



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Guía para la colecta, análisis y uso de información biológico-pesquera en un contexto de limitación de datos



$$N_{t,\tau} = N_{t-1,\tau-1} e^{-(M+F_{t,\tau})} + R_{t_0,\tau}$$
$$e^{-(M+F_{t,\tau})} = e^{-Z_t} = \frac{N_{t,\tau}}{N_{t-1,\tau-1}}$$
$$T(l) = \frac{\text{sen } \pi (t_{\max} - t_{\min})}{\pi (t_{\max} - t_{\min})} \cos 2\pi (\bar{t} - t_s)$$

Guía para la colecta, análisis y uso de información biológico-pesquera en un contexto de limitación de datos

Elaboración

Francisco Arreguín Sánchez
Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
Panamá, 2021

Cita requerida:

Arreguín Sánchez, F. 2021. *Guía para la colecta, análisis y uso de información biológico-pesquera en un contexto de limitación de datos*. Panamá, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7624es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-135317-2

© FAO, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Preparación del documento

El presente documento ha sido preparado atendiendo la solicitud de los países miembros de la Comisión de Pesca de Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe, para el fortalecimiento de capacidades institucionales en materia de evaluación y monitoreo de recursos pesqueros, particularmente en un contexto de limitación de datos.

La guía complementa el Curso Regional de Actualización sobre Métodos de Evaluación y Seguimiento de Recursos Pesqueros con Datos Limitados, ofrecido por FAO a los países miembros de la Comisión, particularmente de Mesoamérica.

El documento fue preparado por el Dr. Francisco Arreguín, consultor internacional y revisado técnicamente por el Oficial Principal de Pesca y Acuicultura de FAO para América Latina y el Caribe, Alejandro Flores Nava.

Índice

Introducción	1
Consideraciones iniciales	3
Estrategia hacia una guía práctica	4
Colecta de información sobre estadísticas pesqueras	6
Monitoreo de estadísticas pesqueras e información biológico-pesquera	7
Implementación de un diseño de muestreo	13
Método de análisis para evaluación del estado de explotación	16
1. Condición de ausencia (total) de datos	16
Ejemplo de evaluación instantánea en ausencia total de datos	19
Crecimiento y mortalidad natural	19
Estimación de estructura por edades y mortalidad total Z	23
Estado de explotación del recurso	28
Condición de explotación	31
Modelo de Beverton y Holt	31
Combinación de los modelos de Jones y Thompson y Bell	32
Aproximaciones de Thompson y Bell	35
Diagnóstico sobre el estado de explotación	36
2. Condición de datos limitados (pero con disponibilidad de un mínimo)	38
Aproximaciones basadas en series históricas de capturas	41
Costello <i>et al.</i> (2012)	41
CMSY (Matell y Froese 2013; Froese <i>et al.</i> 2017)	42
Sraplus (FAO, 2019)	42
Bibliografía	44
Lecturas sugeridas	46
Anexo 1: Diseño de muestreo para una especie objetivo	51
Anexo 2: Diseño de muestreo para múltiples especies capturadas por una embarcación (o arte de pesca)	57
Anexo 3: Consideraciones para la aplicación de métodos de evaluación de poblaciones explotadas	59
Anexo 4: Estimación de los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy por el método NSLCA	63
Anexo 5: Clave edad longitud en términos de probabilidad para las edades identificadas a la distribución de frecuencia de longitudes	66
Anexo 6: Estimación del tamaño de la población bajo condición de datos limitados	70

Resumen

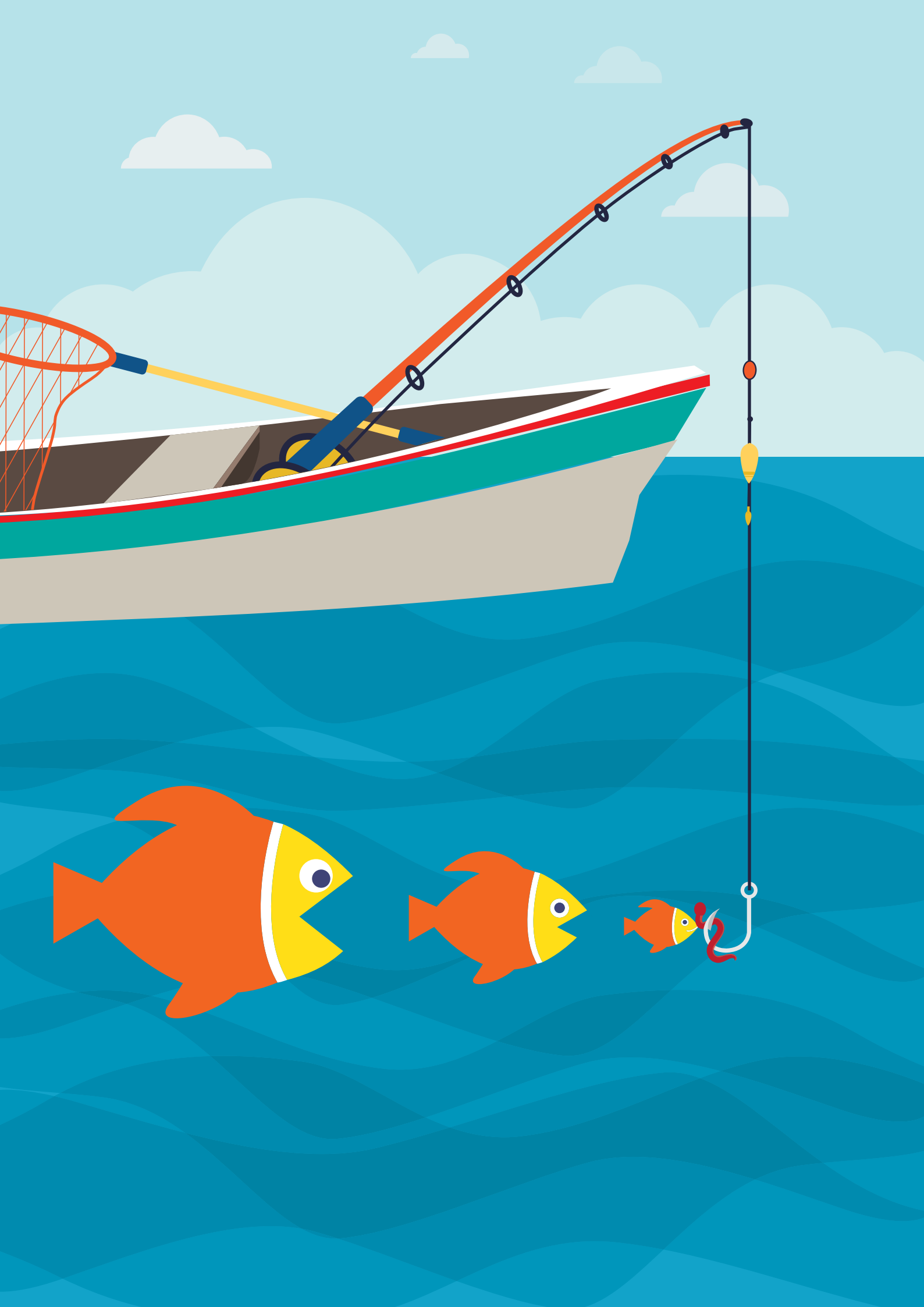
La presente guía se desarrolla como una necesidad para orientar el registro de información estadística pesquera y el tratamiento de información biológico pesquera para abordar el análisis de pesquerías artesanales (pequeña escala) particularmente en condiciones de limitación de información; o más enfáticamente, en condiciones de nula existencia de datos. La guía inicia tocando tópicos sobre el diseño de muestreo, esencialmente probabilístico, considerando las características usuales en las pesquerías artesanales, múltiples estratos (p.ej. localidades) y etapas (proceso de operación de la pesca en cada localidad); así como la importancia del objetivo del diseño muestral, sea registro de estadísticas pesqueras, datos biológico pesqueros e incluso combinación de ellos. En esta etapa se hace énfasis en la representatividad de la muestra, la confianza y la precisión deseadas, incluyendo costos del muestreo con el objeto de disponer de información para la planificación del monitoreo. Posteriormente se incursiona en los análisis biológico-pesqueros a partir de la mínima información posible; por ejemplo, un muestreo intensivo de donde se obtienen datos sobre la estructura por longitudes de la captura y el volumen de la misma. A partir de esta información se explica paso a paso el análisis para la estimación de crecimiento, estructura por edades, estimaciones de mortalidades natural, total y por pesca; llegando al reconocimiento del estado de explotación en términos de la tasa de captura (proporción captura/biomasa). El análisis se continua hacia la estimación de rendimiento comparando tres aproximaciones, rendimiento por recluta, estimación de población basada en longitudes, y la curva de rendimiento proyectada a diferentes niveles de intensidad de pesca. En cada etapa, además de explicar los cálculos en detalle, se discute la interpretación con base en los datos y los modelos (incluyendo supuestos) que permitan llegar a una conclusión formal como diagnóstico de la pesca. Se incluye también una discusión amplia sobre las consecuencias de realizar un diagnóstico con este mínimo de información, los sesgos, interpretaciones erróneas y la cautela en la interpretación de los datos. Se menciona también la condición típica de datos limitados (incompletos, parciales, discontinuos etc., que aportan información parcial. Se mencionan dos tipos de aproximación, métodos basados en estructura por edades/longitudes, y métodos basados en series temporales de captura. En ambos casos ya no es factible desarrollarlos paso a paso, pero se revisan y discuten algunos de ellos y sus bases. Se discute y reformula el enfoque inicial en relación a que los métodos empleados en la presente guía son sugerencias sobre cómo aproximarse al análisis en situaciones de nula existencia de datos, partiendo de una sola muestra como información disponible. Se recuerda que los métodos se eligieron por ser de aplicación práctica y fácil, y si bien son formales científicamente hablando, no representan una recomendación específica; por ello, se sugiere la revisión de la literatura, los métodos alternativos disponibles, y los supuestos de cada uno de ellos para elegir aquellos que se adecúen mejor a la naturaleza de los datos y especies sujetas a análisis. Como se comentó en un inicio, la presente guía no constituye una revisión de métodos, sino que debe verse como una orientación sobre el tipo de aproximación metodológica en condiciones de nula o muy pobre información disponible. Finalmente, para las diferentes etapas de análisis, incluyendo interpretación hacia el manejo, se hizo una selección de documentos y lecturas que se sugiere sean revisadas.

Introducción

Una de las principales debilidades expresadas por los países de la Comisión de Pesca en Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe (COPPESAALC), en particular los de América Central, es la limitada implementación, o incluso ausencia, de sistemas de información y estadística pesquera que contribuyan a la generación de conocimiento para soporte del ordenamiento pesquero. La poca información disponible sobre la pesca en pequeña escala y artesanal, en nuestro caso enfocada a los países de América Central, está estrechamente relacionada con la carencia de recursos y capacidades que imposibilitan el cumplimiento de las obligaciones gubernamentales de evaluación de los estados por mantener la sostenibilidad biológico-ecológica de las poblaciones sujetas a explotación; situación que compromete a su vez la sostenibilidad socioeconómica y los medios de vida de las comunidades que de ellos dependen; y evidentemente las posibilidades de desarrollo.

Pocos recursos de la pesca artesanal son de alto valor económico, y normalmente sobre estos últimos existe información disponible pues su alta demanda requiere de poner en práctica controles. En estos casos el valor económico de los recursos pesqueros favorece la aplicación de recursos financieros en la generación de datos y conocimiento. Caso contrario ocurre con la mayor parte de la pesca en pequeña escala y artesanal.

El objetivo último de la presente consulta es sugerir estrategias para fortalecer los sistemas de colecta, análisis, interpretación y uso de la información biológico-pesquera para la toma de decisiones en la gestión sostenible del sector, con especial énfasis en pesca de pequeña escala y artesanal. En este reporte técnico en particular se presenta una guía práctica para abordar estos procesos, de tal suerte que pueda servir de base para complementar los sistemas nacionales de seguimiento de recursos pesqueros considerando su posible implementación inmediata.



Consideraciones iniciales

En la literatura se mencionan con frecuencia conceptos como pesca artesanal, pesca ribereña, pesca en pequeña escala; a veces caracterizándolas de manera particular, o en ocasiones usados como sinónimos; esto en general depende del grado de desarrollo de los equipos y de las operaciones de pesca, pero también de las condiciones en las cuales se desarrolla la pesca en los diferentes países. En ocasiones, incluso, a un mismo tipo de embarcaciones y operación de pesca se le refiere de manera diferente en un país con respecto a otro. En el presente documento, por facilidad, se generalizará como pesca artesanal todas aquellas operaciones de pesca a pequeña escala que operan tanto en las regiones costeras marinas como en aguas continentales. Solo se llama la atención, en este momento, en las diferencias en la capacidad y poder de pesca que, desde el punto de vista científico, tienen los diferentes tipos de embarcaciones, artes y tipos de operaciones de pesca, todos ellos aspectos que deberán considerarse en su momento y que serán mencionados más adelante.

Tal vez el aspecto de mayor importancia en la pesca artesanal es su contribución a la alimentación, tanto en el sentido de autoconsumo, como medio para cubrir las necesidades inmediatas a nivel familiar; como de la producción de alimentos de alto valor nutritivo, y que generan ingreso al pescador. En este sentido la pesca artesanal es sumamente relevante como fuente de empleo y/o autoempleo; y como consecuencia, es la base para la subsistencia, sostenibilidad socioeconómica y el desarrollo de las comunidades; generando expectativa hacia una mejora en el bienestar social. La pesca, a diferencia de otras actividades del sector productivo primario (con excepción de la cacería), es la única actividad en la cual no hay insumos para incrementar la producción, dependiendo en su totalidad de la capacidad de producción natural de las poblaciones. Esta característica define la importancia y trascendencia de la definición de estrategias de ordenamiento con base en el conocimiento científico para promover la sostenibilidad biológico-ecológica de los recursos explotados y de sus pesquerías.

Por otro lado, la sostenibilidad en la pesca artesanal, no sólo se refiere a mantener la cosecha dentro de los límites de la capacidad de producción natural de las poblaciones objetivo de pesca; sino también, a sus consecuencias; esto es, al mantenimiento de las fuentes de alimento e ingreso, para las familias de los pescadores y las comunidades a las cuales pertenecen, siendo este el contexto base de la sostenibilidad socioeconómica y la base para promover el desarrollo. Ambos aspectos, la sostenibilidad biológico-ecológica y socio económica, son los ámbitos de donde debe emanar la información para los ordenamientos pesqueros.

Estrategia hacia una guía práctica

Hay dos aspectos por abordar en la presente guía: 1) la colecta sistemática de información y 2) el análisis de información para la identificación del estado de explotación de los recursos. Dentro del sistema de colecta de información, deberán de considerarse tanto la colecta de datos sobre estadísticas pesqueras, relativas a información sobre captura y esfuerzo de pesca aplicado; como información biológico pesquera, relacionada tanto con las especies objetivo de pesca, como de las especies que componen las capturas incidentales. En el segundo caso, la evaluación del estado de explotación de los recursos, la consideración inicial se refiere a datos y métodos de análisis en condiciones de limitación de información; pero también, y de manera muy significativa, a condiciones de no-disponibilidad de información, escenario común en la pesca en aguas continentales y no poco común en la pesca artesanal en aguas marinas.

Otros aspectos relevantes para la definición de estrategias de colecta de información se refieren a los hábitats y ecosistemas, así como a algunas condiciones socioeconómicas relativas a la operación de la pesca artesanal, haciéndose énfasis en las condiciones de los países de América Central. En el primer caso deberán considerarse características relativas a la biodiversidad, tanto por la pesca de múltiples especies objetivo y/o capturadas incidentales, como las especies endémicas, amenazadas, o en peligro que pudieran estar presentes en los diferentes ecosistemas. En este contexto deberán considerarse, además, los diferentes tipos de hábitats; los cuales, aunque sean compartidos por las mismas especies, representan factores que influyen en la pesca de manera determinante. Así, por ejemplo, los distintos tipos de ecosistemas de aguas continentales como son ríos, lagos, embalses y humedales, los cuales pueden diferir entre ellos, especialmente en lo que respecta a la función del ecosistema y su relación, en términos de pesca, con la capacidad de carga y por tanto la disponibilidad del recurso; sin dejar de reconocer la interdependencia dinámica de los ecosistemas. El otro aspecto se refiere al posible efecto no deseado de algunos artes y formas de pesca sobre los hábitats que habrá, en su caso, que documentar para tomar decisiones al respecto.

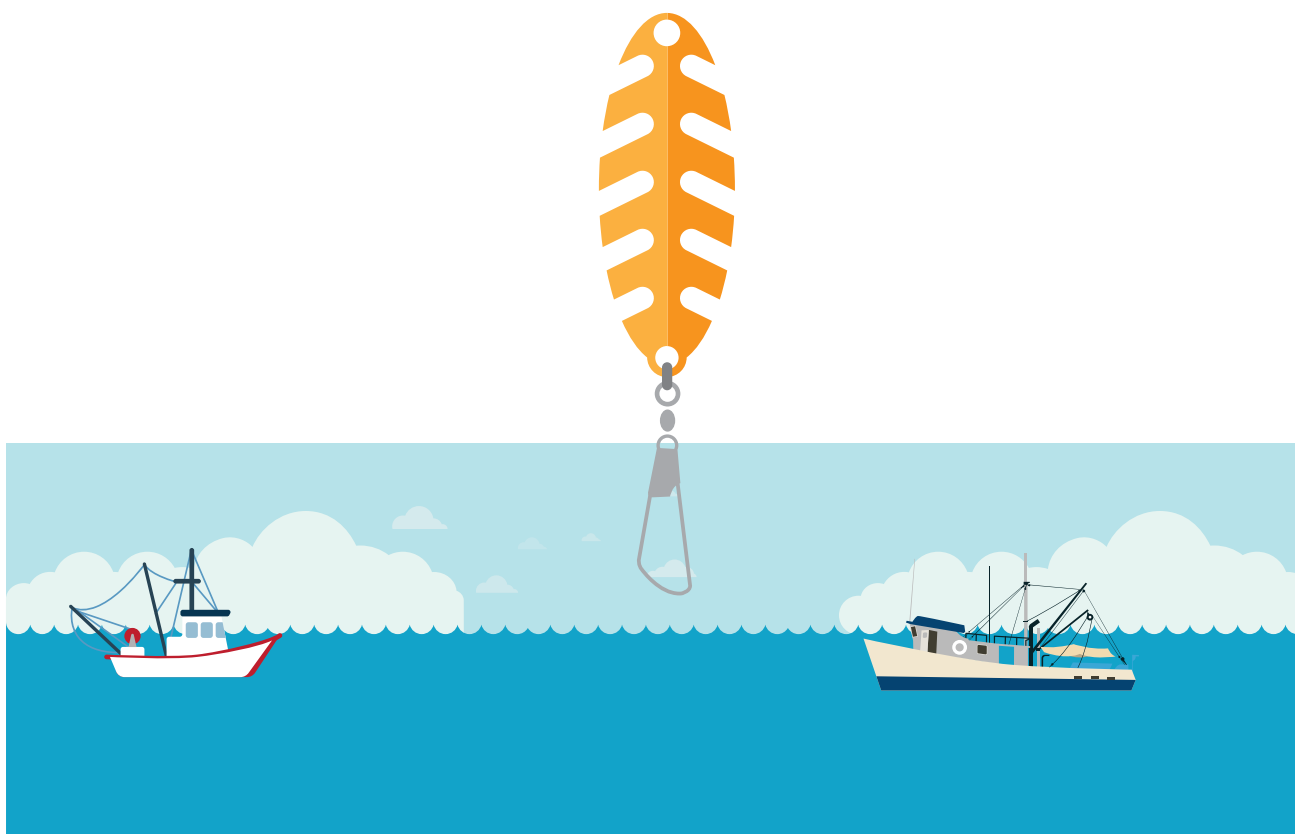
Por otra parte, desde la perspectiva socio-económica, la pesca artesanal se caracteriza por su alto grado de dispersión y fragmentación espacial, no solo de los sitios de pesca, sino de los sitios de desembarco y las condiciones que impone la comercialización de los productos; tanto en términos del ingreso al mercado, como a la necesidad de acudir a sitios específicos de entrega de producto. En muchas ocasiones el pescador recurre a sitios diferentes a entregar su producto siguiendo al comprador o buscando las mejores condiciones de venta de sus productos.

Por último, las diferentes condiciones de la colecta de información pesquera están vinculados a aspectos ajenos a la pesca. Por ejemplo, en aguas continentales, las personas que viven de la pesca pueden depender fuertemente de las prácticas de uso de la tierra en zonas aledañas, o de la demanda de agua; y en zonas marino-costeras, de otros usos

del ecosistema como son la extracción minera o de petróleo, o actividades turísticas. Dichas actividades podrían entrar en conflicto con la sostenibilidad de la pesca. Otro aspecto de sumo interés es el cambio climático, o en general, el cambio de los patrones climáticos, que en algunos casos agravan las condiciones de vida de los pescadores y de las comunidades pesqueras cuando la capacidad de producción de las poblaciones y/o ecosistemas se ven afectadas de manera negativa, así como por los efectos indirectos por la afectación sobre hábitats y ecosistemas. En este punto cabe resaltar la importancia y relevancia de la colecta continua de información ya que la tendencia en el tiempo de los cambios observados dará la pauta para estimar efectos y para generar posibilidades de adaptabilidad dentro de una estrategia precautoria.

La guía abordará dos etapas; 1) la colecta de información sobre estadísticas pesqueras y datos biológico-pesqueros; y 2) métodos de análisis para evaluación del estado de explotación de los recursos, considerando dos condiciones, a) ausencia total de información y b) condición con limitación de datos.

La presente guía no es una revisión exhaustiva de métodos de análisis basados en limitación de datos; se presenta un enfoque que pretende ser práctico, pero con bases científicas sólidas, para su aplicación inmediata y sencilla. En algún momento posterior a su aplicación, los métodos deberán ser discutidos, valorados y revisados a la luz de enfoques y procedimientos alternativos, más robustos, pero que su aplicación podría ser limitada o poco generalizable, de acuerdo al estado actual de las capacidades de los países. Dicha valoración dependerá del tipo y calidad de información que esté disponible en cada momento. Algunos de estos métodos se mencionan en el Cuadro 1 y se recomienda ampliamente su revisión.



Colecta de información sobre estadísticas pesqueras

La idea general es obtener registros confiables, con un nivel de confianza, representatividad y precisión estadística conocido, que sirvan para soportar científica y técnicamente la toma de decisiones.

Se reconoce la complejidad de la actividad de la pesca artesanal, muchos sitios de desembarque, de diferentes tamaños y características, como consecuencia de una amplia dispersión espacial de las comunidades pesqueras. También, múltiples especies objetivo e incidentales retenidas en las capturas, y el descarte; así como la diversidad de artes de pesca. En aguas continentales los diferentes cuerpos de agua constituyen cada uno un ecosistema diferente. Se reconoce también que el objetivo del ordenamiento del aprovechamiento de los recursos es para beneficiar a la sociedad bajo el principio de sostenibilidad y desarrollo. La sostenibilidad no solo se refiere al mantenimiento biológico-ecológico de los recursos naturales objeto de pesca, sino al bienestar social que genera la actividad económica. A partir de una condición sostenible es factible generar desarrollo, entendiendo éste como la mejora en el bienestar social. Las bases para lograr estas condiciones son el conocimiento de los recursos naturales, y de ahí que se requiera un sistema de monitoreo confiable y representativo. Se reconoce también que en la pesca artesanal el pescador generalmente no tiene derechos de propiedad, son recursos de uso común. Esto implica que, para el ordenamiento de su aprovechamiento, y para lograr el mejor rendimiento posible (sea en volumen o socioeconómico) es necesario conocer, con información lo más precisa posible, la manera como el conjunto de usuarios aprovecha los mismos recursos; de ahí que se requiera de una base de información de estadísticas pesqueras representativas y confiables. Se reconoce también que es imposible obtener esta información para todas las operaciones de pesca y embarcaciones existentes; esto es, no es posible mantener un censo continuo, por razones de capacidad humana y costos. Sin embargo, si es factible diseñar una estrategia de monitoreo de la actividad que provea de información suficiente con niveles de representatividad, confianza y precisión conocidos y, en la medida que estos se mantengan, ir mejorando la calidad de la información.



