i>	378
15.4 OTROS PROGRAMAS DE EVALUACION DE STOCKS DE PECES PRODUCIDOS POR LA FAO	380
15.4.1 El paquete computacional <i>ANACO</i>	380
15.4.2 El paquete computacional <i>ANALEN</i>	381
15.4.3 Programas <i>BEAM 1</i> y <i>BEAM 2</i>	381
15.4.4 Programa <i>BEAM 3</i>	381
15.4.5 Programa <i>BEAM 4</i>	381
15.4.6 El paquete computacional <i>NAN-SIS</i>	381
15.4.7 Programa <i>CLIMPROD</i>	382
16 REFERENCIAS	383
INDICE DE MATERIAS	405
TABLAS ADICIONALES	413
A1 LISTADO DE FORMULAS IMPORTANTES	414
A2 METODOS BASADOS EN TRANSFORMACION LINEAL Y LA REGRESION LINEAL SIMPLE: $y = a + b^*$	418
A3 FECHAS EXPRESADAS COMO FRACCION DE UN AÑO CALENDARIO, A PARTIR DEL 1° DE ENERO	420
A4 VALORES DE CUANTILES DE LA DISTRIBUCION t (<i>DISTRIBUCION t DE STUDENT</i>)	420

LISTA DE EJEMPLOS

	Página
1 : Relación talla-peso	38
2 : Linealización de una distribución normal	40
3 : Datos sobre composición por tallas/edad de una sola prospección	54
4 : Datos sobre composición por tallas/edad de múltiples cruceros de prospección	56
5 : Uso de las claves talla/edad	57
6 : Estimación de K y L_{∞} con el gráfico de Gulland y Holt	63
7 : Estimación de K y t_0 mediante el gráfico de von Bertalanffy	68
8 : Cálculo de la edad en especies de aguas templadas	70
9 : Cálculo de la edad en <i>Plectropomus leopardus</i> , una especie tropical	71
10 : Análisis de Bhattacharya con un conjunto de datos hipotéticos	83
11 : Análisis de progresión modal, utilizando valores del Ejemplo 4	95
12 : Aplicación del programa ELEFAN I a los datos de <i>Plectropomus leopardus</i>	108
13 : Curva de captura con intervalos de tiempo constante, plegonero del Mar del Norte	138
14 : Curva de captura basada en datos de composición por tallas, <i>Upeneus vittatus</i>	145
15 : El método de Jones y van Zalinge, <i>Upeneus vittatus</i>	146
16 : El método de Powell-Wetherall	154
17 : Estimación de M y q en una especie tropical	156
18 : Análisis de población virtual (APV), plegonero del Mar del Norte	164
19 : Análisis de cohorte de Pope, plegonero del Mar del Norte	171
19a : Análisis de cohorte para clases anuales sucesivas	174
20 : Análisis de cohorte de Jones basado en las tallas, merluza de Senegal	177
20a : Técnica de rebanar ("slicing"), aplicada a la misma información utilizada en el Ejemplo 20, merluza de Senegal	186
21 : Experimento de copo cubierto, <i>Nemipterus japonicus</i> , Mar de China Meridional	190
22 : Estimación de curvas de selección de redes de enmalle, Tilapia, Lago Victoria	195
22a : Estimación de la curva de selección para varias redes de enmalle, para <i>Serranochromis codringtoni</i> , en el lago Kariba	199
23 : Estimación de la ojiva resultante de una curva de captura, utilizando datos hipotéticos	211
24 : Utilización de la curva de selección para ajustar la muestra de frecuencias de tallas de la Tabla 6.5.1	219
25 : Muestreo aleatorio estratificado	229
26 : Muestreo aleatorio estratificado, considerando los costos	229
27 : Esquema de muestreo para una pesquería demersal tropical	234
28 : Y/R como una función de F , para especies tropicales	253
29 : Análisis de Thompson y Bell, basado en la edad, camarón tropical	263
29a : Predicciones de corto y largo plazo	272
30 : Análisis de Thompson y Bell basado en las tallas, merluza, Senegal	280
31 : Modelos de Schaefer y Fox, peces demersales, Mar de Java	289
32 : Suma del esfuerzo cuando se utilizan diferentes unidades	301