Monitoreo de estadísticas pesqueras e información biológico-pesquera

La etapa más importante para el diseño de un sistema de acopio de información es identificar claramente la información objetivo, y el proceso a través del cual se genera. Por ejemplo, si se trata de las estadísticas pesqueras de capturas y esfuerzo aplicado, incluyendo atributos asociados (por ejemplo, de las artes de pesca), el diseño del monitoreo tiene que ver con la definición de las especies a registrar; esto es, capturas de que especie y como y cuanto se aplica de ese esfuerzo de pesca a esa especie. En este contexto, habrá que estimar un tamaño de muestra, por ejemplo, en términos de la captura desembarcada de la especie objetivo por embarcación, que sea representativo de las operaciones de pesca. Si el tamaño de muestra es representativo, entonces el acumulado de datos para la flota muestreada también lo será; y si este se mantiene en el tiempo se podrán observar patrones de cambio. En este caso, una vez definido este tamaño de muestra (como número de embarcaciones en el ejemplo) podrá colectarse información adicional clave como son el valor de la captura, o relativos al esfuerzo; esto es, tipos de artes de pesca, tiempo de operación, viajes de pesca, duración de las faenas de pesca, en días u horas de pesca, número de pescadores participantes etc. En el segundo caso, sobre los registros biológico-pesqueros, también hay que definir un objetivo específico, usualmente se refiere a la estructura por tamaños de los individuos capturados. En este caso, también, habrá que definir un tamaño de muestra que resulte representativo; esto es, a cuantos individuos se les tomará información de su talla. Una vez definido este tamaño de muestra se podrá tomar información sobre otros atributos, como son sexo, grado de madurez sexual, estómagos, tejido, etc.; dependiendo de la finalidad de uso de los datos.

En la figura 1 se muestra de manera esquemática la secuencia lógica de un proceso de diseño de muestreo con diferentes estratos (que pueden ser sitios de desembarco, ecosistemas, localidades); y la secuencia de eventos dentro de cada estrato; esto es, la secuencia en cada sitio, de las embarcaciones que desembarcan capturas, las especies capturadas y las tallas de las especies capturadas (por ejemplo, en la figura 1, el estrato A y las etapas del 1 al 4); esto es, en cada estrato se muestran diferentes etapas del proceso de operación de la pesquería. Supóngase, por simplicidad, que se captura sólo una especie. La estrategia descrita en el párrafo anterior corresponde a un solo estrato (por ejemplo, A en la figura 1) y sus diferentes etapas (1 a 4, en la figura 1), donde los tamaños de muestra se definen por el número de embarcaciones y la cantidad de captura de la especie (, por ejemplo), y por el número de individuos de dicha especie. Más adelante se abordarán los aspectos técnicos relativos a la estimación del tamaño de muestra.

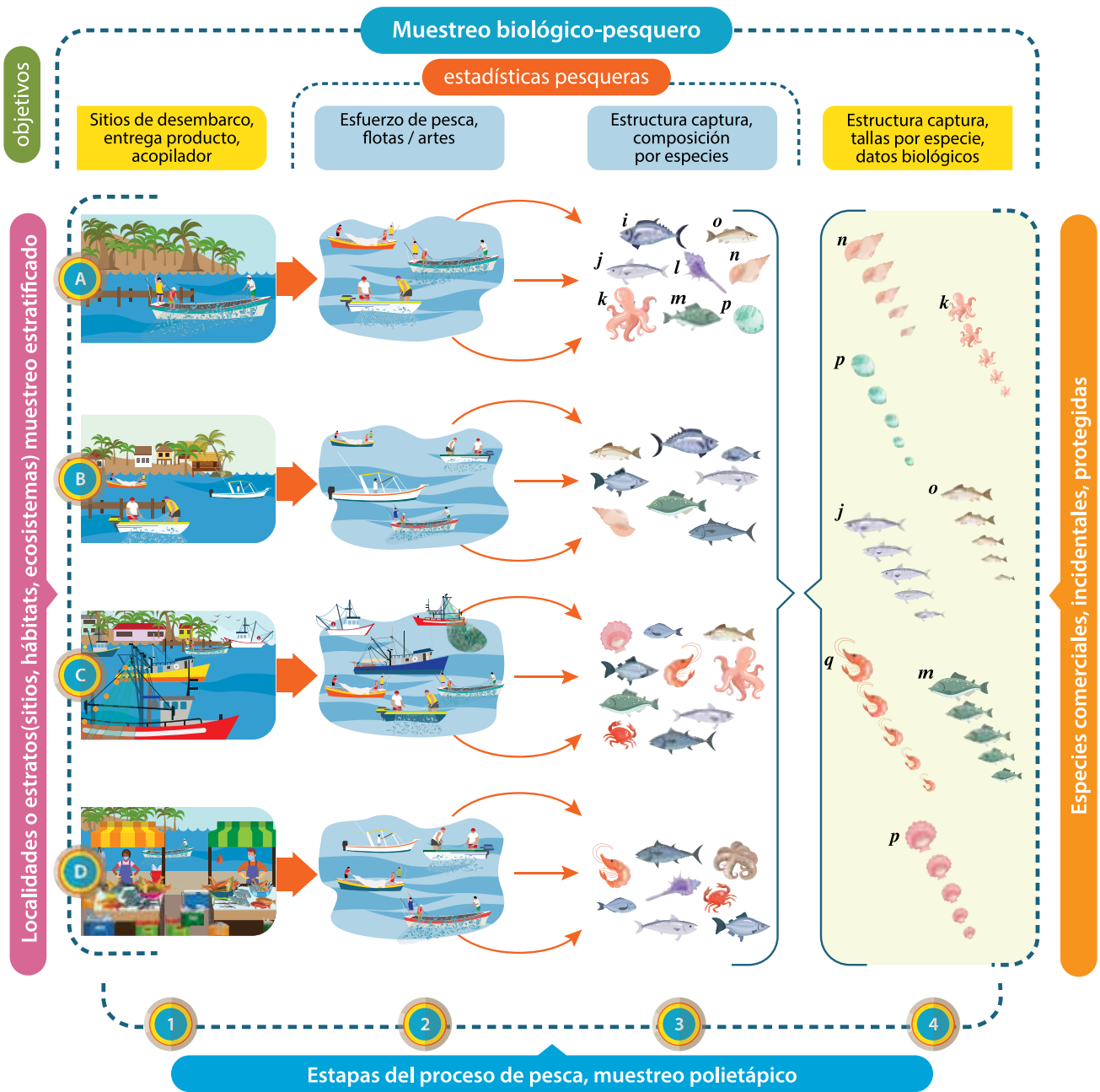


Figura 1. Representación esquemática de la base conceptual para la definición de un diseño de muestreo estratificado polietápico para pesquerías artesanales, con el objetivo de obtener registros estadísticos pesqueros y biológicos-pesqueros para la administración del ordenamiento pesquero con bases científicas.

En la práctica, los estratos (letras A a D, en la figura 1) podrían ser puertos o sitios de desembarco, diferentes ambientes en aguas continentales, sitios de entrega o concentración de producto; y en cada estrato habrá que identificar las etapas del proceso.

Desde la perspectiva de la administración institucional ligada al ordenamiento pesquero, la información clave como estadísticas pesqueras está vinculada a los aspectos socioeconómico; esto es, con los volúmenes de captura por especie por embarcación, su valor; y el esfuerzo de pesca en términos, por ejemplo, de embarcaciones y días de pesca; conviene registrar otro tipo de información como puede ser aquella de carácter geográfico como son localidades

de pesca, profundidad, si es el caso, sitio de desembarco etc. Desde la perspectiva científica, la captura por especie es un dato relevante dado que refleja información del recurso sujeto a explotación; mientras que en el caso del esfuerzo de pesca la información relevante consiste en determinar la unidad de esfuerzo que mejor refleje la mortalidad causada por la pesca. La captura y el esfuerzo de pesca serán finalmente los objetos de control en un ordenamiento, de ahí la importancia de garantizar confianza y representatividad estadísticas de la información colectada. Generalmente la unidad de esfuerzo más precisa es también la que implica mayor costo de obtención y esto suele limitar el tipo de unidad de esfuerzo a registrar. Lo usual es que, dependiendo de cada caso particular, se diseñe un sistema de registro específico y particular pensando, preferentemente, en que sea información a tomar continuamente en el mediano y largo plazos.

Para que la información sea representativa, debe de tenerse en cuenta, i) el nivel de confianza esperado o deseado, y ii) la precisión deseada de los datos tomados respecto al atributo objetivo. Ambas características se vinculan a la variabilidad propia del atributo objeto de medición.

La medición del tamaño de muestra es un concepto claramente definido en estadística a través de la relación

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{e^2} \quad (1)$$

donde n = tamaño de muestra, α representa el nivel de confianza (expresada en términos del estadístico t como $(1 - \alpha)$, y e es el error, y representa la precisión o margen de error aceptable. Si, por ejemplo, se pretende registrar para las estadísticas pesqueras el número de embarcaciones que operan por día, el tamaño de muestra sería definido como n en la relación anterior, empleando la captura por embarcación como medida para calcular la varianza, asignándosele previamente tanto el nivel de confianza deseado, como el error aceptable o margen de precisión. En este ejemplo los volúmenes de captura por embarcación se usarán para determinar la varianza; sin embargo, en este caso particular de un muestreo orientado a los registros de estadísticas pesqueras, la sugerencia es emplear inicialmente el volumen total de las capturas de todas las especies ya que esta medida refleja directamente la capacidad de pesca.

Caso diferente sería si el objetivo del muestreo fuera la especie, y aunque el tamaño de muestra podría estar definido también por el número de embarcaciones por día, la varianza estará proporcionada por las capturas específicas de la especie objetivo. Evidentemente las varianzas de las capturas global y por especie serán diferentes, y el segundo caso, el muestreo orientado a las especies, sería más propio para objetivos asociados a estudios biológico-pesqueros, donde se espera que las especies deben de estar claramente diferenciadas. Una vez definida la variable objetivo y el tamaño de muestra, podrían adicionarse, en términos de registro de estadísticas pesqueras, los atributos secundarios. Para el muestreo biológico-pesquero, el tamaño de muestra deberá definirse en función del(os) atributo(s) que se considere(n) prioritario(s) o esencial(es), teniendo en cuenta que

el objetivo de la información es la especie. Supongamos que se quiere estimar el tamaño de muestra N en términos del número de organismos a medir de una especie (j) en particular. En este caso, por ejemplo, habrá, inicialmente, dos variables vinculadas de las cuales debe estimarse un tamaño de muestra; esto es, deberá estimarse el número de individuos (n) de una la especie (j), y el número de embarcaciones (b) a muestrear. Entonces el tamaño de muestra será una función de las varianzas (S^2) de las dos mediciones; esto es

$$n_{j,l,b} = f(S_l^2, S_b^2) \quad (2)$$

Debe notarse en este planteamiento que tanto el volumen de captura como la estructura por tallas de las capturas entre embarcaciones no es idéntica, de ahí que haya variabilidad específica entre las capturas de las embarcaciones.

De acuerdo con esto, si la variabilidad de tallas (l) de los organismos tiene una amplia dispersión, al igual que la captura por embarcaciones, el tamaño de muestra será grande, y viceversa. En consecuencia, la decisión sobre la confianza estadística y la precisión de la medición deseadas tendrá una relación estrecha con el tamaño de muestra. Por ejemplo, un alto nivel de confianza, con alta precisión y alta varianza implicará un tamaño de muestra mayor que alguna alternativa diferente. Generalmente la decisión sobre el tamaño de muestra con alta confianza, representatividad y precisión sería ideal, pero altamente costoso. En este contexto es posible incluir el costo del muestreo para tener una guía para tomar decisiones sobre el mejor tamaño de muestra posible dado el presupuesto disponible. Considérese la siguiente función de costos

$$C_T = C_1 m_b + C_2 m_b n_j \quad (3)$$

donde C_T es el costo total, C_1 es el costo relativo al localizar una embarcación y registrar la información de captura, y C_2 es el costo de medir un pez de la captura; m representa el tamaño de muestra en número de embarcaciones y n el tamaño de muestra en número de peces de la especie j . De acuerdo a esta información es posible construir una figura de isovarianzas e isocostos que permite identificar la mejor combinación posible de número de embarcaciones y número de organismos a medir para un tamaño de muestra con criterios fijos de confianza y precisión (figura 2). Así mismo, es posible obtener estas mismas curvas para diferentes niveles de precisión-confianza y costos; por ejemplo, en la misma figura 2 se muestra el cambio de posición de las líneas de isovarianza e isocostos a diferentes niveles de precisión en los registros, indicando esencialmente que un menor tamaño de muestra reflejado por un menor número de embarcaciones y menor número de peces a medir implica menor precisión en los registros y viceversa.

Si de acuerdo al objetivo de las investigaciones hubiera otra(s) variables biológicas de interés adicionales a las capturas por especie (j) obtenidas por las embarcaciones (b), como por ejemplo sexo (s), estado de madurez gonádica (mad), abundancia de reclutas (rec), adultos maduros (RS), etc., la varianza combinada de ellas afectaría en el tamaño de muestra global. Esto es:

$$n_{j,l,b,s} = f(S_l^2, S_b^2, S_s^2 \dots) \quad (4)$$

donde el tamaño de muestra del número de individuos a medir de la especie j , de la embarcación b , del sexo s , será una función de la combinación de las varianzas observadas de cada uno de los atributos.

Evidentemente, dado que la varianza de los registros es proporcional al tamaño de muestra, y este es a su vez proporcional a los costos de la toma de los registros, llevar un diseño de muestro incorporando todos estos atributos sería probablemente muy costoso. En este sentido se tendrá que elegir primariamente cuales registros son prioritarios en un sistema de registro sistemático dejando los otros registros para otras estrategias de muestreo específicas.

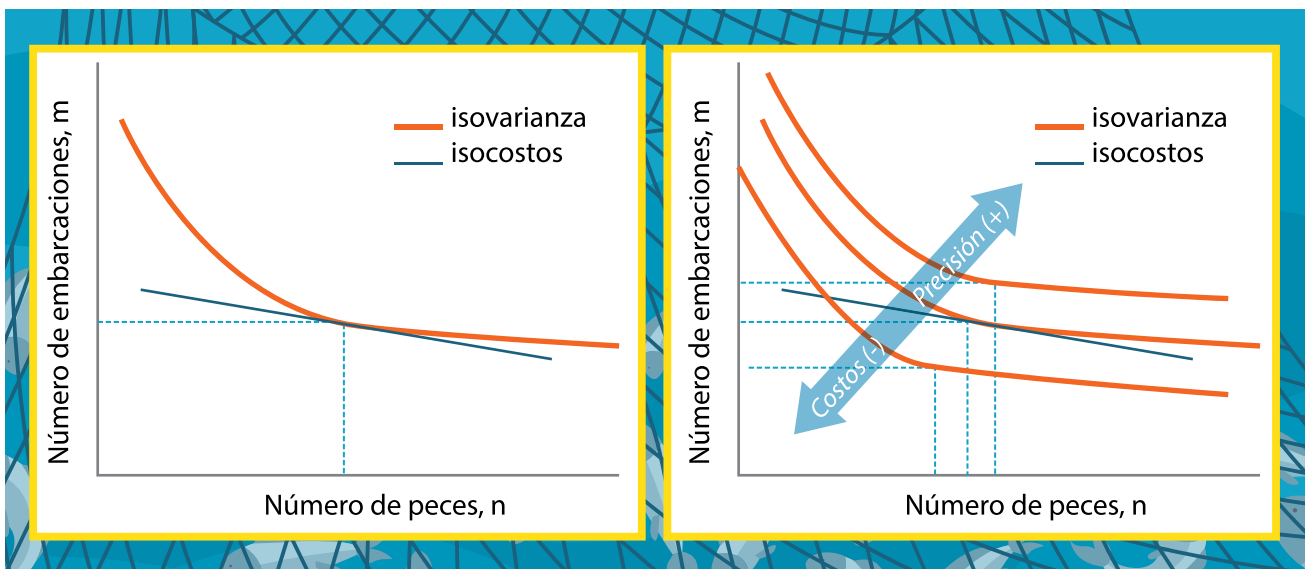


Figura 2. Curvas de isovarianzas e isocostos para la estimación de tamaño de muestra para información biológico-pesquera. El gráfico de la izquierda representa la línea de isovarianza que refleja diferentes combinaciones de tamaños de muestra entre número de embarcaciones y el número de individuos a medir. Menor número de individuos con mayor número de embarcaciones y viceversas, manteniendo el mismo nivel de confianza y precisión. El gráfico de la derecha muestra diferentes líneas de isovarianza e isocostos para diferentes niveles de precisión, aumentando la precisión con mayor número de embarcaciones y peces, pero a mayor costo, y viceversa. (ver Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez 1990,1991).

Si bien los ejemplos ilustrados anteriormente fueron desarrollados para un solo estrato, y para efectos del ejemplo un estrato se definió como equivalente a un sitio de desembarco, el desarrollo conceptual para el muestreo estratificado polietápico (figura 1) es análogo, donde se combinen, por ejemplo, el número de embarcaciones como objetivo de registro y el número estratos; esto es,

$$n_{j,x,b} = f(S_x^2, S_b^2) \quad (5)$$

donde $n_{j,x,b}$ representa el tamaño de muestra del número de individuos en la captura

de la especie j , capturados por la embarcación b , en el estrato x . La consideración para todos los estratos implica necesariamente agregar los estratos y dentro de cada estrato identificar las diferentes etapas.

Implementación de un diseño de muestreo

La implementación de un esquema como el ilustrado requiere de una estrategia específica. Para obtener los primeros estimadores de tamaños de muestra factibles para las especies de interés, habrá que desarrollar un muestreo preliminar. Para ello hay que reconocer primariamente la información objetivo y las características de las operaciones de pesca tales como estratos, etapas, embarcaciones, especie objetivo; artes de pesca; así como la asociada, sitios de pesca, días de pesca etc. Con esta información se sugiere construir un diagrama análogo a la figura 1.

Habrà que desarrollar un muestreo piloto intensivo a partir del cual se obtenga la información para desarrollar los estimadores análogos a los arriba mencionados. Esto requiere de una persona con experiencia en diseño de muestreo y personal que colecte la información. Para cada etapa del proceso habrá que calcular los costos correspondientes. Este muestreo piloto no necesariamente será representativo, en esencia será de mucha utilidad para obtener los elementos a incorporar en las ecuaciones 1 a 5, según corresponda. Se sugiere iniciar con las especies y los estratos más representativos de la actividad pesquera.

Cuando se formula un diseño de muestreo estratificado no es extraño que algunos estratos no muestren diferencia significativa entre si en cuando a las variables de interés. Supongamos cada puerto como un estrato, y que un grupo de puertos es similar a otros y lo mismo ocurre con otro conjunto, pero hay diferencias entre ambos conjuntos. En este caso cada conjunto funcionaría como un estrato, y en el diseño de muestreo, cada ocasión a muestrear el puerto dentro de cada estrato deberá de ser elegido aleatoriamente. Se tiene entonces un muestreo aleatorio estratificado, y en su caso polietápico.

En el ejemplo anterior, para identificar cuales localidades se pueden agrupar con otras (indicando que no hay diferencias significativas entre ellas) se pueden emplear diversas técnicas. Por ejemplo, si se tiene información sobre la composición de las capturas por especie (en volumen o número) por embarcación puede aplicarse algún tipo de análisis de agrupamientos como pueden ser Análisis de Componentes Principales, Análisis de Factores, Análisis de Clusters, Escalamiento Multidimensional (Borg y Groenen, 1997), entre otros. La idea central es que la estructura por especies de las capturas por embarcación definirá por sí misma una regionalización de las localidades, correspondiendo dicha regionalización a la base de información para seleccionar los estratos del diseño de muestreo (Figura 3).

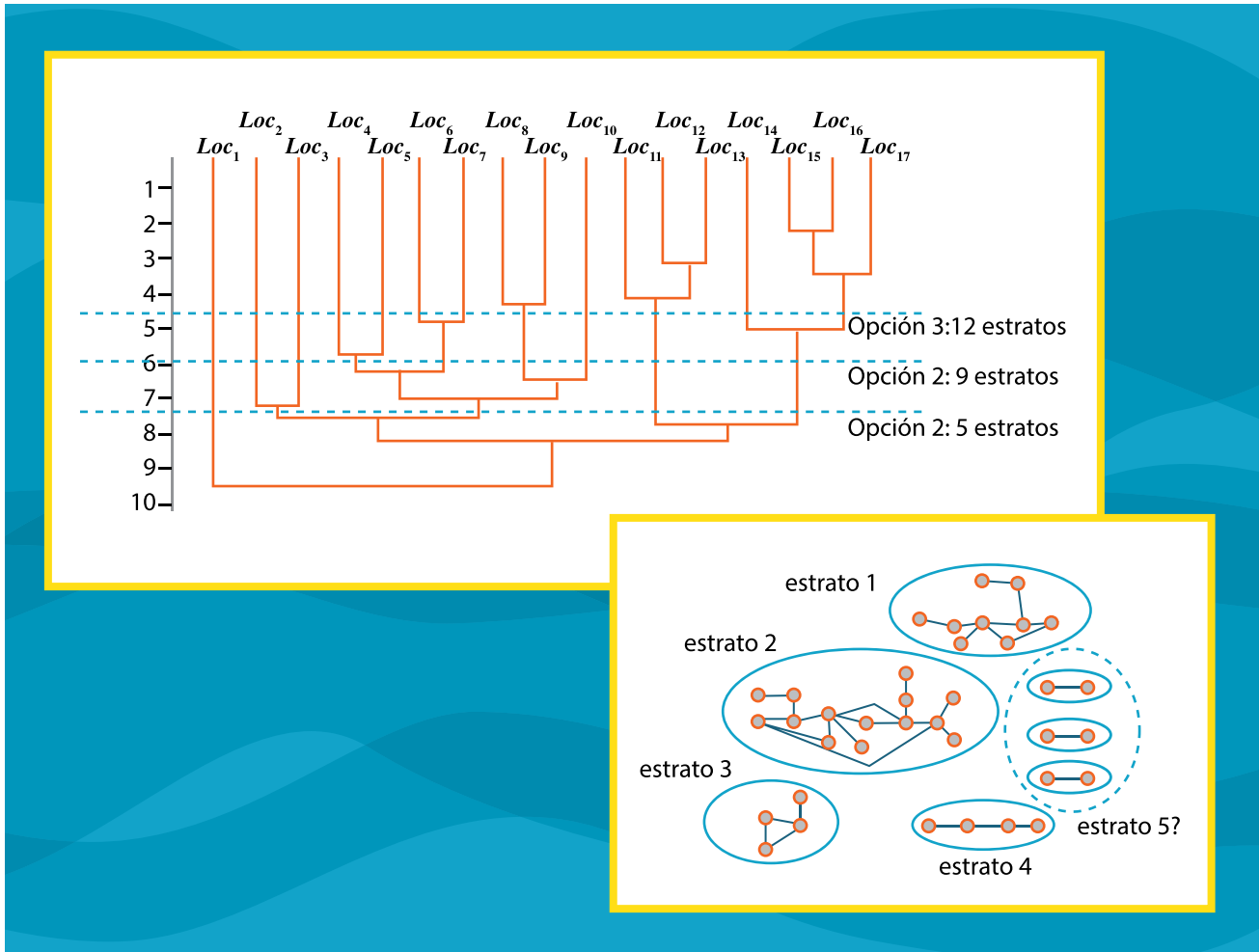


Figura 3. Ejemplos de análisis de agrupamientos de localidades, $Loc_{\#}$ de acuerdo a las especies registradas en las capturas (izquierda), y círculos grises (derecha), por dos procedimientos diferentes. En el caso de la izquierda se ilustran tres niveles de decisión donde cada estrato corresponde a una o varias localidades, La ilustración de la derecha muestra una opción de agrupamientos de localidades. Los tres subgrupos que quedan aislados (dentro de la línea punteada) podrían constituir, en conjunto, un solo estrato entre sí. En este caso las líneas que encierran los conjuntos de localidades se definen por la similitud entre ellas de tal suerte que diferentes niveles de similitud definirán diferente número de estratos. En ambos casos el número de estratos que se defina estará asociado a diferentes niveles de costos de muestreo.

La figura anterior ilustra este tipo de enfoque donde los métodos estadísticos de agrupamientos pueden ofrecer la posibilidad de valorar las decisiones del sistema de registro de datos de acuerdo con el costo. Para implementar el sistema de registro de datos, supóngase la ilustración de la izquierda en la Figura 3 (resultante del diseño de registro de información de acuerdo a la Figura 1, llevado a isocostos, isovarianzas y niveles de precisión de acuerdo a la Figura 2). Una vez seleccionados el número de estratos a considerar habrá que decidir que localidades se visitarán dentro de cada estrato. Por ejemplo, si en la Figura 3 se decidieran 5 estratos, las localidades asignadas a cada uno serán las siguientes:

estrato	localidades
1	1
2	2 y 3
3	4 a 10
4	11 a 13
5	14 a 17

Para aquellos estratos donde haya más de una localidad, el sitio de desembarco a visitar para la toma de registros, dentro de cada estrato, deberá de ser elegido aleatoriamente, con el fin de evitar potenciales sesgos. En términos del registro de estadísticas pesqueras deberán de diseñarse formatos que registren la información pertinente a coleccionar cada vez que se entreviste una embarcación, y cada vez que se colecciona información biológica. Para estudios específicos habrá que adicionar la información necesaria de manera puntual.

De manera particular el diseño de muestreo sobre un recurso (especie) en particular, y de varias especies capturadas por una flota en una localidad se ilustran paso a paso en los anexos 1 y 2 (Solana-Sansóres y Arreguín-Sánchez 1990, 1991, respectivamente).

Métodos de análisis para evaluación del estado de explotación

La ausencia prácticamente total de datos biológico pesqueros para la evaluación del estado de explotación de los recursos es una condición frecuente en la pesca artesanal, y particularmente en la pesca de aguas continentales, pero también en pesquerías marinas, especialmente donde los recursos son de bajo valor económico. En este contexto se propondrá una estrategia basada en métodos que puedan aplicarse de manera simple y en el corto plazo; esto ayudará a obtener información mínima pero científicamente consistente, sobre el estado de explotación de los recursos, así como a dar seguimiento al mismo mientras se va acumulando información para estar en posibilidad de aplicar análisis más detallados, y con mayor grado de robustez en cuanto a precisión y eventualmente incorporar análisis de incertidumbre y riesgo en la toma de decisiones.



Condición de ausencia (total) de datos

En este caso se representa la condición cuando no existen registros prácticamente de ningún tipo de información, ni capturas y tampoco información biológico-pesquera; o bien que estos son dispersos e imprecisos como para basar en ellos un análisis científico.

Para una estrategia de este tipo lo primero que debe de ser considerado es de personal con suficiente experiencia en las disciplinas de biología pesquera y evaluación de existencias. La razón de ello es que, al no existir información, los métodos de análisis deberán ser seleccionados con cuidado, y deben considerarse de manera especial los supuestos, en ocasiones los algoritmos de solución, así como las condiciones de aplicación, lo cual es necesario para la adecuada interpretación de los resultados para soportar criterios de manejo y la toma de decisiones.

Una parte esencial es identificar, en el estudio de caso, cuál es la información relevante a ser colectada, lo cual depende de las necesidades y objetivos particulares. El presente caso se orientará un ejemplo hacia la determinación del estado de explotación de un recurso, bajo el supuesto de ausencia total de datos; así como a la determinación de cuál es el esfuerzo de pesca que debe aplicarse y las medidas básicas a tomar para orientar un aprovechamiento sostenible.

La información primaria relevante se refiere la cantidad de pesca (C) que se obtiene en relación a la población disponible (N). A la razón de esta relación se le denomina tasa de cosecha (HR) y si es referida a una unidad de tiempo t determinada es expresada como $HR_t = C_t / N_t$, expresando captura y tamaño de la población en número; o bien $HR_t =$

Y_t/B_t para expresarla en peso donde Y_t y B_t representan captura y biomasa en peso. El tamaño de la población susceptible de ser capturada, N_t , es representada como

$$N_t = N_{t-1}e^{-(M+F_t)} + R_t \quad (6a)$$

donde t y $t-1$ representan edades sucesivas, supongamos un año; y $e^{-(M+F_t)}$ representa la supervivencia S_t y dos fuentes de mortalidad, por pesca F_t y natural M , supuesta, por facilidad como constante; siendo $Z_t = M+F_t$, donde Z_t es la tasa instantánea de mortalidad total. En este contexto la mortalidad por pesca es, a su vez representada como $F_t = qE_\tau$, siendo E_τ el esfuerzo aplicado en la unidad de tiempo τ ; q es el coeficiente de capturabilidad que representa un factor de proporcionalidad entre el esfuerzo de pesca aplicado y la mortalidad por pesca afectiva; y R_{t_0} representa la cantidad de organismos que se reclutan a la población a la edad t_0 como resultado del éxito de la reproducción. De esta manera, si se conoce la captura a la edad C_t y se estiman estas cantidades se podrá obtener una medida del estado de explotación del recurso; siendo la tarea esencial obtener los datos necesarios para realizar estas estimaciones.

La captura puede obtenerse de acuerdo al diseño de muestreo ilustrado en la figura 1 y las ecuaciones (1) a (5) según sea el caso. Por otro lado, si consideramos la supervivencia S_t se estima a partir del conocimiento de la estructura por edades. Si τ representa un periodo anual entonces cada unidad de tiempo estará representando una generación correspondiente a un ciclo de reproducción completo si la edad se mide como años; entonces la ecuación (6a) se representa como

$$N_{t,\tau} = N_{t-1,\tau-1}e^{-(M+F_{t,\tau})} + R_{t_0,\tau} \quad (6b)$$

De acuerdo con esto, la supervivencia de una edad a la siguiente será expresada por la relación

$$e^{-(M+F_{t,\tau})} = e^{-Z_t} = N_{t,\tau} / N_{t-1,\tau-1} \quad (7)$$

relación que es representada para varias edades consecutivas en la figura 4, donde la pendiente correspondiente al decremento del número de individuos con la edad será la estimación de Z_t .

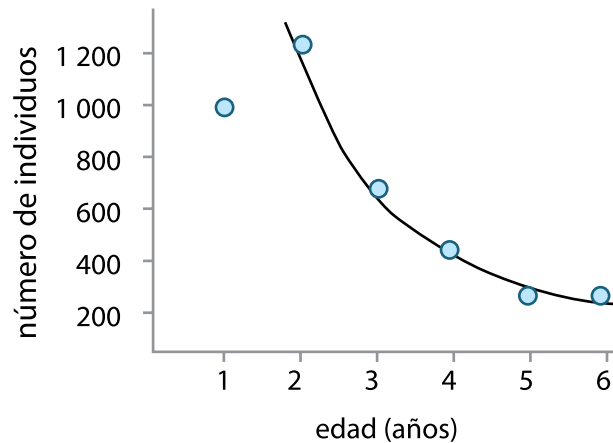


Figura 4. Cambio en el número de individuos con la edad y estimación de la tasa instantánea de mortalidad total (pendiente).

El número de individuos se obtiene del muestreo de las capturas comerciales a través de la medición de sus tallas (i.e. longitud total) y para la estimación de la edad habrá que estimar la ecuación de crecimiento (Bertalanffy, 1938) descrita como:

$$l_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad (8)$$

donde l es la longitud a la edad t , mientras que L_∞ , K y t_0 corresponden a la longitud máxima asintótica, el coeficiente de crecimiento y la edad hipotética a una longitud $l = 0$.

Resumiendo, los procedimientos anteriores, si se tiene una muestra de las capturas comerciales y de su estructura por tallas será posible estimar los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, de la misma estructura de tallas se puede definir la estructura por edades. De la asignación de número de individuos a la edad se puede construir un gráfico como el de la figura 4 y estimar la tasa instantánea de mortalidad total. Por un método independiente puede estimarse la tasa instantánea de mortalidad natural, por diferencia con la tasa instantánea de mortalidad total se obtiene la tasa instantánea de mortalidad por pesca. Con esta información se podrá estimar la tasa de cosecha y por tanto el estado de explotación del recurso. Si además se cuenta con un dato de captura confiable se puede obtener la magnitud de la biomasa disponible.

Ejemplo de evaluación instantánea en ausencia total de datos

La forma de aplicar los procedimientos que se mencionarán a continuación supone la necesidad de una evaluación rápida, prácticamente instantánea. Esta condición implica la necesidad de tomar varios supuestos y eso conlleva a limitaciones en los resultados y su interpretación. Por favor revise el anexo 3 con el objeto de identificar los principales supuestos y limitaciones. Se destaca que esta condición no tiene que ver con la teoría científica detrás de los métodos, sino más bien con la naturaleza de los datos. Supóngase en principio que se visita uno de los sitios de desembarco más activos y se toman muestras de las capturas por embarcación, y de estas la estructura por tamaños de los individuos. Supóngase la información de la tabla 1, representando una muestra instantánea de la distribución de frecuencia de longitudes en las capturas; y supóngase también que se logra registrar / estimar la captura total (en volumen y número de individuos) de los desembarques de la localidad en el día.

Crecimiento y mortalidad natural

De acuerdo con Taylor (1958),

$$L_{\infty} = L_{max}/0.95 \quad (9)$$

y del ejemplo en la Tabla 1, $L_{\infty} = 61$

Con esta primera aproximación al valor de L_{∞} se puede emplear el método NSLCA propuesto por Shepherd (1987) y ajustado por Pauly y Arreguín-Sánchez (1995) para afinar la función de optimización para la estimación de los parámetros de crecimiento. El procedimiento se sintetiza en el cuadro 2 y un ejemplo se incluye en el anexo 4 a partir de los datos de la Tabla 1.

Tabla 1. Muestra de la distribución de frecuencia de longitudes en las capturas

Longitud (cm)	número	Longitud (cm)	número
17	3	38	47
18	10	39	40
19	31	40	43
20	44	41	39
21	68	42	34
22	82	43	27
23	61	44	24
24	61	45	25
25	49	46	27
26	32	47	29
27	26	48	29
28	29	49	27
29	31	50	22
30	37	51	22
31	42	52	20
32	50	53	18
33	56	54	14
34	60	55	11
35	61	56	5
36	59	57	3
37	54	58	1

En términos generales el método se basa en una función de prueba que es gobernada por la ecuación de von Bertalanffy y que considera la estructura de tallas de la muestra en la cual está representada la estructura por edades de la población. La función tiene la forma

$$T(\ell) = \frac{\text{sen } \pi (t_{max}-t_{min})}{\pi (t_{max}-t_{min})} \cos 2\pi(\bar{t} - t_s) \quad (10)$$

donde ℓ representa cada clase de longitud en la distribución de frecuencia de tallas de la muestra, t_{max} y t_{min} son representan la edad a la longitud de los límites inferior y superior de la clase de longitud (calculado a partir de los parámetros de la curva de von Bertalanffy, \bar{t} es la edad promedio entre los límites anteriores, y t_s corresponde a la fracción del año en la cual la muestra fue tomada. Cuando la ecuación (10) es aplicada a la muestra se emplea una función de maximización como sigue

$$S = \sum_{\ell=1}^n \sum_{i=1}^u (N(\ell, i)^{0.5}) \Delta t \cdot T(\ell, i) \quad (11)$$

donde i representa la muestra de distribución de frecuencia de longitudes.

Para asignar los diferentes valores de t de la ecuación 10 se emplean valores de los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy. El procedimiento es probar valores de K y L_{∞} hasta encontrar aquellos que maximicen la ecuación (11), S_{max} . En la ecuación (11) Δt es el ajuste propuesto por Pauly and Arreguín-Sánchez (1995) para mejorar el desempeño de la función resultando en un solo máximo al probar valores sucesivos de los parámetros de crecimiento, donde $\Delta t = t_{max} - t_{min}$.

Los datos de la tabla 1 fueron arreglados en intervalos de 3 cm y se aplicó el método con los siguientes resultados, $K = 0.563$ y $L_{\infty} = 60$.

Para la estimación de t_0 hay dos posibilidades fáciles de realizar. Si se tiene el dato de la longitud del juvenil más pequeño, puede emplearse este valor y sustituirlo en la ecuación (8) despejando t_0 y asignando un valor de $t = 0$. Otra manera es usando el estimador que ofrece Shepherd (1987) como parte del mismo método SLCA, esto es

$$t_0 = \frac{1}{2\pi} \arctan\left(\frac{B}{A}\right)$$

lo cual, para el ejemplo de la tabla 1 resulta en $t_0 = 0,125$

Por lo que se refiera a la estimación de mortalidad natural M se han propuesto varios métodos, y de manera particular se sugiere revisar el trabajo de Kenchington (2014) quien hace una revisión de un total de 29 métodos que requieren poca información. Se hace énfasis, sin embargo, que en general cada método fue diseñado tomando en consideración supuestos o condiciones para su aplicación, los cuales son importantes al momento de interpretar resultados. En el presente caso se aplicarán solo algunos de esos métodos basados en la información disponible (la estructura de tallas y parámetros de crecimiento de von Bertalanffy).

Tabla 2. Estimaciones de la tasa instantánea de mortalidad natural, M , de acuerdo a varios autores. Solo se emplean métodos basados en datos de longitud y los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy.

Función / ecuación	referencia	M	comentarios*
$M \approx \left[\frac{3}{t_0 - \frac{\text{Ln}(0,5/L_\infty)}{K}} \right]$	Alagaraja (1984)	0,348	Sustituye t_{max} de la ecuación de Tanaka (1960)** con t_∞ , y asume que 1% o 5% de los individuos sobreviven t_∞ . Biológicamente poco consistente.
$M = -0,1778 + 3,1687 \cdot K$	Ralston (1987)	1,606	Pauly y Binohlan (1996) definen relación entre M y K para 29 especies de serránidos y lutjánidos.
$\text{Log } M = 0,0278 - 0,1172 \cdot \text{Log}(L_\infty) + 0,5092 \cdot \text{Log}(K)$	Djabali et al. (1993)	0,492	Variante del modelo de Pauly (1980) para peces del mediterráneo donde la temperatura no fue significativa. Emplea el método de Tanaka (1960) para estimación de las constantes.
$\text{Ln}(M) = 0,42 \cdot \text{Ln}(K) - 0,83$	Frisk et al. (2001)	0,343	Relación entre M y K para elasmobranquios encontrando diferencia significativa con peces teleósteos.
$M = 4,31 \cdot \left[t_0 - \frac{\text{Ln}(0,05)}{K} \right]^{-1,01}$	Cubillos et al. (1999)	0,778	Derivado del estimador de Hoenig sustituye t_{max} observada por $0,95 \cdot L_\infty$
$M = 1,5 \cdot K$	Jensen (1996)	0,845	Simplificación teórica derivada de los datos base de Pauly (1980) poco consistente.
$M(l) = 1,73 \cdot l^{-1,61} \cdot L_\infty^{1,44} \cdot K$	Gislason et al. (2010)	1,38 ** 0,52 ***	El método genera valores que disminuyen con la edad (inverso a lo esperado en el proceso de senescencia).
$M(l) = K \cdot \left(\frac{1}{L_\infty} \right)^{1,5}$	Charnov et al. (2013)	1,48 ** 0,57 ***	Simplificación del modelo de Gislason.

* Adaptados de Kenchington *et al.* (2014)

** valor medio ponderado considerando todas las clases de longitud de la tabla 1.

*** El estimador da valores de M por clase de longitud. Sólo se consideraron tallas $l \geq l_c$, donde l_c es la longitud de primera captura; estimándose un valor medio ponderado (usando el número de individuos a la talla como factor de ponderación).

Estimación de estructura por edades y mortalidad total Z

Una vez conocidos los parámetros de crecimiento de la curva de von Bertalanffy la siguiente etapa será la estimación de la tasa instantánea de mortalidad total, de acuerdo con la ecuación 7 (figura 4). Para ello será necesario, primero, identificar las edades presentes en la muestra; y segundo, asignar en número de individuos a cada edad. El supuesto base es que cada edad es representada por una distribución normal, cuya media y varianza va cambiando a lo largo de la ontogenia; de esta manera, una muestra de frecuencia de longitudes contendrá la información de las distribuciones normales mezcladas de las diferentes edades que la componen. Para la extracción de los componentes normales de la distribución se pueden emplear diferentes técnicas. En el presente ejemplo se usa una aproximación gráfica simplificada del método de Bhattacharya (1967) como se explica a continuación (ver Sparre y Venema, 1998; para el procedimiento analítico).

A partir de los datos de la tabla (columnas A y B, de la tabla 3), se calcula $L_n(n)$, donde n es el número de individuos en cada clase de longitud (columna C). En la columna D se estiman las diferencias de los logaritmos de las frecuencias, $dif \ln(n)$, tal que la primera celda será $\ln(n+1) - \ln(n)$; la siguiente celda será $\ln(n+2) - \ln(n-1)$... y así sucesivamente.

Se construye un gráfico entre $dif \ln(n)$ (columna D) respecto al límite inferior de la clase de longitud correspondiente; por ejemplo, 1.753 de columna D, con 17 de la columna A (figura 5). Tómese el valor más alto de $dif \ln(n)$ correspondiente a la longitud media más pequeña (en el ejemplo corresponde al primer valor, a la izquierda en la gráfica). Seleccione la serie de puntos con tendencia negativa (sin forzar la selección, solo los que correspondan claramente a la tendencia decreciente. En el ejemplo, corresponde a los tres primeros puntos. Construya la gráfica análoga con los valores seleccionados y calcule los parámetros a_1 y b_1 de regresión (figura 6a). Elimine los puntos seleccionados y con el resto construya un gráfico análogo a la figura 5. Ubique los valores que mejor se ubiquen con una muy clara tendencia negativa. En el ejemplo, este segundo grupo comprende las $dif \ln(n)$ correspondientes a las longitudes 31 a 39. Note que los valores para las longitudes 25 a 29 no mostraban la tendencia decreciente y por ello no se utilizan (figura 6b). Para esta tendencia seleccionada se estimarán los parámetros a_2 y b_2 de regresión. Se repite el mismo procedimiento para las longitudes siguientes, en este caso, de acuerdo con el ejemplo (tabla 3) se eligieron los valores correspondientes a las longitudes 47 a 53, haciéndose notar que los valores de las longitudes 41 a 45 no se emplean en las estimaciones. Nuevamente se estiman los parámetros a_3 y b_3 de regresión (figura 6c). En el ejemplo las siguientes longitudes, 55 y 57, ya no permiten definir otro grupo. En su caso, la secuencia de procedimientos se repetirá hasta los últimos datos de frecuencia de longitudes.

Tabla 3. Cálculos para identificación de los grupos de edad presentes en la distribución de frecuencia de longitudes de acuerdo a una versión gráfica simplificada del método de Bhattacharya (1967). Para explicación ver texto. Los colores corresponden a aquellos

A	B	C	Dif ln(n)	E	F	G
Lmed	num	ln(n)	dif ln(n)	dif ln(n) E1	dif ln(n) E2	dif ln(n) E3
17	13	2,565				
19	75	4,317	1,753	1,753		
21	150	5,011	0,693	0,693		
23	122	4,804	(0,207)	(0,207)		
25	81	4,394	(0,410)		(0,410)	
27	55	4,007	(0,387)		(0,387)	
29	68	4,220	0,212		0,212	
31	92	4,522	0,302		0,302	
33	116	4,754	0,232		0,232	
35	120	4,787	0,034		0,034	
37	101	4,615	(0,172)		(0,172)	
39	83	4,419	(0,196)		(0,196)	
41	73	4,290	(0,128)			(0,128)
43	51	3,932	(0,359)			(0,359)
45	52	3,951	0,019			0,019
47	58	4,060	0,109			0,109
49	49	3,892	(0,169)			(0,169)
51	42	3,738	(0,154)			(0,154)
53	32	3,466	(0,272)			(0,272)
55	16	2,773	(0,693)			(0,693)
57	4	1,386	(1,386)			(1,386)

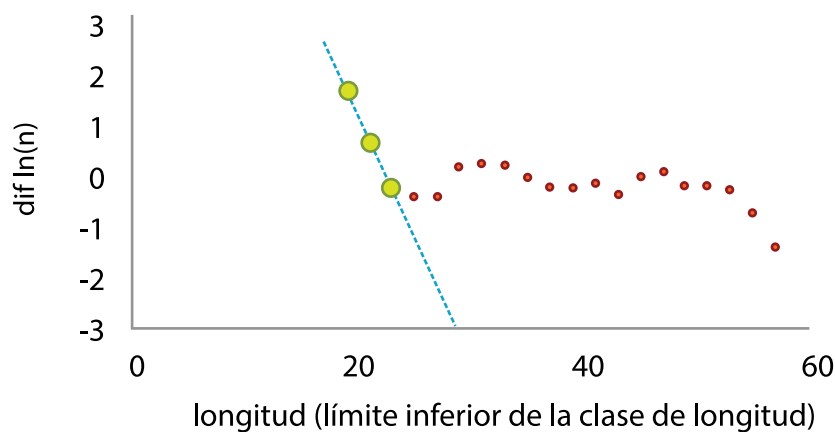


Figura 5. Arreglo inicial de datos para extraer componentes normales siguiendo el procedimiento de Bhattacharya (1967). Para explicación ver texto.

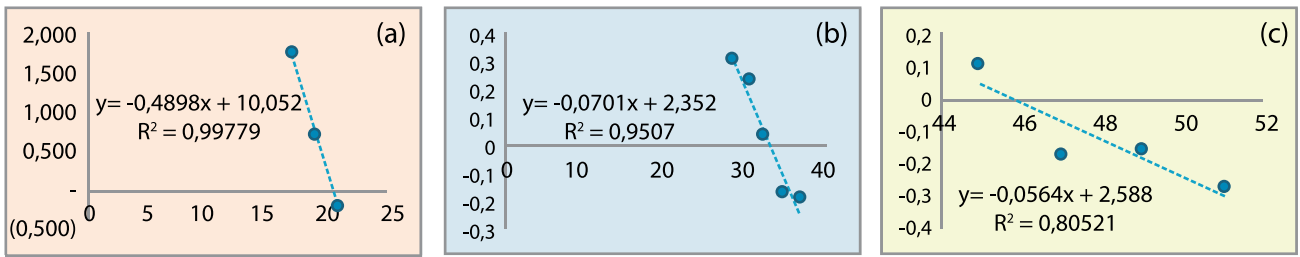


Figura 6. Selección de grupos de edad y su parametrización de acuerdo al método de Bhattacharaya (1967).

Cada línea de regresión en la figura 6 representa un grupo de edad con distribución normal; y para cada uno es posible estimar su longitud modal y su desviación estándar como sigue:

La longitud media de cada grupo de edad $\bar{L}_t = -(a/b)$; y la desviación estándar $sd_t = \sqrt{-1/b}$.

La idea base para la estimación de la estructura por edades es identificar el patrón o tendencia de la relación \bar{L}_t y sd_t de tal suerte que de la función resultante se puedan estimar los valores teóricos de \bar{L}_t y sd_t para todos los grupos de edad t .

En el caso de el ejemplo los valores para cada grupo de edad fueron los siguientes:

Tabla 4. Valores teóricos de longitud media y desviación estándar de los grupos de edad presentes en la distribución de frecuencia de longitudes de la Tabla 2.

edad	Lmed vB	desvest
1	23,34	2,04
2	39,12	3,78
3	48,11	4,77
4	53,23	5,33
5	56,14	5,65
6	57,80	5,84
7	58,75	5,94

Formalmente la estructura por edades para efectos de asignación del número de individuos de cada intervalo de clase de longitud a la edad correspondiente puede estimarse al construir una clave edad – longitud en términos de probabilidad, y de la superposición de las probabilidades obtener la probabilidad de que los individuos de una clase de longitud pertenezcan a una o más edades. El resultado de la matriz representativa de la clave edad –longitud en probabilidad se muestra gráficamente en la figura 7 (Anexo 5).

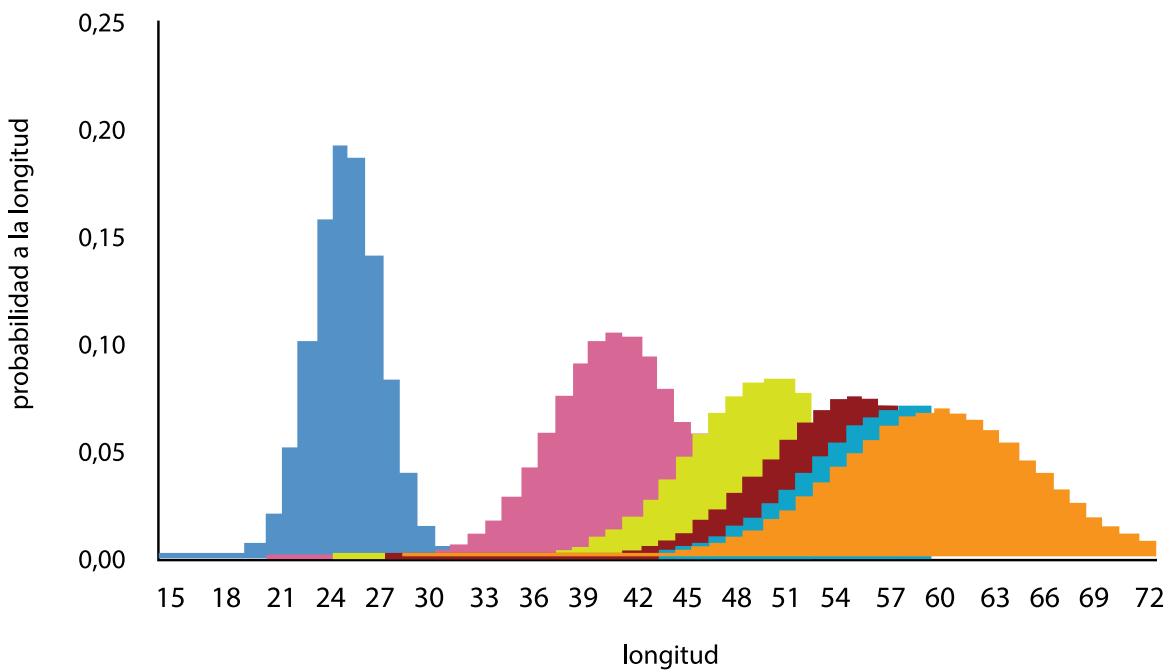


Figura 7. Distribución de probabilidad de los grupos de edad de la muestra de frecuencia de longitudes de la Tabla 2.

Dado que se trata de distribuciones normales estándar, la suma de las probabilidades es igual a la unidad (suma vertical en las columnas del anexo 5). Para la asignación de número de individuos a la edad de cada intervalo de longitud, hay que transformar la clave edad longitud de tal manera que la suma de las nuevas probabilidades por clase de longitud (renglones en anexo 5) sea igual a la unidad, correspondiendo el resultado a la matriz de transición (ver anexo 5).

Llamemos MT a la matriz de transición, para obtener la estructura por edades de la distribución de frecuencia de longitudes, basta considerar la relación

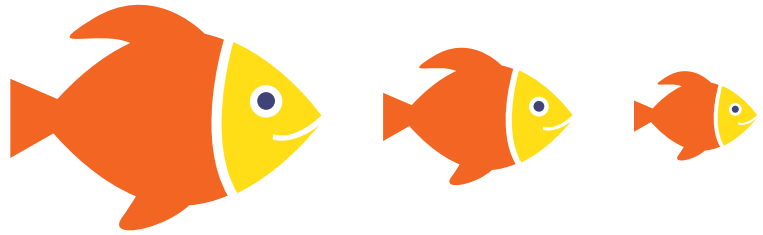
$$E = L^T \cdot MT \quad (12)$$

donde E representa la estructura por edades, L^T es el vector transpuesto de la distribución por longitudes de la captura, y MT la matriz de transición (anexo 5). Los resultados obtenidos con el ejemplo de distribución de frecuencia de longitudes (L^T) de la tabla 2 fueron los siguientes:

Número de individuos estimados a la edad

edad	número	Z(t)
1	593	
2	597	
3	140	1,04

4	63	0,13
5	35	0,04
6	25	0,01
Z _{pond} =		1,23



En la figura 8 se muestra la distribución de la estructura por edades. A partir de estos datos es posible obtener dos estimadores de mortalidad total Z ; el primero de ellos asumiendo que la mortalidad es similar para cada edad, obteniéndose fácilmente el estimador por regresión como $Z = 0,773$. Sin embargo, es fácil observar una potencial subestimación dada la pendiente parcial de la edad 2 a la 3 con respecto al resto. De esta manera se estimó la mortalidad parcial para cada edad, ponderándose con el número de individuos a la edad para efectos comparativos. De esta manera se obtuvo un estimador de $Z = 1,23$.

Alternativamente, se aplicó la fórmula de Beverton y Holt (1956) para obtener un estimado general de Z derivado de datos de longitud y aplicado usualmente cuando no hay datos de edad, dicha fórmula es descrita como:

$$Z = K \left(\frac{L_{\infty} - \bar{l}}{l - L_c} \right) \quad (13)$$

Tomando los valores de los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy y considerando valores de L_c y \bar{l} de 33 y 42, respectivamente, el estimador de $Z = 1,126$. En el contexto del ejemplo se considera más informativa la estimación derivada de la estructura por edades de la población, considerando la ponderación de los valores parciales de mortalidad total a la edad, adoptándose como mejor estimador $Z = 1,123$.

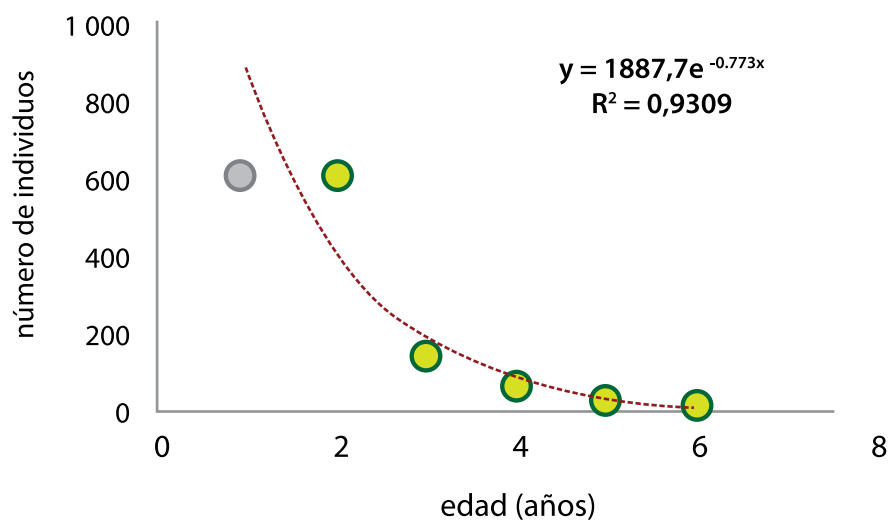


Figura 8. Estimación de la tasa instantánea de mortalidad total. El punto sombreado no fue empleado en la estimación por regresión.

Estado de explotación del recurso

En el presente contexto, se considera como diagnóstico del estado de explotación del recurso el tener una idea del grado de explotación; mas no la evaluación de existencias lo cual, en condiciones de ausencia de datos no sería posible. En este contexto hay dos criterios de interés. Gulland (1971) propone que el valor óptimo de mortalidad por pesca, F_{opt} , es aquel que iguala aproximadamente a M , esto es cuando $E_{opt} = \frac{F}{M+F} = 0,5$. Por otro lado, al inicio de la presente guía se mencionó que la tasa de cosecha, $HR = C/B$, es un buen indicador del estado de explotación del recurso dado que indica la proporción de la captura retenida respecto a la biomasa disponible. La teoría de dinámica de poblaciones sugiere que este valor debe de ser típicamente $HR < 0,5$ dado que esta condición implica que queda un remanente en el mar igual a lo que retuvo y por consiguiente capaz de replicarse a sí mismo por unidad de tiempo. Este concepto no es estricto porque depende en gran medida de la capacidad de restauración de cada población, y esto a su vez está asociado a su propia historia de vida. En un sentido precautorio, este nivel de referencia no sería propiamente el objetivo dado que cualquier fluctuación, especialmente por debajo del promedio de abundancia de la población, implicaría un riesgo a la sostenibilidad biológica. No obstante, es un buen indicador del estado de explotación del recurso pues nos indica la proporción de biomasa que es obtenida por la pesca. Evidentemente, los componentes de la ecuación implican la necesidad de disponer de un estimado de población que, en las condiciones "sin datos" o "datos limitados" difícilmente se tendrá. Consideremos, sin embargo, que la tasa de cosecha puede definirse a partir del conocimiento de las tasas de mortalidad por pesca y de mortalidad natural como sigue:

$$HR = \frac{F}{M+F} \cdot [1 - e^{-(M+F)}] \quad (14)$$

La expresión $e^{-(M+F)}$ representa la supervivencia asociada a las dos fuentes de mortalidad consideradas; natural, M , y por pesca, F . La expresión $[1 - e^{-(M+F)}]$ representa en consecuencia la fracción de la población que muere (1-supervivencia); y el cociente $\frac{F}{(M+F)}$ representa la proporción de muertes por pesca de toda la mortalidad. Por lo tanto, el producto de las proporciones de muertes totales y por pesca representa la proporción de la población que muere por pesca, que es justo la definición de la tasa de cosecha HR .

De acuerdo con esto consideremos las estimaciones de las tasas instantáneas de mortalidad natural (tabla 2):

Tabla 5. Estimación de tasa de cosecha a partir de los estimadores de las tasas instantáneas de mortalidad total y natural, considerando en este último caso los diferentes estimadores explorados.

M	método (M)	F	F/Z	HR	M/K
0,348	Alagaraja (1984)	0,882	0,717	0,420	0,618
0,492	Djabali <i>et al.</i> (1993)	0,738	0,600	0,313	0,875
0,343	Frisk <i>et al.</i> (2001)	0,887	0,721	0,424	0,608
0,520	Gislason <i>et al.</i> (2010) *	0,710	0,577	0,293	0,924
0,570	Charnov <i>et al.</i> (2012) *	0,660	0,537	0,259	1,012
0,778	Cubillos <i>et al.</i> (1999)	0,452	0,367	0,134	1,382
0,845	Jensen (1996)	0,386	0,313	0,100	1,500
1,606	Ralston (1987) **				

* valor ponderado por la abundancia en cada clase de longitud

** descartado porque $M > Z$.

En primera instancia, la estimación de mortalidad total, $Z = 1,23$, fue menor a la estimación del M del método de Ralston (tabla 2), por lo cual este valor es descartado. Los otros métodos para estimar la mortalidad natural, M , conducen a estimaciones de tasa de cosecha en un intervalo de $0,100 \leq HR \leq 0,424$. Evidentemente, dada una estimación de Z , que a la luz del proceso de estimación parece ser consistente, las estimaciones de mortalidad por pesca, $F (= Z - M)$, y la tasa de cosecha, HR , son sensibles a las diferencias de los métodos usados para estimar M . De esta manera, en el ejemplo y como suele suceder en la práctica, la decisión estará asociada a la selección de M . En este sentido hay dos aspectos desde la perspectiva científica a considerar; algunos autores consideran que la mortalidad natural representa un proceso biológico por lo cual el estimador debe de ser congruente con la historia de vida de las especies; mientras que otros autores consideran que la mortalidad natural está asociada principalmente al tamaño del organismo, considerando que la depredación es la principal causa de mortalidad natural y que este proceso está fuertemente ligado al tamaño de la presa. En ejemplo desarrollado, bajo condiciones de ausencia de información, el primer criterio deberá ser el considerado.

En general se espera una relación estrecha y proporcional entre M y K ; de tal suerte que, por ejemplo, una especie longeva de lento crecimiento no podrá exhibir una tasa de mortalidad natural alta porque se extinguiría rápidamente. En general no se puede esperar una regla de decisión respecto a la magnitud de la relación M/K , sino más bien dicha magnitud se debe de esperar que tenga sentido biológico. En este sentido se puede observar que ambos, M y K , representan procesos biológicos compensatorios, y habrá que conocer aspectos de la biología de la población para tener una clara idea de la racionalidad de esta magnitud. En todo caso, es claro que la estimación de M es uno de los parámetros más difíciles de definir en poblaciones explotadas. La sugerencia en este sentido es poner atención a la biología de la población (por ejemplo, investigar sobre su historia de vida; y poner atención tanto a los supuestos teóricos y condiciones del desarrollo detrás de los métodos disponibles, así como a los algoritmos de solución de los mismos). En la práctica desde luego se conoce la especie y se pueden averiguar aspectos sobre su biología en la literatura. En el ejemplo, supóngase que la magnitud lógica de $M/K \approx 1$, lo cual sugiere que la estimación mortalidad natural pudiera ser entre $M =$

0,495 (Djabali *et al.*, 1993), **$M = 0,520$** (Gislason *et al.*, 2010), o **$M = 0,570$** (Charnov *et al.*, 2012), los cuales arrojan una estimación de tasa de cosecha **$HR = 0,30$** . De acuerdo con Gulland (1983) el rendimiento óptimo se alcanza aproximadamente cuando **$M = F$** , o bien **$F/Z = 0,5$** lo cual se aproxima al estado actual. De acuerdo con este resultado lo que puede decirse respecto al estado de explotación del recurso representado en el ejemplo es que se está reteniendo por la pesca alrededor del 30% de la abundancia disponible.



Condición de explotación

En la sección anterior se identificó el estado de explotación en relación a la proporción de la población que está siendo retenida por la pesca; Sin embargo, es de importancia y de gran utilidad tener una aproximación más informada en términos del recurso. En los siguientes párrafos se harán dos aproximaciones basadas siempre en la secuencia de la información del ejemplo que se ha estado analizando, y que supone proviene de un muestreo masivo instantáneo. La única información adicional se refiere a la relación la relación peso-longitud, cuyos datos base bien pueden tomarse del mismo muestreo base. Los modelos que se abordarán serán en modelo de Beverton y Holt (1957) y una aproximación derivada del modelo de Jones (1981) y Thompson y Bell (1934) aplicados a datos de captura estructurada por longitudes.

Modelo de Beverton y Holt

El modelo, como es aproximado en este ejemplo, estima el rendimiento por recluta, esto es, cuál es la biomasa que aporta en promedio cada individuo que se recluta a la población a la pesca; y es descrito por la siguiente ecuación

$$\frac{Y}{R} = F W_{\infty} e^{-Mr} \left[\frac{1}{Z} - \frac{3 \cdot e^{-Kr}}{Z+K} + \frac{3 \cdot e^{-2 \cdot Kr}}{Z+2 \cdot K} - \frac{e^{-3 \cdot K \cdot r}}{Z+3 \cdot K} \right] \quad (15)$$

donde $\frac{Y}{R}$ se refiere al rendimiento por recluta, $r = t_r - t_0$, t_r se refiere a la edad de reclutamiento a la pesquería, tal que la expresión e^{-Mr} representa la supervivencia de los reclutas entre las edades t_0 y t_r bajo la acción únicamente de la mortalidad natural. W_{∞} es el peso máximo asintótico correspondiente a L_{∞} y estimado de la relación peso-longitud ($a = 0,0062$ y $b = 2,92$). Los demás parámetros F , M , Z y K , ya han sido definidos con anterioridad.

La figura 9 representa la salida del modelo de Beverton y Holt en dos modalidades, a) para la condición actual de $t_r = 1,5$ y diversas magnitudes de F . La línea vertical punteada representa la situación actual de explotación. Por otro lado, en la misma figura 9, a la derecha, se muestra las denominadas isopletas de rendimiento, las cuales representan simultáneamente las diferentes combinaciones de mortalidad por pesca y edad de reclutamiento a la pesquería. La franja gris horizontal representa la situación actual mostrada en la figura 9 a la izquierda. La línea punteada representa la denominada curva eumétrica de pesca, e indica la trayectoria del rendimiento por recluta máximo conforme aumenta la mortalidad por pesca y la edad de primera captura. La línea vertical sólida representa la mortalidad por pesca actual y permite observar los cambios el rendimiento por recluta si se aumentará la edad de entrada a la pesquería.

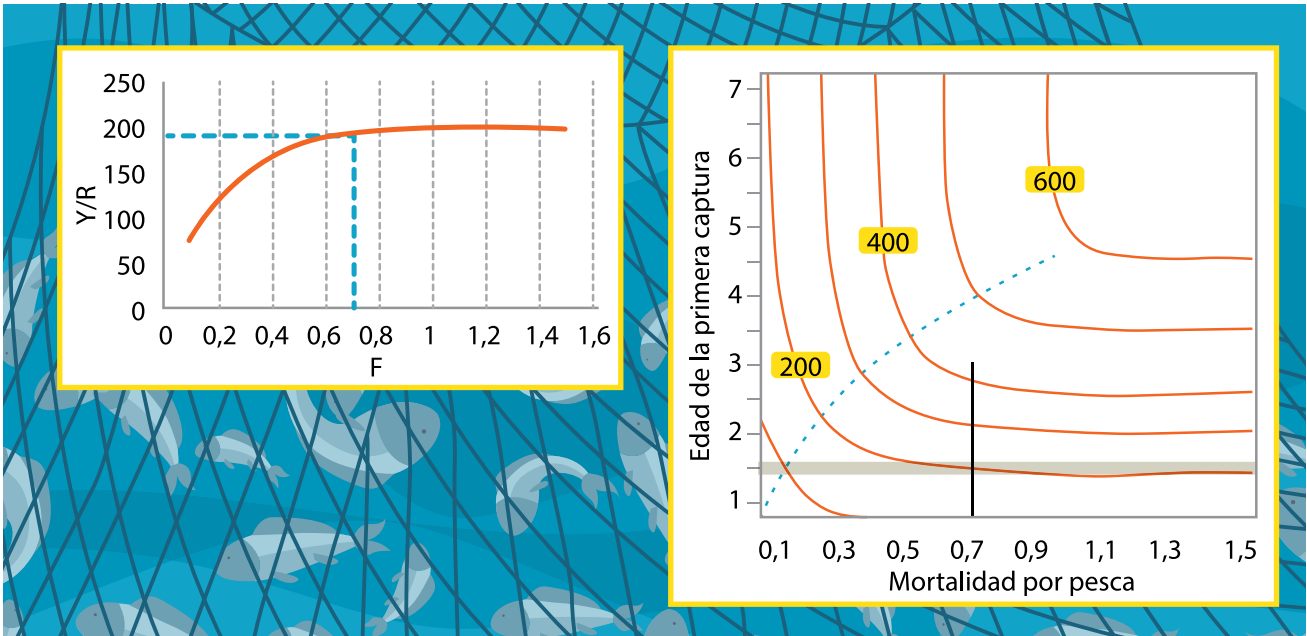


Figura 9. Representación del modelo de Beverton y Holt (1957). Izquierda, rendimiento por recluta (Y/R) respecto a la mortalidad por pesca (F), para la actual edad de primera captura $t_c = 1,5$ años. La línea punteada sobre el valor de $F = 0,7$ indica el límite después del cual el incremento $Y/R < 5\%$ ($F_{actual}^c = 0,71$). Derecha, se muestran isoclinas de Y/R para diferentes combinaciones de edad de primera captura (t_c) y mortalidad por pesca (F). La línea punteada representa la curva eumétrica de pesca y representa la probable mayor ganancia de Y/R para cada combinación de t_c y F . La línea continua vertical señala el nivel de F_{actual} mientras que la franja gris horizontal corresponde a la gráfica de Y/R de la izquierda.

Como puede observarse en la figura nueve a la derecha, a partir de la situación actual podría aumentar los rendimientos por recluta si aumenta la edad de entrada a la pesquería. Debe hacerse notar que el efecto neto sobre rendimiento únicamente podrá ser estimado si se cuenta con una estimación del reclutamiento.

Combinación de los modelos de Jones y Thompson y Bell

El procedimiento propuesto por Jones permite obtener una estimación del tamaño de población en términos de número idiomas a partir de datos de frecuencia de longitudes de las capturas comerciales; mientras que el modelo de Thompson y Bell permite hacer una proyección del rendimiento y de la biomasa de la población a diferentes niveles de mortalidad por pesca. La estimación propuesta por Jones se ilustra en la tabla 6, describiéndose a continuación los cálculos realizados.

Tabla 6. Estimación de rendimiento y biomasa por el método de Jones, a partir de la distribución de estructura por longitudes de la captura

	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Lmed	Lmin	Lmax	M	captura número	número sobrevivientes	F/Z	F	Z	peso promedio	dt	N medio*dt	rendimiento Y	biomasa B	HR
17	16	18	1,022	13	2 872	0,097	0,056	0,576	24	0,083	232	316	5 627	0,04
19	18	20	1,023	75	2 738	0,387	0,328	0,848	34	0,087	229	2 520	7 688	0,22
21	20	22	1,024	150	2 544	0,568	0,683	1,203	45	0,091	220	6 751	9 885	0,40
23	22	24	1,025	122	2 280	0,530	0,587	1,107	59	0,096	208	7 161	12 198	0,36
25	24	26	1,027	81	2 050	0,439	0,408	0,928	75	0,102	199	6 065	14 877	0,27
27	26	28	1,028	55	1 866	0,355	0,286	0,806	94	0,108	192	5 156	18 043	0,20
29	28	30	1,030	68	1 711	0,412	0,365	0,885	116	0,115	187	7 854	21 544	0,24
31	30	32	1,032	92	1 546	0,499	0,517	1,037	140	0,123	178	12 911	24 973	0,32
33	32	34	1,035	116	1 361	0,574	0,700	1,220	168	0,132	166	19 539	27 904	0,40
35	34	36	1,038	120	1 159	0,605	0,798	1,318	200	0,142	150	24 002	30 092	0,44
37	36	38	1,041	101	961	0,590	0,748	1,268	235	0,155	135	23 761	31 763	0,42
39	38	40	1,045	83	789	0,569	0,686	1,206	274	0,169	121	22 771	33 214	0,40
41	40	42	1,050	73	644	0,565	0,675	1,195	317	0,187	108	23 176	34 317	0,39
43	42	44	1,056	51	514	0,503	0,527	1,047	365	0,209	97	18 608	35 304	0,33
45	44	46	1,064	52	413	0,537	0,603	1,123	417	0,237	86	21 666	35 905	0,36
47	46	48	1,074	58	316	0,604	0,794	1,314	473	0,274	73	27 438	34 548	0,44
49	48	50	1,088	49	220	0,619	0,844	1,364	534	0,324	58	26 179	31 001	0,46
51	50	52	1,109	42	141	0,655	0,986	1,506	600	0,396	43	25 220	25 586	0,51
53	52	54	1,142	32	77	0,696	1,192	1,712	672	0,511	27	21 499	18 037	0,57
55	54	56	1,206	16	31	0,698	1,201	1,721	749	0,720	13	11 978	9 975	0,57
57	56	58	1,377	4	8	0,500	0,520	1,040	831	1,231	8	3 324	6 392	0,32

Las **columnas A y C** son la información que proviene del muestreo de las capturas comerciales. Aunque aquí se emplean los mismos números del ejemplo, se debe disponer para estas estimaciones del número en la captura. Si los datos provienen de una localidad y el muestreo es instantáneo, deberá de obtenerse la captura total de la localidad y asumir que las muestras reflejan la estructura de la captura global. En este caso deberá de expandirse el número de individuos en la muestra al de la captura total. En cualquier caso, la estimación de biomasa será puntual e instantánea y relativa a la población a la cual tiene acceso la flota de dicha localidad.

- La **columna B** representa el factor de mortalidad natural correspondiente a la clase de longitud y es estimado como $M = \left[\frac{L_{\infty} - L_{min}}{L_{\infty} - L_{max}} \right]^{M/2K}$.
- La **columna D** representa el número de sobrevivientes y el cálculo se inicia en el último renglón. Los datos se muestran en la tabla 6 y los números entre paréntesis corresponden a la clase de longitud (renglones). el renglón 57, $N(57) = C(57+) / (F/Z)$, al asumir $F/Z = 0,5$, $N(57) = 8$; el renglón $N(55) = [N(57) \cdot M(55) + C(55)] \cdot M(55)$, y así sucesivamente.

- Para la **columna E**, la razón F/Z , se calcula como $[C(17)]/(N(17) - N(18))$.
- La **columna F** representa la mortalidad por pesca F , y se calcula como

$$F(17) = M(17) \cdot (F/Z(17) / (1 - F/Z(17)))$$
- La **columna G** es la mortalidad total y se calcula como la suma de las mortalidades natural y por pesca como sigue:

$$Z(17) = M + F(17) = 0,52 + 0,06 = 0,58$$
- **Columna H** es el peso promedio a la talla de acuerdo con la relación peso-longitud. En el ejercicio, los parámetros de esta relación fueron

$$a = 0,0062, \text{ y } b = 2,92$$
- **Columna I**, se estima $\Delta t = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{L_{\infty} - L_{min}}{L_{\infty} - L_{max}} \right)$, para el renglón 17, sería como sigue:

$$\Delta t = \frac{1}{0,563} \ln \left(\frac{60 - 16}{60 - 18} \right) = 0,08$$
- **Columna J**, corresponde al producto $N \cdot \Delta t$, y se estima como

$$\frac{[N(17) - N(18)]}{Z(17)} = \frac{2872 - 2738}{0,58} = 232$$
- **Columna K**, corresponde al cálculo de rendimiento (volumen de captura) estimándose como

$$Y(17) = N(17) \cdot [\bar{w}(17)] = 13 \cdot 24 = 316$$
- La **columna L** se refiere a la estimación de biomasa: para el renglón 17,

$$\left(\frac{N(17) - N(19)}{Z(17)} \right) \cdot H(17) = \left(\frac{2872 - 2736}{0,58} \right) \cdot 24 = 526,7$$
- En la **columna M** se estima la tasa de cosecha, HR , de acuerdo a la ecuación (14) para cada clase de talla.

Aproximación de Thompson y Bell

La aproximación de Thompson y Bell consiste en la estimación de la curva de rendimiento para diferentes condiciones de explotación asumiendo el efecto acumulado de una explotación creciente. Permite analizar la condición actual, el rendimiento máximo y otros niveles de referencia. Se utilizaron los resultados del método de Jones (tabla 6) para la obtención de los datos en la Tabla 7. Sólo a manera de ejemplo se tomó la suma total de la biomasa estimada como punto de partida, asumiendo que correspondiera a un estado de biomasa sin explotar. A partir de ahí es factible estimar rendimiento para diferentes niveles de mortalidad por pesca que se incrementa gradualmente. Para cada nivel de explotación se calcula la tasa de cosecha, HR, y la biomasa remanente por substracción de la captura retenida y así sucesivamente.

Tabla 7. Datos para la estimación del rendimiento y biomasa de acuerdo al método de Thompson y Bell

F	F/Z	HR	rendimiento Y	Biomasa remanente	proporción B remanente
0,00	0,00	0,00	0	468 871	1
0,10	0,16	0,11	52 225	416 646	0,89
0,20	0,28	0,20	83 333	333 313	0,80
0,30	0,37	0,27	91 052	242 260	0,73
0,40	0,43	0,34	81 187	161 073	0,66
0,50	0,49	0,39	62 581	98 492	0,61
0,60	0,54	0,44	42 862	55 630	0,56
0,70	0,57	0,48	26 499	29 131	0,52
0,80	0,61	0,51	14 943	14 189	0,49
0,90	0,63	0,55	7 743	6 446	0,45
1,00	0,66	0,58	3 707	2 739	0,42
1,10	0,68	0,60	1 648	1 091	0,40
1,20	0,70	0,63	683	408	0,37
1,30	0,71	0,65	264	144	0,35
1,40	0,73	0,67	96	48	0,33
1,50	0,74	0,69	33	15	0,31
1,60	0,75	0,70	11	4	0,30
1,70	0,77	0,72	3	1	0,28
1,80	0,78	0,73	1	0	0,27
1,90	0,79	0,74	0	0	0,26
2,00	0,79	0,76	0	0	0,24

En la figura 10 se ilustran diferentes puntos de referencia para la condición actual reflejada por la muestra obtenida de las capturas comerciales, El punto amarillo indica la situación actual ($F \approx 0,637$, $HR \approx 0,45$); el verde la condición de mortalidad por pesca que generaría el rendimiento máximo ($F = 0,3$, $HR = 0,27$), el azul, la condición cuando $M = F$ ($F/Z = 0,5$, $HR = 0,39$), y el rojo, el nivel equivalente a una tasa de cosecha $HR = 0,5$ ($F = 0,70$).

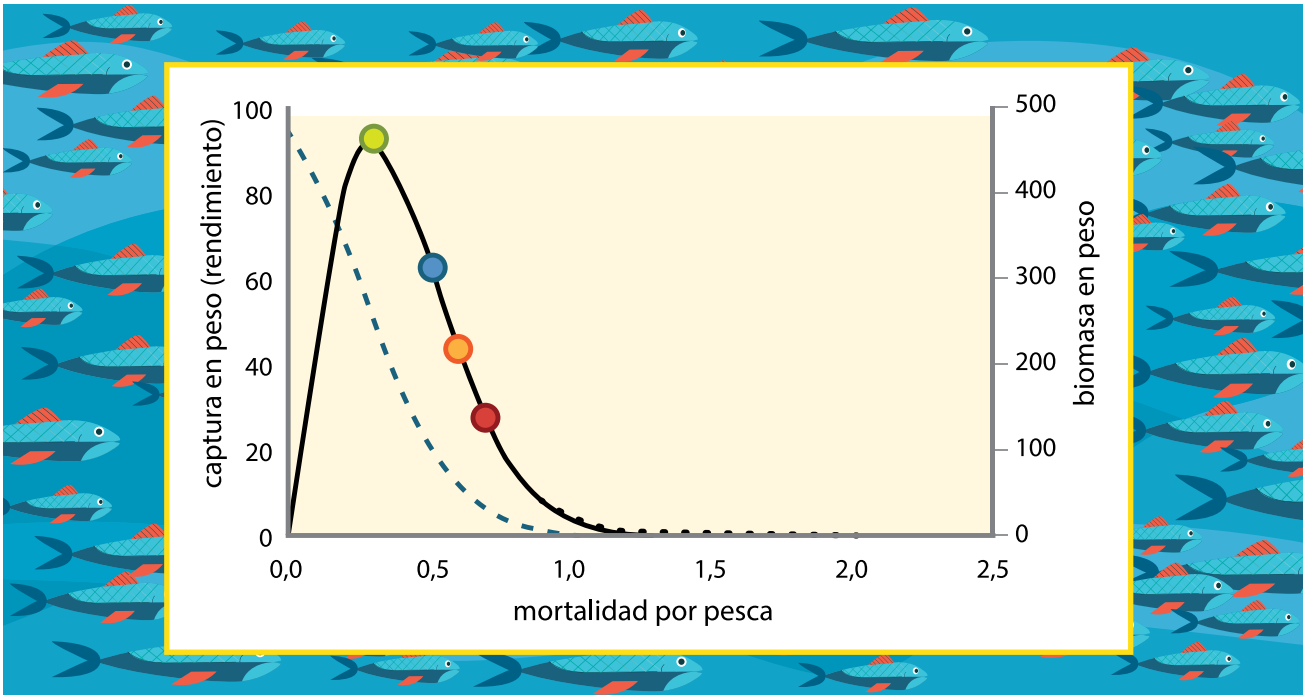


Figura 10. Curvas de rendimiento (línea continua) y biomasa (línea discontinua) obtenidas como representación del método de Thompson y Bell. El punto verde corresponde al rendimiento máximo, el amarillo a la condición actual de acuerdo con los resultados de la tabla 6, el azul a la condición $M = F$, y el rojo a una tasa de cosecha de $HR = 0,5$.

Diagnóstico sobre el estado de explotación

La muestra inicial corresponde, según el ejemplo, a una situación donde hay ausencia total de información, tal como ocurre en muchos cuerpos de aguas continentales (por ejemplo, de América Central). De esta manera la estrategia para realizar un diagnóstico, necesariamente rápido, se basa en un muestreo masivo de una localidad pesquera donde se toma información de estructura por longitudes de las capturas, se toma información de longitud y peso de una sub-muestra y se registra el volumen de pesca de ese día. El análisis a desarrollar a partir de esa muestra será como una estimación instantánea del estado de explotación del recurso en ese día, y se realiza con el fin de obtener una primera aproximación. Si son varias localidades y las formas de operación son similares, sería muy conveniente obtener información sobre la captura total y sobre esta base construir el diagnóstico de rendimiento.

Sobre el estado del recurso, El análisis derivado de la estructura por edades indica una tasa de cosecha de $HR=0,30$, muy cercana al valor estimado por el método de Jones, basado en la estructura por longitudes, de $HR=0,36$. Tanto el modelo de Beverton y Holt como el método de Thompson y Bell sugieren que no es posible incrementar de manera significativa el rendimiento de la pesquería. El modelo de Beverton y Holt sugiere que los rendimientos podrían aumentar un poco si la edad de entrada a la pesquería aumentara de un valor actual de 1,5 años a 2 o 2,5 años, sin embargo, la estimación de incremento sería probablemente entre 10% y 20%. Así mismo, sugiere que cambios en la mortalidad por pesca de $\pm 15\%$ no afectarían sensiblemente los rendimientos. Por su parte la

aproximación de Thompson y Bell sugiere que la mortalidad por pesca actual excede al nivel de rendimiento máximo de la pesquería en cerca de 50%; esto es, si la mortalidad por pesca se reduce de $F=0,63$ a $F=0,3$ se obtendría en rendimiento máximo casi el doble de lo actual.

La conclusión relevante en términos del diagnóstico instantáneo es que el recurso está siendo plenamente explotado y que, en términos precautorios, no es conveniente aumentar la intensidad de pesca.

Respecto a la posibilidad de incrementar los rendimientos habrá que tomar con cautela este resultado. Por un lado, las proporciones de cambio son poco significativas si se contrasta con el hecho de que la información en la cual se basa el análisis es poco consistente en términos temporales; amén de que en este análisis no se consideran otras fuentes de variación adicionales a la pesca ni la incertidumbre inherente a los diferentes procesos.

Con respecto a la condición de rendimiento máximo, que implica reducción de 50% de la mortalidad por pesca, habrá que considerar, además de lo comentado en el párrafo anterior, que una reducción de esa magnitud significa mucho en términos de empleos, ingresos y familias dependientes de la pesca. En un caso real, aún con información suficiente y consistente, habrá que destacar la importancia de valorar, en el ámbito socioeconómico, las consecuencias de una medida de esta naturaleza. El aspecto que suele ser importante, en un contexto global se refiere a la sostenibilidad de ambos, el recurso natural y los aspectos socioeconómicos que no se abordan en el ejemplo actual.

Sobre la interpretación de las condiciones de los puntos de referencia ilustrados en a figura 10, el estado actual de explotación ($HR = 0,44$) sobrepasa el nivel de rendimiento máximo ($HR = 0,27$) y el de rendimiento óptimo ($HR = 0,39$), presentándose como consecuencia una condición que podría definirse como pesca excesiva. De momento no hay información suficiente como para pensar en una condición de sobrepesca, esto es, que haya afectación de la tasa natural de renovación de la población. Sin embargo, bajo las condiciones de carencia de información, es evidente la conveniencia de no incrementar la intensidad de pesca. Desde el punto de vista de la tasa de renovación deberán tomarse las medidas necesarias para evitar la sobrepesca del reclutamiento y de crecimiento. Estas medidas, como se comentó anteriormente son de carácter precautorio mientras se obtiene más información sobre el recurso.

Finalmente debe de considerarse que el análisis desarrollado como ejemplo es una valoración instantánea que permite tener una idea muy general de la condición del recurso explotado y la finalidad es dar una idea del estado del recurso al responsable de la toma de decisiones ofreciéndole un marco de referencia para una condición de nula información.



Condición de datos limitados (pero con disponibilidad de un mínimo)

Cuando se habla de condiciones de limitación de datos en el análisis y evaluación de pesquerías existe una gran diversidad de situaciones con diferente calidad y cantidad de información que se considera dentro de este contexto; en general la definición opuesta es más simple. Una condición con suficiencia de datos refleja situaciones donde hay capacidad de mantener un monitoreo continuo de la pesquería, donde la calidad y cantidad de información permite dar seguimiento en el tiempo de procesos variables como reclutamiento o mortalidad por pesca, o tasas de cambio; y típicamente cuentas con información independiente de la pesca (por ejemplo pesca exploratoria, información ecológica, entre otras), para hacer las evaluaciones necesarias con más de una fuente de información reduciendo la incertidumbre. Esto permite, como consecuencia, tomar decisiones de manera informada y con cierto grado de confianza, la cual irá aumentando de acuerdo a como la información de calidad se acumule y se hace disponible.

De esta manera, en las típicamente definidas como pesquerías con limitación de datos hay dos enfoques. Uno de ellos basado en la información acumulada en el tiempo sobre estructura por longitudes o edades de las capturas. Nótese que este es parte de la información esencial porque a partir de las series temporales podrán estimarse tendencias en el reclutamiento, en la abundancia, cambios por impactos ajenos a la pesca etc. Toda ella información que se incorporará en el análisis e interpretación. A partir de esta información se pueden aplicar métodos como los mostrados en la sección anterior o alternativos. En este sentido, cuando se cuenta con información de estructura por longitudes /edades hay una amplia gama de métodos y procedimientos. Para estos métodos debe disponerse de estructura de las capturas (talla/edad) en periodos sucesivos de tiempo y desde luego la información de la captura retenida por la(s) flota(s) que participan en dicha pesquería. Estos métodos incluyen soluciones con y sin datos de esfuerzo, y los algoritmos de solución también son diversos.

Imaginemos la dinámica de una población, una cohorte, por simplicidad:

$$N_{t,y} = N_{t-1,y-1} \cdot e^{-(M_{t-1,y-1} + q_{t-1,y-1} \cdot x_{t-1,y-1} \cdot S_{t-1,y-1} \cdot v_{t-1,y-1} \cdot E_{y-1})} + R_t$$

donde t representa edad (en años en este ejemplo), M es la tasa instantánea de mortalidad natural, q es el coeficiente de capturabilidad, donde x representa otra fuente de variación diferente a t y y (por ejemplo, densodependencia); s = selectividad del arte de pesca, v = vulnerabilidad, E = esfuerzo de pesca estandarizado, y R = reclutamiento. Los subíndices t, y indican que el parámetro varía con la edad y con el tiempo; $F_{t-1,y-1} = q_{t-1,y-1} \cdot S_{t-1,y-1} \cdot v_{t-1,y-1} \cdot x_{t-1,y-1} \cdot E_{y-1}$ y representa la mortalidad por pesca. La expresión $e^{-(M_{t-1,y-1} + F_{t-1,y-1})}$ representa la supervivencia a la edad t y año y , de tal suerte que la ecuación permite estimar en tamaño de la población a la edad t y años y ; $N_{t,y}$ como los supervivientes del número de individuos del año y edad anterior, mas los individuos reclutados. Estas ecuaciones

pueden resolverse para estructura por longitudes bajo dos consideraciones; i) habrá que ajustar la duración de cada intervalo de longitud; por ejemplo, de los límites inferior y superior de una clase de longitud como: $\Delta t = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{L_{\infty} - L_{min}}{L_{\infty} - L_{max}}\right)$, y de similar manera entre dos intervalos de longitud sucesivos; y ii) que a cada longitud le corresponde una única edad t , esto es, a una longitud dada L_i sólo le corresponde una edad t_i , perdiéndose la noción de variabilidad en el crecimiento y el concepto de la clave edad-longitud donde una longitud determinada tiene cierta probabilidad de pertenecer a más de una edad.

En la aplicación de métodos para la evaluación de poblaciones explotadas, todas las aproximaciones corresponden a propuestas que se basan en supuestos que a su vez obedecen a condiciones específicas, correspondiendo a quien tiene la tarea de la evaluación seleccionar aquellos procedimientos que mejor correspondan al tipo y características de población analizada.

El ejemplo mostrado en el anexo 6 es un caso particular de este tipo de aproximación; basado en estructura por edades. Como se comentó antes existe una gran variedad de métodos, modelos, aproximaciones que conviene sean exploradas antes de iniciar el trabajo formal de evaluación.

Otro tipo de condición de datos limitados es cuando únicamente se cuenta con series históricas de datos de captura y probablemente con algunos otros datos aislados. El registro de las series históricas de captura es común en los países ya que se trata del registro de una actividad económica, y no necesariamente se hace con fines científicos. La pesca es la única actividad del sector productivo primario donde no hay insumos para incrementar la producción; eso es, se depende totalmente de la capacidad de producción de las poblaciones silvestres, siendo en consecuencia un recurso natural renovable limitado. Esta condición es la que hace particularmente importante la administración de su aprovechamiento ya que hay que debe garantizarse su persistencia en una condición productiva; esto es, sostenible. Aun siendo una actividad económica, en muchos países la pesca ribereña en particular, es el sostén económico y alimenticio de muchas familias, y en muchos otros casos es el medio de subsistencia. Por ello, no es extraño que en lo general haya una alta demanda de ingreso a la pesca lo cual hace aún más relevante el ordenamiento del aprovechamiento de los recursos, razón por la cual se hacen necesarios los controles y la definición de normas de aprovechamiento; es decir, para orientar la sostenibilidad biológica y socioeconómica de la pesca.

Los métodos de diagnóstico basados en captura se basan en un par de supuestos sobre los cuales habría que tener precaución al considerarlos; y se refieren a asumir que, en pesquerías plenamente desarrolladas, las tendencias de las capturas reflejan los posibles cambios en la abundancia de los recursos, y que los cambios en dicha abundancia son principalmente debidos a la pesca. Una concepción muy general se puede ilustrar en la figura 11, donde se pueden identificar de manera muy gruesa las diferentes etapas de una pesquería (Froese y Kesner-Reyes 2002).

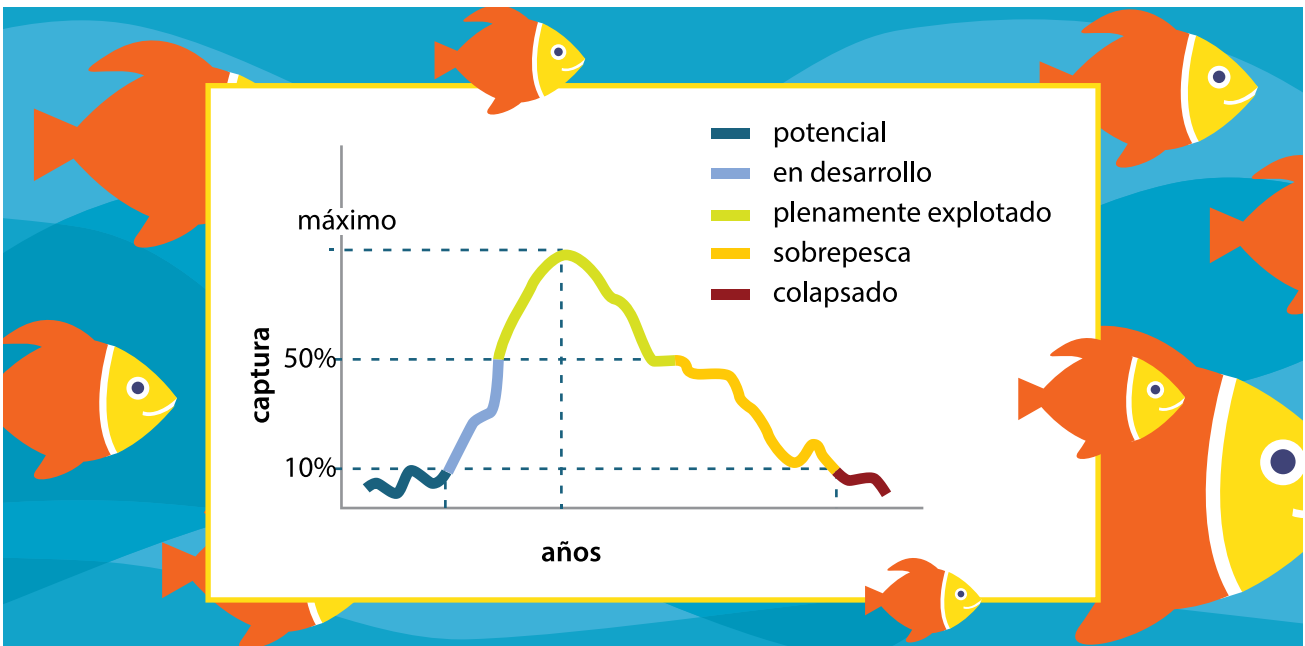
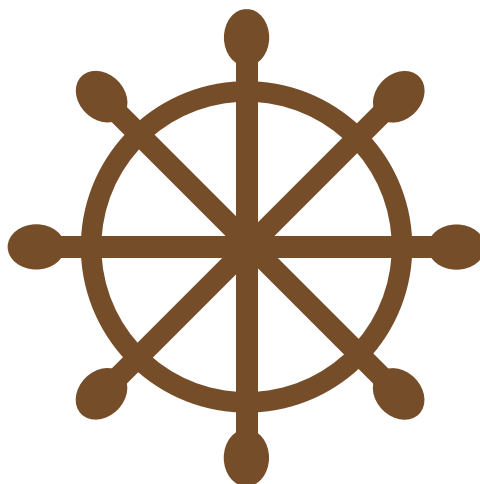


Figura 11. Tendencia teórica de las capturas de una pesquería hipotética a lo largo de su historia, pasando por las diferentes etapas de desarrollo hasta el colapso (Froese y Kesner-Reyes, 2002).

Esta aproximación carece de precisión y no toma en consideración ninguna otra información. Así, por ejemplo, si se compara un recurso tipo estrategia “r”, con altas tasas de crecimiento y de reclutamiento, con otro recurso tipo estrategia “k”, con tasa de crecimiento lento y baja fecundidad, seguramente los límites considerados en la figura serían diferentes. Lo mismo ocurriría, si a lo largo de los años si acumulan períodos favorables o desfavorables en el reclutamiento. En este tipo de situaciones la interpretación de la figura 11 cambiaría. No obstante, las capturas, sistemáticamente registradas, son la información que representa directamente la mortalidad por pesca y la producción de las poblaciones que es aprovechada, siendo esta información esencial para el diagnóstico del estado de los recursos.



Aproximaciones basadas en series históricas de capturas

Dada la importancia económica, social y alimenticia de la pesca, una de las mayores preocupaciones es la definición del estado de los recursos pesqueros pues definido esto se estará en posibilidad de tomar decisiones de ordenamiento y manejo orientadas a la sostenibilidad de la actividad. Con esta finalidad se han desarrollado diversas aproximaciones basadas principalmente en datos de captura, algunas de las cuales se mencionarán a continuación, haciéndose énfasis en que no se trata de una revisión exhaustiva y, como en el caso anterior, cada procedimiento tiene sus propios atributos y supuestos que deberán de ser analizados al momento de elegir, aplicar e interpretar los resultados. La mayor parte de las aproximaciones, por su propia naturaleza, implican procedimientos de análisis complejos como para describir su desarrollo y aplicación paso a paso en esta guía; en contraste, cuando sea el caso, se indicará como acceder a los métodos comentados.

Previo a la aplicación de métodos para la evaluación del estado de la explotación de los recursos pesqueros basados en datos de captura, se recomienda ampliamente revisar los trabajos de Caddy y Gulland (1983), Froese y Kesner (2002), García y Gainger (2004), Hilborn (2007), Branch *et al.* (2012), Costello *et al.* (2012), Dowling *et al.* (2017), en los cuales se encontrarán diferentes puntos de vista y sustento científico hacia este tipo de análisis. A continuación, sólo tres de ellos son comentados sugiriéndose se consulten los diferentes procedimientos para elegir la mejor aplicación posible a la información disponible.

Costello *et al.* (2012)

Desarrollan un conjunto de 6 modelos de regresión empleando datos de capturas, información sobre el ciclo de vida de las especies y el desarrollo para pesquerías bien documentadas. Los coeficientes de regresión estimados pueden ser entonces aplicados a series históricas de datos de captura usando los coeficientes más apropiado para predecir el estado del recurso. El modelo genérico tiene la forma:

$$\log\left(\frac{B}{B_{msy}}\right) = \alpha + \beta X_{ijt} + \gamma_j + \delta_t + \varepsilon_{ijt}$$

donde i representa a la pesquería, j la especie, t el año, α es una constante, β representa el efecto del predictor X_{ijt} sobre $\log\left(\frac{B}{B_{msy}}\right)$, γ un efecto fijo de la especie, δ es el efecto de tiempo y ε_{ijt} es un término de error. El modelo base incluye 23 variables (predictores), y para la aplicación los autores presentan los coeficientes de regresión de dichas variables para los seis tipos de modelos.

Se considera que el modelo no es preciso en cuanto a recursos específicos, dado que los coeficientes fueron estimados por conjuntos de especies (con atributos de ciclo de vida cercanos), pero si ofrece una buena idea del estado de aprovechamiento a través de la predicción de $\log\left(\frac{B}{B_{msy}}\right)$ para conjuntos de especies (valores negativos corresponden a condiciones de sobrepesca). El trabajo discute validación sesgos, aplicación, entre otros aspectos.

CMSY

El método CMSY (Matell y Froese 2013; Froese et al.2017) estima captura al nivel de rendimiento máximo sostenible, **CMSY**, por sus siglas en inglés, empleando series históricas de captura, un rango para resiliencia de las especies, y algunos supuestos simples sobre el tamaño de las poblaciones al inicio y final de las series de tiempo de las capturas basados en valores de **r** y **k** (tasa de crecimiento poblacional y capacidad de carga, respectivamente) del modelo de biomasa excedente de Schaefer (1957). Froese et al. (2017) explican de manera específica los criterios para la asignación inicial de los valores tanto de resiliencia como de biomasa (**B**) de las poblaciones al inicio y final de la serie temporal; así como para la selección de valores más probables de **r**, **k**, **CMS** y **B** predicha. Adicionalmente, si se dispone de al menos un valor de captura y esfuerzo, será posible determinar un valor probable de capturabilidad. Estas estimaciones permitirán obtener algunos puntos de referencia biológicos. Los resultados se expresan como trayectorias en el tiempo de la biomasa relativa (**B/k**), o en términos de captura por unidad de esfuerzo (**U**) relativo como U/U_{RMS} incluyendo percentiles y comparación con los datos observados.

Sraplus

Sraplus (FAO, 2019) es una herramienta para la evaluación de poblaciones pesqueras basado en series históricas de captura e información adicional. Conceptualmente se basa en los conceptos de reducción de stock de Kimura et al. (1984) y el modelo de biomasa de Pella y Tomlinson (1969), y se resuelve a través de dos posibles vías; un algoritmo de muestreo-importancia-remuestreo (SIR por sus siglas en inglés) o a través de una función de máxima verosimilitud. El algoritmo realiza un número de corridas y en cada ocasión prueba un conjunto de posibles parámetros (por ejemplo, **r** y **k**) basado en distribuciones a priori definidas por el usuario. Datos adicionales, como el esfuerzo de pesca, índices de abundancia, intensidad de arrastre, índices de ordenación pesquera, cambios en **U**, o información de pesca exploratoria, permiten ganar robustez a las estimaciones. Los resultados se dan en términos de trayectorias históricas estimadas; así como en términos de **B** y **U** relativas, y **RMS**.

Existen diversos métodos y procedimientos disponibles, tales como: Froese *et al.* (2004), Prista *et al.* (2011, SARIMA), Cope (2013), Thorson y Cope (2014, CCSRA), Hordyk *et al.* (2015), Ruud y Thorson (2017, LIME), Winker *et al.* (2018, JABBA), Rosenberg *et al.* (2018), Mardones y Hordyk (2019, LBSPR), entre otros.

Bibliografía

- Alagaraja, K. (1984). *Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks*. Indian Journal of fisheries, 31(2), 177-208.
- Bertalanffy, L. V. 1938. *A quantitative theory of organic growth* (Inquiries on growth laws. II). Human Biol., 10, 181-213.
- Beverton, R. J. H., and S. J. Holt. 1956. *A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling*. Rapports et Proces-Verbaux des Reunions, Conseil International pour l'Exploration de la Mer 140:67-83
- Beverton, R. J., & Holt, S. J. 1957. *On the dynamics of exploited fish populations*. Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food G.B. (2 Sea Fish) 19:533p
- Bhattacharya, C. G. 1967. *A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components*. Biometrics, 115-135.
- Borg, I., P. Groenen. (1997): *Modern Multidimensional Scaling*. Springer, New York.
- Branch, T. A., Jensen, O. P., Ricard, D., Ye, Y., & Hilborn, R. A. Y. 2011. *Contrasting global trends in marine fishery status obtained from catches and from stock assessments*. Conservation biology, 25(4), 777-786.,
- Caddy, J. F., & Gulland, J. A. 1983. *Historical patterns of fish stocks*. Marine policy, 7(4), 267-278.
- Cope, J. M. 2013. *Implementing a statistical catch-at-age model (Stock Synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations*. Fisheries Research, 142, 3-14.
- Costello, C., Ovando, D., Hilborn, R., Gaines, S. D., Deschenes, O., & Lester, S. E. (2012). *Status and solutions for the world's unassessed fisheries*. Science, 338(6106), 517-520.
- Cubillos, L. A., Alarcón, R., & Brante, A. 1999. *Empirical estimates of natural mortality for the Chilean hake (Merluccius gayi): evaluation of precision*. Fisheries Research, 42(1-2), 147-153.
- Charnov, E. L., Gislason, H., & Pope, J. G. 2013. *Evolutionary assembly rules for fish life histories*. Fish and Fisheries, 14(2), 213-224.
- Djabali, F., Mehailia, A., Koudil, M., & Brahmi, B. 1993. *Empirical equations for the estimation of natural mortality in Mediterranean teleosts*. NAGA, the ICLARM quarterly, 16(1), 35-37.
- Dowling, N. A., Wilson, J. R., Rudd, M. B., Babcock, E. A., Caillaux, M., Cope, J., & Victor, S. 2016. *FishPath: a decision support system for assessing and managing data-and capacity-limited fisheries*. Assessing and Managing Data-Limited Fish Stocks. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks.
- FAO. 2019. *Report of the Expert Consultation Workshop on the Development of methodologies for the global assessment of fish stock status, 4–6 February 2019*. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1262. Rome.
- Frisk, M. G., Miller, T. J., & Fogarty, M. J. 2001. *Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58(5), 969-981.
- Froese, R., & Kesner-Reyes, K. 2002. *Impact of fishing on the abundance of marine species*. ICES Council Meeting Report CM.
- Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M., & Winker, H. 2017. *Estimating fisheries reference points from catch and resilience*. Fish and Fisheries, 18(3), 506-526.

- García, S. M., & Grainger, R. J. 2005. *Gloom and doom? The future of marine capture fisheries*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 360(1453), 21-46.,
- Gislason, H., Daan, N., Rice, J. C., & Pope, J. G. 2010. *Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish*. Fish and Fisheries, 11(2), 149-158.
- Gulland, J. A. (1971). *The fish resources of the ocean*. West Byfleet, Surrey. Fishing News (Books), Ltd., for FAO, 255.
- Gulland, J. A. 1983. *Fish stock assessment: a manual of basic methods*. Wiley.
- Hoening, J. M. 1983. *Empirical use of longevity data to estimate mortality rates*. Fishery Bulletin, 82(1), 898-903.
- Hordyk, A., Ono, K., Valencia, S., Loneragan, N., & Prince, J. 2015. *A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries*. ICES Journal of Marine Science, 72(1), 217-231.
- Jensen, A. L. 1997. *Origin of relation between K and L inf and synthesis of relations among life history parameters*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54(5), 987-989.
- Jones, R. 1984. *Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis)*. (Vol. 256). Roma: FAO.)
- Kenchington, T. J. 2014. *Natural mortality estimators for information-limited fisheries*. Fish and Fisheries, 15(4), 533-562.
- Kimura, D. K., Balsiger, J. W., & Ito, D. H. 1984. *Generalized stock reduction analysis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41(9), 1325-1333.
- Mardones M., A. Hordyk. 2019. *LBSPR: An R package for simulation and estimation using life-history ratios and length composition data*. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.2.26042.13765
- Martell, S., & Froese, R. 2013. *A simple method for estimating MSY from catch and resilience*. Fish and Fisheries, 14(4), 504-514.;
- Pauly D., Binohlan C. 1996. *FishBase and AUXIM as Tools for Comparing Life-history Patterns, Growth and Natural Mortality of Fish: Applications to Snappers and Groupers*. In: Arreguín-Sánchez, F., Munro, J. L., Balgos, M. C., & Pauly, D. (Eds.). *Biology, Fisheries, and Culture of Tropical Groupers and Snappers: Proceedings of an EPOMEX/ICLARM International Workshop on Tropical Snappers and Groupers, Held at the University of Campeche, Campeche, Mexico, 26-29 October 1993* (Vol. 48, p. 218).
- Pauly D., F. Arreguín-Sánchez. 1995. *Improving Shepherd's length composition analysis (SLCA) method for growth parameter estimations*. Naga, the ICLARM Quarterly, 18(4), 31-33.
- Pauly, D. 1980. *On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks*. ICES journal of Marine Science, 39(2), 175-192.
- Pella, J. J., & Tomlinson, P. K. (1969). *A generalized stock production model*. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 13(3), 416-497.
- Prista, N., Diawara, N., Costa, M. J., & Jones, C. M. (2011). *Use of SARIMA models to assess data-poor fisheries: a case study with a sciaenid fishery off Portugal*. Fishery Bulletin, 109(2),
- Ralston S. 1987. *Mortality rates of snappers and groupers*. In: Arreguín-Sánchez, F., Munro, J. L., Balgos, M. C., & Pauly, D. (Eds.). *Biology, Fisheries, and Culture of Tropical Groupers and Snappers: Proceedings of an EPOMEX/ICLARM International Workshop on Tropical Snappers and Groupers, Held at the University of Campeche, Campeche, Mexico, 26-29 October 1993* (Vol. 48, p. 218).

- Rosenberg, A. A., Kleisner, K. M., Afflerbach, J., Anderson, S. C., Dickey-Collas, M., Cooper, A. B., ... & Ye, Y. (2018). *Applying a new ensemble approach to estimating stock status of marine fisheries around the world*. Conservation Letters, 11(1), e12363.
- Rudd, M. B., & Thorson, J. T. 2018. *Accounting for variable recruitment and fishing mortality in length-based stock assessments for data-limited fisheries*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 75(7), 1019-1035.,
- Schaefer, M. B. 1957. *A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean*. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 2(6), 243-285.
- Shepherd J. 1987. Shepherd, J. G. (1987). *A weakly parametric method for estimating growth parameters from length composition data*. In Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conference Proceedings (Vol. 13, No. 468, pp. 113-119).
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). *Introduction to fish stock assessment*. Part 1: Manual. FAO Fish. Tech. Pap, 306(1).
- Solana-Sansores, R., F. Arreguin-Sánchez. (1990). *Diseño de muestreo probabilístico para la pesquería con chinchorro playero en el puerto de Celestún, Yucatán, México*. Ciencias Marinas, 16(4): 43-60.
- Solana-Sansores, R., F. Arreguin-Sánchez. (1991). *Diseño de muestreo probabilístico para la pesquería artesanal de mero (Epinephelus morio) del estado de Yucatán, México*. Ciencias Marinas, 17(1): 51-72.
- Tanaka, S. 1960. *Studies on the dynamics and the management of fish populations*. Bull. Tokai Fish. Res. Lab., 28, 1-200.
- Taylor, C. C. 1960. *Temperature, growth, and mortality—the pacific cockle*. ICES Journal of Marine Science, 26(1), 117-124.
- Thompson, W. F., & Il, F. Bell. 1934. *Biological statistics of the Pacific halibut fishery*. 2. Effects of changes in inensity upon total yield and yield per unit of gear. Rep. Int. Pac. Halibut Cornm, 8, 49.
- Thorson, J. T., & Cope, J. M. 2015. *Catch curve stock-reduction analysis: an alternative solution to the catch equations*. Fisheries Research, 171, 33-41.),
- Winker, H., Carvalho, F., & Kapur, M. 2018. *JABBA: just another Bayesian biomass assessment*. Fisheries Research, 204, 275-288.

Lecturas sugeridas

Sobre teoría de muestreo

- Allen, M., Kilpatrick, D., Armstrong, M., Briggs, R., Course, G., & Pérez, N. (2002). *Multistage cluster sampling design and optimal sample sizes for estimation of fish discards from commercial trawlers*. Fisheries Research, 55(1-3), 11-24.
- Bazigos G.P. (1975). *Esquema de encuestas sobre estadísticas de pesca - aguas continentales*. Doc. Téc. FAO Pesca, 133: 139p. (<https://arap.gob.pa/wp-content/uploads/2017/01/PLAN-DE-ACCION-PARA-LA-PESCA-FINAL2.pdf>)

- Cadima, E.L.; Caramelo, A.M.; Afonso-Dias, M.; Conte de Barros, P.; Tandstad M.O.; de Leiva-Moreno, J.I. 2005. *Sampling methods applied to fisheries science: a manual*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 434. Rome, FAO. 2005. 88p.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 3rd ed., 428pp. Efron, B. & Tibshirani, R.J. 1993. *An introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall,
- Cotter, A. J. R., & Pilling, G. M. (2007). *Landings, logbooks and observer surveys: improving the protocols for sampling commercial fisheries*. *Fish and Fisheries*, 8(2), 123-152.
- Gulland, J.A. 1966. *Manual of sampling and statistical methods for fisheries biology*. Part 1. In: *Sampling methods*. FAO Man. Fish. Sci., 3: 87pp. Sparre, P.J. 2000. *Manual on sample-based data collection for fisheries assessment. Examples from Viet Nam*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 398. FAO, Rome. 171pp.
- Roberts, J. H., & Angermeier, P. L. (2014). *Standardized methods for sampling fishes in streams of Panama*.
- Som, R.K. 1973. *A manual of sampling techniques*. Heinemann Educational Books Ltd., London, 384 pp.
- Thompson, S.K. 1992. *Sampling*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 334 pp. New York,

Sobre temas generaels

- Caddy, J. F., & Mahon, R. (1996). *Puntos de referencia para la ordenación pesquera* (Vol. 347). Food & Agriculture Org.
- Gulland, J. A. (1983). *Stock Assessment: Why?* (Vol. 759). Rome: FAO.
- Gulland, J. A. (1987). *Natural mortality and size*. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 39(2), 197-199.
- Pattarapongpan, S. (2018). *Using yield per recruit analysis to determine fish stock status*. *Fish for the People*, 16(1), 29-34.
- Pauly, D. (1983). *Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. FAO Documento Técnico de Pesca, 234, 1-49.
- Pauly, D., & Morgan, G. R. (Eds.). (1987). *Length-based methods in fisheries research* (Vol. 13). WorldFish.
- Prince, J., Hordyk, A., Valencia, S. R., Loneragan, N., & Sainsbury, K. (2015). *Revisiting the concept of Beverton-Holt life-history invariants with the aim of informing data-poor fisheries assessment*. *ICES Journal of Marine Science*, 72(1), 194-203.

Aplicaciones sobre CMSY

- Barman, P. P., Karim, E., Khatun, M. H., Rahman, M. F., Alam, M. S., & Liu, Q. (2020). *Application of cmsy to estimate biological reference points of bombay duck (Harpadon neherus) from the Bay of Bengal, Bangladesh*. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(6), 8023-8034.
- Carruthers, T. R., Walters, C. J., & McAllister, M. K. (2012). *Evaluating methods that classify fisheries stock status using only fisheries catch data*. *Fisheries Research*, 119, 66-79.
- Carruthers, T. R., Punt, A. E., Walters, C. J., MacCall, A., McAllister, M. K., Dick, E. J., & Cope, J. (2014). *Evaluating methods for setting catch limits in data-limited fisheries*. *Fisheries Research*, 153, 48-68.

- Kell, L. T., Sharma, R., & Winker, H. (2020). *Evaluation of data poor approaches for evaluating stock status and trends: self-testing using biomass-based assessment models*. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 77(4), 84-95.
- Sabater, M. G., & Kleiber, P. (2013). *Improving specification of acceptable biological catches of data-poor reef fish stocks using a biomass-augmented catch-MSY approach*. Western Pacific Regional Fishery Management Council, Honolulu, HI 96813 USA. Sabater MG and Kleiber P, 3.
- Shi, Y., Hua, C., Zhu, Q., Huang, S., & Feng, H. (2020). *Applying the Catch-MSY model to the stock assessment of the northwestern Pacific saury Cololabis Saira*. Journal of Oceanology and Limnology, 1-11.
- Zhang, K., Zhang, J., Xu, Y., Sun, M., Chen, Z., & Yuan, M. (2018). *Application of a catch-based method for stock assessment of three important fisheries in the East China Sea*. Acta Oceanológica Sinica, 37(2), 102-109.
- Zhou, S., Punt, A. E., Smith, A. D., Ye, Y., Haddon, M., Dichmont, C. M., & Smith, D. C. (2018). *An optimized catch-only assessment method for data poor fisheries*. ICES Journal of Marine Science, 75(3), 964-976.

Sobre otros métodos

- Azevedo, M., Berg, C. W., Biseau, A., Fischer, S., Hoenig, J., Kell, L. T., ... & Walker, N. (2019). *Ninth Workshop on the Development of Quantitative Assessment Methodologies based on LIFE-history traits, exploitation characteristics, and other relevant parameters for data-limited stocks* (WKLIFE IX).
- Chong, L., Mildenerger, T. K., Rudd, M. B., Taylor, M. H., Cope, J. M., Branch, T. A., ... & Stäbler, M. (2020). *Performance evaluation of data-limited, length-based stock assessment methods*. ICES Journal of Marine Science, 77(1), 97-108.
- Cope, J. M. (2013). *Implementing a statistical catch-at-age model (Stock Synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations*. Fisheries Research, 142, 3-14.
- Cummings, N., & Sagarese, S. R. (2015). *Overfishing limits (OFLs) for Greater Amberjack from the Stock Synthesis (SS) population model and from several data limited methods with a preliminary review of varying assumptions on natural mortality and current abundance on OFL results*.
- Edwards, C. T. (2015). *Review of data-poor assessment methods for New Zealand fisheries*. New Zealand: Ministry for Primary Industries.
- Froese, R., Winker, H., Coro, G., Demirel, N., Tsikliras, A. C., Dimarchopoulou, D., ... & Pauly, D. (2018). *A new approach for estimating stock status from length frequency data*. ICES Journal of Marine Science, 75(6), 2004-2015.
- Hilborn, R. (2007). *Reinterpreting the state of fisheries and their management*. Ecosystems, 10(8), 1362-1369.
- Hordyk, A. R., Loneragan, N. R., & Prince, J. D. (2015). *An evaluation of an iterative harvest strategy for data-poor fisheries using the length-based spawning potential ratio assessment methodology*. Fisheries Research, 171, 20-32.
- Jiao, Y., Cortés, E., Andrews, K., & Guo, F. (2011). *Poor-data and data-poor species stock assessment using a Bayesian hierarchical approach*. Ecological Applications, 21(7), 2691-2708.
- Johnson, A. F., Moreno-Báez, M., Giron-Nava, A., Corominas, J., Erisman, B., Ezcurra, E., & Aburto-Oropeza, O. (2017). *A spatial method to calculate small-scale fisheries effort in data poor scenarios*. PLoS One, 12(4), e0174064.

- Kokkalis, A., Eikeset, A. M., Thygesen, U. H., Steingrund, P., & Andersen, K. H. (2017). *Estimating uncertainty of data limited stock assessments*. ICES Journal of Marine Science, 74(1), 69-77.
- Nadon, M. O., & Ault, J. S. (2016). *A stepwise stochastic simulation approach to estimate life history parameters for data-poor fisheries*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 73(12), 1874-1884.
- Rufener, M. C., Kinas, P. G., Nóbrega, M. F., & Oliveira, J. E. L. (2017). *Bayesian spatial predictive models for data-poor fisheries*. Ecological Modelling, 348, 125-134.
- Sagarese, S.R., J.F. Walter, J. J. Isely, M.D. Bryan, N. Cummings. 2015. *A comparison of data-rich versus data-limited methods in estimating overfishing limits*. SEDAR46-DW-01. SEDAR, North Charleston, SC. 28 pp
- Smith, D., Punt, A., Dowling, N., Smith, A., Tuck, G., & Knuckey, I. (2009). *Reconciling approaches to the assessment and management of data-poor species and fisheries with Australia's harvest strategy policy*. Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science, 1(1), 244-254.
- Thorson, J. T., & Cope, J. M. (2017). *Uniform, uninformed or misinformed?: The lingering challenge of minimally informative priors in data-limited Bayesian stock assessments*. Fisheries Research, 194, 164-172.
- Wetzel, C. R., & Punt, A. E. (2011). *Performance of a fisheries catch-at-age model (Stock Synthesis) in data-limited situations*. Marine and Freshwater Research, 62(8), 927-936.

Sobre aspectos de manejo

- Brooks, E. N., Powers, J. E., & Cortés, E. (2010). *Analytical reference points for age-structured models: application to data-poor fisheries*. ICES Journal of Marine Science, 67(1), 165-175.
- Chrysafi, A. (2019). *Data limited fisheries: Incorporating expert knowledge into stock assessment*. PhD Dissertation. Organismal and Evolutionary Biology Research Programme Faculty of Biological and Environmental Sciences. University of Helsinki, Finland.
- Chrysafi, A., & Kuparinen, A. (2016). *Assessing abundance of populations with limited data: lessons learned from data-poor fisheries stock assessment*. Environmental Reviews, 24(1), 25-38.
- Dowling, N. A., Dichmont, C. M., Haddon, M., Smith, D. C., Smith, A. D. M., & Sainsbury, K. (2015). *Guidelines for developing formal harvest strategies for data-poor species and fisheries*. Fisheries Research, 171, 130-140.
- Dowling, N. A., Dichmont, C. M., Haddon, M., Smith, D. C., Smith, A. D. M., & Sainsbury, K. (2015). *Empirical harvest strategies for data-poor fisheries: A review of the literature*. Fisheries Research, 171, 141-153.
- Dowling, N. A., Smith, A. D., Smith, D. C., Parma, A. M., Dichmont, C. M., Sainsbury, K., ... & Cope, J. M. (2019). *Generic solutions for data-limited fishery assessments are not so simple*. Fish and Fisheries, 20(1), 174-188.
- Dowling, N. A., Smith, D. C., Knuckey, I., Smith, A. D., Domaschensz, P., Patterson, H. M., & Whitelaw, W. (2008). *Developing harvest strategies for low-value and data-poor fisheries: case studies from three Australian fisheries*. Fisheries Research, 94(3), 380-390.
- Geromont, H. F., & Butterworth, D. S. (2015). *Generic management procedures for data-poor fisheries: forecasting with few data*. ICES Journal of Marine Science, 72(1), 251-261.
- Gill, D. A., Oxenford, H. A., Turner, R. A., & Schuhmann, P. W. (2019). *Making the most of data-poor fisheries: Low*

cost mapping of small island fisheries to inform policy. Marine Policy, 101, 198-207.

Previero, M., & Gasalla, M. A. (2018). *Mapping fishing grounds, resource and fleet patterns to enhance management units in data-poor fisheries: The case of snappers and groupers in the Abrolhos Bank coral-reefs (South Atlantic).* Ocean & Coastal Management, 154, 83-95.

Prince, J., & Hordyk, A. (2019). *What to do when you have almost nothing: A simple quantitative prescription for managing extremely data-poor fisheries.* Fish and fisheries, 20(2), 224-238.

Ramírez, J. G., Leonart, J., Coll, M., Reyes, F., & Puentes, G. M. (2017). *Improving stock assessment and management advice for data-poor small-scale fisheries through participatory monitoring.* Fisheries Research, 190, 71-83.

Wiedenmann, J., Wilberg, M. J., & Miller, T. J. (2013). *An evaluation of harvest control rules for data-poor fisheries.* North American Journal of Fisheries Management, 33(4), 845-860.

Zhou, S., Pascoe, S., Dowling, N., Haddon, M., Klaer, N., Larcombe, J., ... & Wayte, S. (2010). *Quantitatively defining biological and economic reference points in data poor fisheries.* Final Report on FRDC Project, 44.



Anexo 1

Diseño de muestreo para una especie objetivo



Tomemos como ejemplo una región costera con 10 sitios de desembarco (figura A.1), donde se distinguen dos regiones que se diferencian por la forma de operación de las embarcaciones. A cada sitio o localidad arriban las embarcaciones a descargar la captura del día

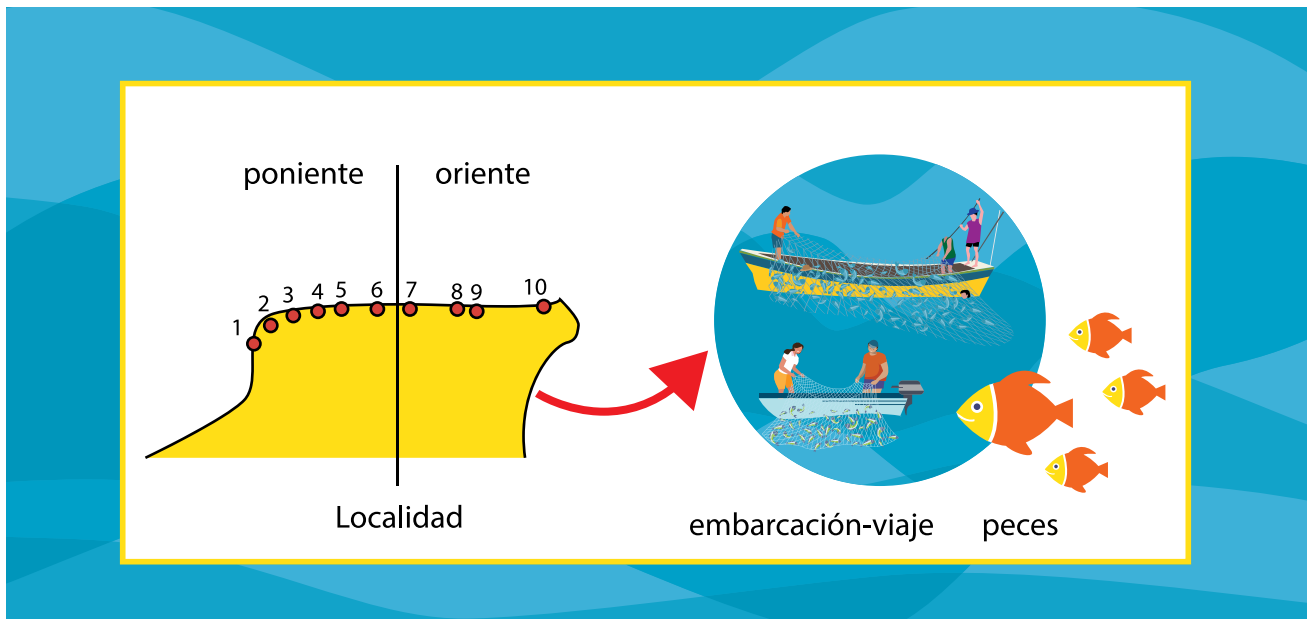


Figura A.1. Esquema representativo de un arreglo de estratos, localidades, embarcación-viaje por localidad y captura de peces por lancha.

Suponéngase que el objetivo del diseño de muestreo es obtener un estimado de la captura de una especie objetivo "X" en peso y en número de individuos.

En primera instancia es evidente que no podrá efectuarse un censo de las capturas; esto es, no se podrán visitar todas las localidades, ni medir todos los peces de todas las capturas de todas las embarcaciones. La idea del diseño de muestreo que a partir de algunas medidas representativas se pueda obtener un estimador de acuerdo al objetivo del diseño de muestreo.

En este contexto se definen dos estratos; oriente y poniente. Dentro de cada estrato hay tres etapas; la primera, que corresponde a las localidades de desembarco; la segunda etapa a las embarcaciones, y la tercera a los peces capturados. Para cada etapa deberá definirse el número de unidades a medir. Como se mencionó en etapas anteriores de esta guía el tamaño de muestra está fuertemente asociado a los valores medios y la varianza de la información a medir. En el ejemplo de la figura 1 la decisión respecto al tamaño de muestra deberá de ser, para cada estrato; cuantos peces, de cuantas lanchas, de

cuantas localidades, deberán de ser seleccionados para la obtención de la información requerida (por ejemplo, longitud total); entendiéndose que deberá de ser representativo de la población objetivo (en este caso la estructura por tallas de las capturas).

Tómese como ejemplo los datos del Cuadro A.1, que representan cuatro localidades de un estrato (por ejemplo, del estrato oriente en la figura A.1)

Cuadro A.1. Datos de muestreo piloto sobre estructura de las capturas de la especie objetivo "X" de flota ribereña en las localidades del estrato oriente ejemplificado en la figura A.1; a ser utilizadas para la estimación de tamaño de muestra en el diseño de muestreo probabilístico estratificado y trietápico.

Localidad 1									
Lanchas									
pez	1		2		3		4		clase talla
	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	
1	8 181	9	1 054	3	1 452	4	1 324	4	
2	2 052	3	413	2	909	3	881	3	
3	302	1	1030	3	1461	4	747	3	
4	1 696	5	483	2	3 008	6	1 016	3	
5	378	2	1 648	4	1 023	3	944	3	
6	411	2	1 405	4	3 485	6	848	3	
7	1 057	3	1 298	4	554	2	717	3	
8	604	3	711	3	1 115	3	1 255	4	
9	876	3	1 648	4	1 023	3	944	3	
10	529	3	747	3	2645	5	855	3	
	16 086		9 394		17 659		9 531		

Localidad 2									
Lanchas									
pez	1		2		3		4		clase talla
	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	
1	2 441	5	1 387	4	2 186	5	456	2	
2	965	3	2 161	5	2 162	5	529	2	
3	1 587	4	362	2	2 631	5	389	2	
4	944	3	1 155	3	711	3	289	1	
5	322	1	841	3	822	3	809	3	
6	1 016	3	405	2	822	3	609	3	
7	875	3	1 752	4	796	3	944	3	
8	397	2	759	3	239	2	1 045	3	
9	405	2	409	2	965	3	460	2	
10	1 272	4	835	3	1 009	3	469	2	
	10 224		10 067		12 343		5 999		

Localidad 3									
Lanchas									
pez	1		2		3		4		clase talla
	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	
1	1 172	4	1 838	5	1 927	5	1 046	3	
2	1 016	3	1 950	5	1 627	4	1 023	3	
3	1 577	4	1 577	4	671	2	1 155	3	
4	305	1	1 577	4	1 298	4	809	3	
5	1 689	4	595	2	1 272	4	289	1	
6	1 396	4	694	3	1 016	3	1 016	3	
7	944	3	426	2	1 752	4	1 076	3	
8	1 905	5	2 376	5	1 658	4	660	2	
9	595	2	643	2	1 433	4	1 433	4	
10	987	3	1 316	4	1 587	4	1 092	4	

Localidad 4									
Lanchas									
pez	1		2		3		4		clase talla
	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	gramos	clase talla	
1	1 871	5	2 978	6	2 312	5	1 054	3	
2	1 528	4	1 627	4	688	3	1 076	3	
3	1 433	4	1 538	4	796	3	1 076	3	
4	778	3	1 452	4	1 054	3	796	3	
5	1 528	4	1 627	4	605	2	778	3	
6	747	3	1 710	4	660	2	828	3	
7	1 131	3	1 509	4	1 752	4	1 031	3	
8	611	2	1 254	4	1 893	5	1 172	4	
9	841	3	796	3	1 784	4	916	3	
10	289	1	483	2	1 255	4	875	3	

Estimador del peso promedio es dado por la expresión:

$$\hat{w} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{m_i} \sum_j w_{i,j,k} \tag{1}$$

y su varianza por:

$$\text{Var}(\widehat{w}) = \frac{(1 - f_1)S_b^2}{n} + \frac{f_2(1 - f_2)S_w^2}{nm_i} + \frac{f_1f_2(1 - f_3)S_{ww}^2}{nm_i o_{i,j}} \quad (2)$$

donde

f_1 es la fracción de la muestra de localidades; f_2 es la fracción de la muestra de embarcaciones; f_3 es la fracción de la muestra de peces por embarcación.

n es el tamaño de muestra de localidades; m_i es el tamaño de muestra de embarcaciones i por localidad; y $o_{i,j}$ es el tamaño de muestra de peces j por embarcación;

$w_{i,j,k}$ es el tamaño de un pez en particular; y en consecuencia \widehat{w} es el peso promedio estimado de todos los peces, y

$$S_b^2 = \frac{1}{N - 1} \sum_i (\widehat{w}_i - \widehat{w})^2 \quad (3a)$$

$$S_w^2 = \frac{1}{N(M_i - 1)} \sum_i \sum_j (\widehat{w}_{i,j} - \widehat{w}_i)^2 \quad (3b)$$

$$S_{ww}^2 = \frac{1}{NM_i(O_{i,j} - 1)} \sum_i \sum_j \sum_k (w_{i,j,k} - \widehat{w}_{i,j})^2 \quad (3c)$$

donde

N es el número total de puertos por estrato; M_i es el número total de embarcaciones-viaje por localidad i ; y $O_{i,j}$ es el número total de peces desembarcados por la embarcación j , en la localidad i

Usando logaritmos (por facilidad de cálculo) de los valores del Cuadro A.1, el valor promedio de los pesos de los peces (ecuación 1) se calcula como

$$\text{Log}(\widehat{w}) = \frac{1}{(4)(4)(10)} [3,91 + 3,31 + 2,48 + \dots + 2,96 + 2,94] = 2,99$$

y $\widehat{w} = 998 \text{ g}$

Las estimaciones de la varianza serán:

ANOVA

Fuente de Variación (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)
Localidad (L)	0,558	3	0,186
Embarcación (E)	1,107	12	0,092
Error (F)	7,753	144	0,054
Total	9,418	159	

De esta forma los componentes de la varianza son:

$$\hat{S}_{ww}^2 = 0,054$$

$$\hat{S}_w^2 = \frac{CME - CMF}{o_{i,j}} = 0,004$$

$$\hat{S}_b^2 = \frac{CMP - CMF}{m_i o_{i,j}} = 0,002$$

y la varianza del estimador

$$Var(\text{Log } \hat{w}) = \frac{CMP}{nm_i o_{i,j}} = \frac{\hat{S}_b^2}{n} + \frac{\hat{S}_w^2}{nm_i} + \frac{\hat{S}_{ww}^2}{nm_i o_{i,j}} = 0,00094$$

$$\text{antilog}[\text{error estándar} (\text{Log } \hat{w})] = 1,09$$

y el C.V. = 0,09

entonces:

$$Var(\hat{w}) = 8071,5g^2$$

$$I.C. \Rightarrow 998g \pm 18g$$

Con los datos del estrato poniendo el proceso de análisis sería similar.

Para el cálculo del tamaño óptimo de muestra habrá que considerar la siguiente función de costos:

$$C = c_1 n + c_2 n m_i + c_3 n m_i o_{i,j} \quad (4)$$

Donde c_1 costo para llegar a una localidad de un estrato; c_2 , es el costo relativo a la entrevista para cada embarcación-viaje; y c_3 es el costo relativo a la medición de un pez.

Del producto de las ecuaciones (2) y (4) resultan las siguientes expresiones

$$o_{i,j}^{\circ} = \left[\frac{c_2 S_{ww}^2}{c_3 S_w^2} \right]^{1/2}$$

$$m_i^{\circ} = \left[\frac{c_1 S_w^2}{c_2 S_b^2} \right]^{1/2}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (4), entonces, para un costo fijo

$$n = \frac{C_0}{c_1 + c_2 m_i + c_3 m_i o_{i,j}}$$

y en la función de varianza

$$n = \frac{S_b^2 + \left(S_w^2 / m_i^\circ \right) + \left(S_{ww}^2 / o_{i,j}^\circ \right)}{V_0}$$

A manera de ejemplo considérense los siguientes valores de costos y la estimación de los componentes de la varianza del logaritmo del peso promedio del estarto (para estandarizar los costos representan el tiempo invertido en cada tarea, en segundos):

$$\begin{aligned} c_1 &= 5250 \text{ s} \\ c_2 &= 725 \text{ s} \\ c_3 &= 3 \text{ s} \\ S_b^2 &= 0,002 \\ S_w^2 &= 0,004 \\ S_{ww}^2 &= 0,054 \end{aligned}$$

y entonces

$$o_{i,j}^\circ = \left[\frac{725 - 0,054}{3 - 0,004} \right]^{1/2} \approx 58 \text{ peces}$$

y

$$m_i^\circ = \left[\frac{5250 - 0,004}{725 - 0,002} \right]^{1/2} \approx 4 \text{ embarcaciones}$$

y el tamaño de muestra de unidades primarias, con una precisión fija de 10% ($V_0 = 0.02$) será:

$$n = \frac{0.002 + (0,004/4) + (0,054/232)}{0,02} = 1 \text{ localidad}$$

A manera de conclusión, de acuerdo con los datos del muestreo piloto mostrados en el Cuadro A.1, el diseño de muestreo sugiere, con una precisión de 10%, contemplar, para el estrato oriente, el muestreo de al menos 58 peces por embarcación; para un mínimo de 4 embarcaciones en al menos una localidad.

Desde luego, podrían hacerse combinaciones con la misma precisión; por ejemplo, muestrear dos localidades, y 4 embarcaciones de entre estas dos localidades, y siempre 58 peces mínimos por embarcación. Evidentemente, este último caso resultaría en diferentes costos, de acuerdo a la situación específica de cada localidad. Considérese la figura A.2 donde se representan las líneas de isovarianza e isocostos representando las diferentes combinaciones de número de embarcaciones y de peces a medir. La línea de isovarianzas representa diferentes combinaciones de número de embarcaciones y número de peces con la misma precisión. Bajo el mismo nivel de precisión puede reducirse el número de peces por embarcación pero se requiere aumentar el número de embarcaciones, lo cual genera mayor costo; y en caso contrario, hay un número mínimo de embarcaciones que habrá que medir para mantener el mismo nivel de precisión. Nótese que podría, teóricamente,

aumentarse el número de peces a medir, provenientes de una sola embarcación, para reducir costos al máximo, sin embargo dicha estrategia implica un alejamiento cada vez mayor de la precisión del diseño de muestreo.

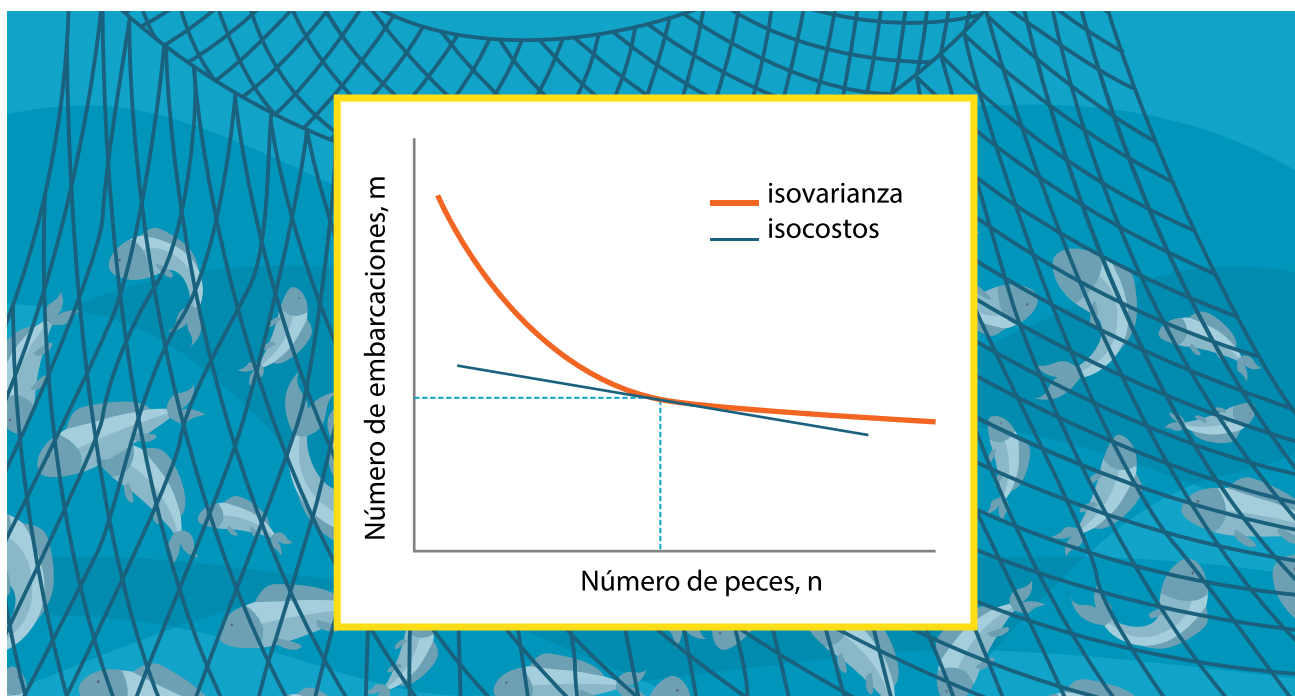


Figura A.2. Combinaciones de número de peces por embarcación y número de embarcaciones para un mismo nivel de precisión (dado por la línea de isovarianza). Se muestra para las mismas combinaciones la línea de isocostos.

Finalmente, en el contexto anterior, es importante destacar que, para cada ocasión que se desarrolle el muestreo, la selección de la localidad dentro del estrato deberá de ser determinada aleatoriamente, lo mismo que para las embarcaciones y los peces. El omitir la aleatoriedad en la selección de la unidad a muestrear traerá consigo sesgos en la medidas globales y disminución de la precisión.

Ejemplo tomado de:

Solana-Sansores R. Y F. Arreguín-Sánchez. 1991. *Diseño de muestreo probabilístico para la pesquería artesanal del mero* (Epinephelus morio) del Estado de Yucatán, México [*Probability sampling desing for the artisanal fishery of the red grouper* (Epinephelus morio) off Yucatan Peninsula, Mexico]. *Ciencias Marinas*, 17(1):51-72.

(<https://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/783>)

Favor de consultar el documento completo para mayor información.

Anexo 2

Diseño de muestreo para múltiples especies capturadas por una embarcación (o arte de pesca)

En general el procedimiento para estimar el tamaño de muestra para una pesca multiespecífica se desarrolla de manera similar al desarrollo propuesto en el Anexo 1, estimando finalmente el tamaño de muestra de peces, de embarcaciones y de localidades para cada especie objetivo. Desde luego podría intentarse un estimado para el número total de peces considerando las especies mezcladas, sin embargo el problema radica en que si hay una especie dominante clara, el tamaño de muestra representativo de otras especies podría quedar subestimado y sesgado.

La idea general es obtener un tamaño de muestra representativo para cada una de las diferentes especies objetivo, lo cual implica necesariamente hacer un análisis cuidadoso de cuales son aquellas especies de interés. Una vez definidas las especies es precisamente definir la adecuada proporción de especies en las capturas.

Por simplicidad, y teniendo como antecedente el Anexo 1 (la definición de tamaño de muestra por especie), supóngase el caso de embarcaciones ribereñas en una localidad donde cada embarcación (arte de pesca) retiene múltiples especies en la captura derivadas de la misma operación de pesca, y donde varias de esas especies se consideran como las especies objetivo (por ejemplo la captura con redes tipo cerco). Supóngase también, por simplicidad, la flota en una sola localidad. Bajo estas características considérese un estimador bietápico de la proporción de especies como sigue:

$$\hat{\pi}_{sp} = \frac{1}{n} \sum_i \pi_{i,sp} \quad \dots (1)$$

Donde i representa a una embarcación, y sp a una especie. Entonces, $\pi_{i,sp}$ es la proporción de individuos de la especie sp en la embarcación i , y por consiguiente $1 - \pi_{i,sp}$ es la proporción de individuos de otras especies. La varianza del estimador de la proporción promedio será

$$Var(\hat{\pi}_{sp}) = \frac{1 - f_2}{n(n - 1)} \sum_i (\pi_{i,sp} - \hat{\pi}_{sp})^2 + \frac{f_1(1 - f_2)m_i}{n^2(m_i - 1)} \sum_i \pi_{i,sp} (1 - \pi_{i,sp}) \quad \dots (2)$$

debido a que las especies se encuentran mezcladas en la captura la estimación del número total de individuos por especie considera la proporción por especie. De esta manera el número total de individuos de una especie cualquiera en la captura, , será:

$$\hat{N}_\tau = \frac{C \cdot \hat{\pi}_{sp}}{\hat{w}} \quad \dots (3)$$

Donde C es la captura comercial, en peso, de todas las especies; y \hat{w} y $\hat{\pi}_{sp}$ son variables aleatorias.

La expresión de varianza de \hat{N}_τ , será:

$$Var(\hat{N}_\tau) = \frac{C^2}{\hat{w}^2} Var(\hat{\pi}_{sp}) + \frac{C^2 \cdot \hat{\pi}_{sp}}{\hat{w}^4} Var\left(\frac{1}{\hat{w}}\right) - \frac{2C^2 \cdot \hat{\pi}_{sp}}{\hat{w}^3} Cov(\hat{\pi}_{sp}, \hat{w})^2$$

... (4)

En principio la estimación de proporciones en la captura total (ecuaciones 1 y 3) resultan en operaciones simples, la parte relevante resulta de las varianzas al momento de estimar los tamaños muestra óptimos. Supónganse tres especies objetivo, cada una con una curva de isovarianzas e isocostos propia. La identificación de la mejor combinación posible de número de peces y número de embarcaciones a muestrear resultará de la mejor combinación posible de los tres criterios. Evidentemente una figura análoga podría identificarse a partir de las ecuaciones (3) y (4) dependiendo de los objetivos que se persigan.

El desarrollo de estas ecuaciones fueron tomadas de:

Solana-Sansores R., F. ArreguínSánchez. 1990. Diseño de muestreo probabilístico para la pesquería con chinchorro playero en el Puerto de Celestún, Yucatán, México [Probability sampling design for a beach seine fishery off Celestun, Yucatan, Mexico]. *Ciencias Marinas*. 16(4):43-60 (<https://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarias/article/view/71>)

Favor de consultar este documento para más detalles y aspectos adicionales.



Anexo 3

Consideraciones para la aplicación de métodos de evaluación de poblaciones explotadas

Derivadas de situaciones de nula información disponible y de la necesidad de obtener una estimación rápida (cuasi instantánea) del estado de explotación de los recursos

En los procedimientos y métodos señalados en el apartado correspondiente consideran por sí mismos que su aplicación se hará en condiciones de información representativa de las poblaciones sujetas a explotación. Por esta razón, una evaluación basada en una muestra intensiva en una localidad y en un momento determinado puede ser informativa o puede resultar en información sesgada si no se tiene la precaución de pensar en las consecuencias sobre los supuestos de la calidad de la información disponible; análisis que debe aplicarse a cada uno de los procesos estimados. A continuación, se ofrecen algunos aspectos que se deben de considerar con la advertencia de que no es un análisis exhaustivo dada la diversidad de condiciones y métodos a aplicar.

Con respecto a los métodos presentados, reúnen el requisito, no solo de ser métodos formalmente utilizados en la literatura científica, sino también de poder ser aplicados fácilmente usando cualquier hoja de cálculo. Estos eran requisitos fundamentales para poder ser descritos paso a paso y lograr la estimación esperada. Desde luego no son los únicos, ni deben tomarse como una sugerencia de ser los mejores disponibles. Existen una gran diversidad de métodos equivalentes y muchos otros que requieren solo un poco más de información que podrían ser aplicados. Se sugiere fuertemente que se explore la literatura para una adecuada selección de procedimientos acorde a la información disponible.

El proceso inicia con la toma de muestra. La parte más importante del diseño de muestreo, y por lo tanto de la representatividad, es la adecuada identificación de la población muestral (objetivo de representación). Si se trata de estadísticas pesqueras se debe de identificar al ámbito de distribución del recurso de interés respecto a las localidades de desembarco. De poco sirve si sólo se toma muestra de una localidad entre muchas otras o si se toma sólo una localidad sin saber qué proporción es ésta respecto al total. Otro aspecto es que tan heterogéneas son las embarcaciones y artes de pesca, las cuales aportarán estructura

diferente de las capturas, así como de su magnitud. En este contexto, el objetivo de la figura 1, donde se ilustra el diseño de muestreo, se hace notar la necesidad de identificar primera y necesariamente, el esquema de organización de la pesca en estratos y etapas dentro de cada estrato, y de acuerdo al objetivo de muestreo.

Es obvio, por ejemplo, que, si el volumen de captura es determinante



para la estimación del tamaño de la población, será necesario tener un buen registro o al menos una buena estimación. Lo mismo ocurre con la estructura por tamaños de la captura, si la estructura por tamaños varía, por ejemplo, con la localidad derivado de la forma de acceso al recurso (y probablemente de su distribución), es evidente que tendrá que tomarse información que representa la estructura global de las capturas. Si hay sesgo o error en este proceso se trasladará dicho error en la asignación del número de individuos con la edad resultando en estimaciones erróneas de la mortalidad por pesca, y eventualmente en las medidas de manejo. Este mismo problema puede presentarse si no se atiende a las diferencias en la selectividad de las diferentes artes de pesca empleadas. En los casos donde haya diferencias sustanciales entre los estratos y dentro de cada estrato diferencias en las etapas, siempre se podrá desarrollar un esquema de muestreo probabilístico multiestratificado y polietápico. La asignación, en cada caso, de tamaño de muestra y selección o agrupación de estratos y etapas será similar a los casos ilustrados. Debe recordarse siempre que el objetivo del muestreo debe de ser la mejor representatividad de la población muestral, sea, en el caso de pesquerías artesanales, el registro de las capturas, el registro del esfuerzo de pesca, el registro de la estructura de las capturas, sea por especies y/o por tamaños.

En general, para un objetivo de muestreo determinado, a mayor precisión y representatividad mayor costo. En una muestra de cualquier naturaleza la mayor variabilidad de los elementos a registrar generará mayor tamaño de muestra para una representatividad determinada; por ejemplo, si la variabilidad entre estratos es alta habrá que visitar más estratos para mantener un cierto nivel de representatividad; o si dentro de un estrato la variabilidad de la estructura de tallas es alta, habrá que tomar muestras de un mayor número de embarcaciones. Lo que esto sugiere es la conveniencia de 1) identificar lo mejor posible el marco muestral y diseñar un esquema representativo de estratos y etapas; 2) desarrollar un muestreo piloto aleatoriamente sobre el/los objetivo(s) de muestreo deseado(s) con el objeto de obtener las mediciones de variabilidad necesarias para calcular la representatividad, confianza y precisión; 3) en la misma etapa anterior identificar los costos de muestreo asociados al muestreo piloto; 4) Estimar las curvas de isocostos e isovarianzas ejemplificadas en la figura 2 para diferentes niveles de tamaño de muestras y combinaciones entre estratos y etapas, 5) determinar los niveles de representatividad, confianza y precisión utilizables. Nótese que en el proceso la decisión de objetivos a registrar siempre es de manera aleatoria (p.ej. de un conjunto de embarcaciones que arriban simultáneamente, o la selección de una localidad, etc. Un problema común es pensar que, de entre una selección de localidades a elegir aleatoriamente dentro de un estrato, que todas son similares y que puede tomarse la muestra siempre de una sola de ellas; por ejemplo, la más cercana lo cual permite cierto grado de ahorro. Este supuesto equivaldría a asumir que la estructura de tallas de todas las capturas de todas las localidades es idéntica, lo cual puede ser origen de un sesgo en la estimación de la estructura de la población. En esta guía se señalaron de manera directa los aspectos que se consideraron más relevantes, en términos generales, para implementar un diseño de muestreo. Es evidente la existencia de literatura que aborda el tema, los métodos y aplicaciones. Se sugiere consultar algunos de los documentos mencionados en la sección de bibliografía sugerida.

Sobre los métodos de análisis, existen dos tendencias, la primera de ellas basada en estructura por longitudes y la otra basada en estructura por edades. Los aspectos teóricos de los modelos y métodos a aplicar son similares, con el ajuste necesario de la duración de los

intervalos de tiempo cuando se trabaja estructura por longitudes. La única diferencia podría ser cuando la estructura de tallas entre cohortes varíe mucho de periodo de tiempo a otro de tal suerte que la asignación de edad a la longitud resulte en diferencias significativas respecto a la estructura por edades estimada individualmente. Por otro lado, suponer a priori que a una cierta longitud le corresponde siempre una misma edad implica asumir estabilidad en la estructura de la población en el tiempo. Podría pensarse que trabajar con estructura por edades es mejor, pero esto significa que es posible determinar de manera clara las clases de edad. Este proceso se dificulta en especies tropicales donde los periodos de desove duran varios meses; en ellos las marcas de crecimiento no son siempre claras y las distribuciones de longitud en las edades se van sobreponiendo hacia las edades mayores. La selección de un tipo de procedimiento u otro estará en función del conocimiento acumulado y de las herramientas de análisis disponibles.

Independientemente del modelo poblacional que se decida utilizar, en todos los casos deberá estimarse crecimiento, y por lo general el modelo empleado es el de von Bertalanffy. Los parámetros L_{∞} y K deben de ser congruentes con la historia de vida de las especies y de ellos dependerá la definición de las edades. Un comportamiento conocido una subestimación en el valor de uno de ellos conduce necesariamente a una sobreestimación en el otro. Así, por ejemplo, si se subestima el valor de L_{∞} , esto resultará en valores más elevados de K . En los métodos basados en longitudes generalmente el valor de L_{∞} está fuertemente asociado a las tallas mayores presentes en las muestras; así, por ejemplo, si solo se miden capturas de juveniles, el método subestimaré este valor. Por otro lado, el valor de K debe de ser consistente con la historia de vida de la población y aunque no siempre es intuitivo identificar esta relación se ha sugerido que una aproximación gruesa que da buena idea de la consistencia de la magnitud es la longevidad de la especie la cual por lo general es posible identificar. La relación es $t_{\lambda} = \frac{3}{K} + t_0$.

En el ejemplo se seleccionó el método NSLCA para estimar los parámetros de crecimiento. La estrategia seguida fue identificar un valor preliminar de L_{∞} y usar el NSLCA para obtener un aproximado de K , y posteriormente volver a correr con esos valores como semilla para obtener los valores finales. Desde luego hay otros métodos basados en distribución de frecuencia de longitudes que pueden encontrarse fácilmente en la literatura y disponibles en plataformas de modelación. La selección en este caso obedece a dos aspectos; la facilidad de resolverlo en una hoja de cálculo y el ser menos sensible a la superposición de la distribución por tallas de las edades mayores. Desde luego podría aplicarse cualquier otro procedimiento y, como en los casos anteriores, solo se sugiere se identifiquen claramente los supuestos teóricos de los métodos y de los algoritmos de solución.

El procedimiento sugerido para estimar la estructura por edades en términos de una clave edad longitud en términos de probabilidad es de los más consistentes, el punto que hay que tener cuidado es en la identificación de la varianza de los componentes normales presentes en una distribución de frecuencia de longitudes. En este sentido se sugiere que al obtener esta relación solo se utilice la información de las distribuciones normales que sean claramente identificadas; mientras más información de distribución de frecuencias se tenga el patrón de la desviación estándar respecto a la moda de cada edad será más claro y eso resultará en mayor precisión de la estructura por edades.

Sobre la mortalidad natural, como se hizo notar hay muchos modelos disponibles, y es el parámetro más difícil de estimar. Si bien se discutió sobre la existencia de diversos métodos, los empleados en el ejemplo son solo unos pocos de los métodos existentes. Para cualquier aplicación será importante identificar la información disponible, los supuestos de los métodos y asegurarse que, de aquellos seleccionados y aplicados, adoptar como resultado aquel que sea biológicamente consistente con la historia de vida de la especie.

En la secuencia empleada se utilizó la estructura por edades para estimar la tasa instantánea de mortalidad total, Z , y por diferencia se estimó la mortalidad por pesca $F = Z - M$. También se mencionaron otros procedimientos basados en longitudes los cuales se sugiere ampliamente sean consultados en la literatura. Al carecerse de información para estimar la mortalidad por pesca, es de suma importancia obtener una muy buena estimación de Z ; al final, de estas estimaciones dependerá el estimado que se haga del estado de explotación del recurso objeto de análisis. En este último caso se realizaron dos aproximaciones, la simple interpretación de la tasa de cosecha $HR (= [F/Z] \cdot [1 - e^{-z}])$, y el modelo de Beverton y Holt. Las dos aproximaciones son de mucha utilidad, pero su aplicación se verá limitada a las condiciones de representatividad de la información de la cual partió el análisis. Aquí es donde podría tener consecuencias un diseño de muestreo erróneo. La interpretación, estará en consecuencia, asociada a la representatividad de la información disponible. En el ejemplo ilustrado si la muestra es suficientemente representativa, permitirá tener un diagnóstico instantáneo, pero sin considerar la variabilidad temporal patrones de variación, procesos poblacionales que puedan afectar la estructura de las capturas, etc..

Para la estimación de biomasa se usaron las aproximaciones de Jones y Thompson y Bell. No se sugieren estas en particular ni su uso debe interpretarse como que son las aproximaciones más deseables. Se emplean, como se comentó anteriormente, por la facilidad de resolver los modelos en hoja de cálculo. En este contexto, nuevamente, la estimación de biomasa depende del registro de captura y este está ligado al diseño de muestreo. Un buen registro de captura resultará en consecuencia en una estimación confiable de biomasa. Así mismo, como en casos anteriores, se sugiere fuertemente explorar la literatura por los diversos métodos disponibles tanto para el análisis de estructura por longitudes como de estructura por edades, y poner mucha atención a los supuestos de los modelos y a los algoritmos de solución de los mismos.

Por lo que se refiere a la condición de análisis bajo el contexto de limitación de datos, esto significa típicamente la existencia de alguna información. Aunque en el texto de la presente guía se mencionaron específicamente tres de ellos, como se señaló, hay diversas aproximaciones y aplicaciones (ver la sección de bibliografía sugerida). En esta condición es sumamente importante revisar la literatura a la luz de la información disponible y de los supuestos de los métodos y algoritmos de estimación para seleccionar aquél o aquellos procedimientos que acomoden mejor a las características de la información disponible. En esta medida la interpretación y las medidas de manejo que se generen serán de mayor calidad.

Anexo 4

Estimación de los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy por el método NSLCA

datos iniciales		datos finales	
to	0,25	to	0,25
PI	3,142	PI	3,142
ts	0,5	ts	0,5
Linf	61	Linf	59,87
K	0,1	K	0,563
Lo	-1,54	Lo	(9,04)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Lmed	num	Lmin	Lmax	tmin	tmax	tmed	sen(PI*dt)	pi*dt	cos2*PI*(tmed-ts)	T(L)	delta(t)	RAIZ(N)*dt	T(L)*RAIZ(N)dt
17	13	16	18	0,803	0,886	0,844	0,258	0,261	-0,556	-0,549	0,083	0,30	-0,164
19	75	18	20	0,885	0,973	0,929	0,270	0,273	-0,901	-0,890	0,087	0,75	-0,671
21	150	20	22	0,973	1,064	1,018	0,283	0,287	-0,994	-0,980	0,091	1,12	-1,098
23	122	22	24	1,054	1,161	1,112	0,298	0,303	-0,763	-0,752	0,095	1,07	-0,801
25	81	24	26	1,161	1,263	1,211	0,315	0,320	-0,243	-0,239	0,102	0,92	-0,219
27	56	26	28	1,253	1,371	1,316	0,333	0,340	0,403	0,396	0,108	0,8	0,317
29	68	28	30	1,371	1,488	1,428	0,354	0,362	0,898	0,879	0,115	0,95	0,835
31	92	30	32	1,485	1,609	1,547	0,377	0,387	0,957	0,934	0,123	1,18	1,103
33	116	32	34	1,609	1,742	1,674	0,404	0,416	0,458	0,445	0,132	1,43	0,634
36	120	34	36	1,742	1,885	1,812	0,434	0,449	-0,379	-0,366	0,143	1,57	-0,574
37	101	36	38	1,885	2,040	1,961	0,470	0,489	-0,970	-0,932	0,158	1,56	-1,457
39	83	38	40	2,040	2,211	2,124	0,510	0,536	-0,714	-0,680	0,170	1,55	-1,066
41	73	40	42	2,211	2,399	2,303	0,558	0,593	0,325	0,306	0,189	1,61	0,493
43	51	42	44	2,399	2,610	2,502	0,615	0,663	1 000	0,928	0,211	1,51	1,399
45	52	44	46	2,610	2,850	2,726	0,683	0,752	0,149	0,136	0,239	1,73	0,234
47	58	46	48	2,850	3,127	2,983	0,764	0,870	-0,994	-0,874	0,277	2,11	-1,842
49	49	48	50	3,127	3,455	3,283	0,858	1,031	0,207	0,172	0,328	2,30	0,396
51	42	50	52	3,455	3,857	3,645	0,964	1,265	0,615	0,463	0,403	2,61	1,209
53	32	52	54	3,857	4,379	4,009	0,998	1,638	-0,813	-0,495	0,521	2,95	-1,461
56	16	54	56	4,379	5,119	4,711	0,728	2,327	0,245	0,007	0,741	2,96	0,227
57	4	56	58	5,119	6,412	5,651	-0,796	4,062	0,584	-0,115	1,293	2,59	-0,296

$$L_0 = L_{\infty}(1 - e^{Kt_0})$$

$$t_x = t_0 - \frac{1}{K} \ln \left(1 - \frac{\ell_x}{L_{\infty}} \right)$$

donde x representa min, max, med de acuerdo a las longitudes mínima, máxima y media, de cada intervalo de longitud, respectivamente.

El procedimiento es como sigue:

Se dispone de la muestra de la distribución de frecuencia de longitudes (columnas 1 y 2)

Se utiliza inicialmente un valor de $t_0 = 0,25$

Se asigna el valor de L_∞ , en el ejemplo $L_\infty = 61$, un valor inicial para $K = 0,1$ y con ello se calcula L_0 .

Se establecen los límites mínimos, máximo para los intervalos de longitudes de la distribución de frecuencia de longitudes de la muestra (columnas 3 y 4; note que la media es la columna 1), y se calculan los valores correspondientes a t_x (columnas 5 a 7). Se calcula para cada intervalo la ecuación (10) (columnas 8 a 11). Note que la columna 11 corresponde al valor de $T(I)$ de la ecuación 10. Se calcula el valor de Δt (columna 12). Se obtiene el producto de Δt y de la raíz cuadrada de las frecuencias (columna 13, derivada de la columna 2); y finalmente se obtiene el producto de las columnas 11 y 13 como $T(I) \cdot \sqrt{N_i} \cdot \Delta t$ (columna 14). Internamente en este cálculo se realiza para todas las clases de longitud de la muestra se suman en una cantidad A . Si hay más de una muestra los valores de la columna 14 se calculan para cada muestra y se acumulan al valor A , ajustando en cada caso el valor de entrada correspondiente a t_s . Nótese que estos cálculos fueron todos realizados con un valor de $t_0 = 0,25$.

Se repiten todos los cálculos, con los mismos valores de K y L_∞ , pero ahora con un valor de $t_0 = 0$. En este caso éstos valores se asignan a un contador $S = B$.

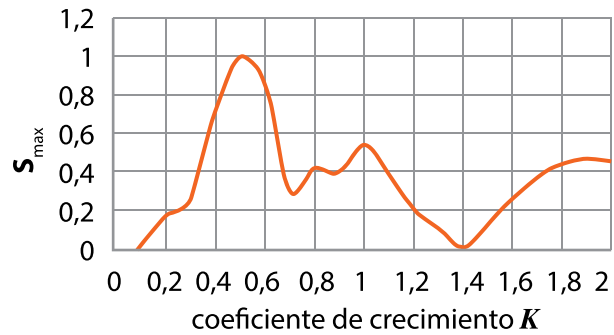
Con los valores de A y B se estima el valor S ,

$$S = \sqrt{A^2 + B^2}$$

Se repite este procedimiento para valores sucesivos y graduales de K hasta encontrar el valor máximo que corresponde a S_{max} de la ecuación (11). El valor que maximiza K en esta búsqueda será el valor correspondiente al valor de L_∞ que mejor se ajusta a los datos de la muestra. En el ejercicio, la búsqueda de K se realizó cambiando sucesivamente valores con un incremento de 0.1, obteniéndose un valor de $K = 0,5$.

Los resultados para la exploración para el ejemplo que se está trabajando son los siguientes

K	S_{max} con dt
0,10	0,0026
0,20	0,5100
0,30	0,8000
0,40	2,1900
0,50	3,1400
0,60	2,7500
0,70	0,9500
0,80	1,3100
0,90	1,2500
1,00	1,7000
1,10	1,2300
1,20	0,6400
1,30	0,3100
1,40	0,0020
1,50	0,4000
1,60	0,8400
1,70	1,1900
1,80	1,4000
1,90	1,4700
2,00	1,4300



A la izquierda, exploración de valores de la función S del método NSCLA mostrando un gradiente de valores de K aumentando gradualmente, con un valor de $L_{\infty} = 61$ fijo. El valor S_{max} y de K correspondiente se muestran en negritas. La figura arriba, muestra la optimización de la función S_{max} .

Para afinar la estimación se realiza una estimación adicional de estos cálculos, iniciando con los valores estimados, en este caso $K = 0,5$ y $L_{\infty} = 61$; permitiendo maximizar S_{max} variando simultáneamente K y L_{∞} . Para ello se puede emplear cualquier algoritmo de maximización. En el ejercicio, desarrollado en hoja de cálculo Excel © se empleó el método de Newton de la rutina Solver. Los resultados para el ejemplo fueron $K = 0,563$ y $L_{\infty} = 60$.

Anexo 5

Clave edad longitud en términos de probabilidad para las edades identificadas a la distribución de frecuencia de longitudes

De la Tabla2. La representación gráfica se muestra en la figura 7 del texto.

edad	1	2	3	4	5	6
longitud media	23,34	39,12	48,11	53,23	56,14	57,8
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,101	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,193	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	0,186	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,039	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
30	0,014	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
31	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
32	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
33	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
34	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
35	0,000	0,028	0,001	0,000	0,000	0,000
36	0,000	0,042	0,042	0,001	0,000	0,000
37	0,000	0,058	0,002	0,000	0,000	0,000
38	0,000	0,075	0,003	0,000	0,000	0,000
39	0,000	0,090	0,006	0,001	0,000	0,000
40	0,000	0,101	0,009	0,001	0,000	0,000
41	0,000	0,106	0,014	0,002	0,001	0,000
42	0,000	0,103	0,020	0,003	0,001	0,001
43	0,000	0,093	0,028	0,005	0,002	0,001
44	0,000	0,079	0,037	0,008	0,003	0,002
45	0,000	0,062	0,047	0,012	0,005	0,003
46	0,000	0,046	0,058	0,017	0,007	0,004
47	0,000	0,031	0,068	0,023	0,010	0,006
48	0,000	0,020	0,076	0,030	0,014	0,009
49	0,000	0,012	0,081	0,038	0,019	0,012

23	0,101	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
24	0,158	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
25	0,193	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
26	0,186	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
27	0,141	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
28	0,084	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
29	0,040	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
30	0,016	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
31	0,007	0,58	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
32	0,007	0,14	0,85	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00
33	0,011	0,02	0,97	0,01	0,00	0,00	0,00	1,00
34	0,018	0,00	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00
35	0,029	0,00	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00
36	0,043	0,00	0,97	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00
37	0,061	0,00	0,96	0,03	0,00	0,00	0,00	1,00
38	0,079	0,00	0,95	0,04	0,01	0,00	0,00	1,00
39	0,097	0,00	0,93	0,06	0,01	0,00	0,00	1,00
40	0,112	0,00	0,90	0,08	0,01	0,00	0,00	1,00
41	0,122	0,00	0,86	0,11	0,02	0,01	0,00	1,00
42	0,128	0,00	0,80	0,15	0,03	0,01	0,01	1,00
43	0,129	0,00	0,72	0,21	0,04	0,02	0,01	1,00
44	0,129	0,00	0,61	0,29	0,06	0,02	0,01	1,00
45	0,129	0,00	0,48	0,37	0,09	0,04	0,02	1,00
46	0,132	0,00	0,35	0,44	0,13	0,05	0,03	1,00
47	0,138	0,00	0,23	0,49	0,16	0,07	0,04	1,00
48	0,149	0,00	0,14	0,51	0,20	0,09	0,06	1,00
49	0,163	0,00	0,07	0,50	0,23	0,12	0,08	1,00
50	0,178	0,00	0,04	0,47	0,26	0,14	0,09	1,00
51	0,194	0,00	0,02	0,42	0,28	0,16	0,11	1,00
52	0,208	0,00	0,01	0,37	0,30	0,19	0,13	1,00
53	0,220	0,00	0,00	0,32	0,31	0,21	0,16	1,00
54	0,229	0,00	0,00	0,26	0,32	0,24	0,18	1,00
55	0,234	0,00	0,00	0,21	0,32	0,26	0,21	1,00
56	0,234	0,00	0,00	0,17	0,32	0,28	0,24	1,00
57	0,230	0,00	0,00	0,13	0,31	0,30	0,26	1,00
58	0,222	0,00	0,00	0,10	0,29	0,32	0,29	1,00
59	0,211	0,00	0,00	0,07	0,28	0,33	0,32	1,00
60	0,195	0,00	0,00	0,05	0,26	0,34	0,35	1,00
61	0,177	0,00	0,00	0,03	0,24	0,35	0,38	1,00
62	0,157	0,00	0,00	0,02	0,21	0,36	0,41	1,00

63	0,136	0,00	0,00	0,02	0,19	0,36	0,43	1,00
64	0,115	0,00	0,00	0,01	0,17	0,36	0,46	1,00
65	0,094	0,00	0,00	0,01	0,15	0,36	0,49	1,00
66	0,076	0,00	0,00	0,00	0,13	0,35	0,51	1,00
67	0,059	0,00	0,00	0,00	0,11	0,35	0,54	1,00
68	0,045	0,00	0,00	0,00	0,09	0,34	0,56	1,00
69	0,034	0,00	0,00	0,00	0,08	0,33	0,59	1,00
70	0,024	0,00	0,00	0,00	0,07	0,32	0,61	1,00
71	0,017	0,00	0,00	0,00	0,05	0,31	0,64	1,00
72	0,012	0,00	0,00	0,00	0,05	0,30	0,66	1,00



ANEXO 6

Estimación del tamaño de la población bajo condición de datos limitados

Una forma de estimación simple basada en estructura por edades se ilustra en la figura A6.1:

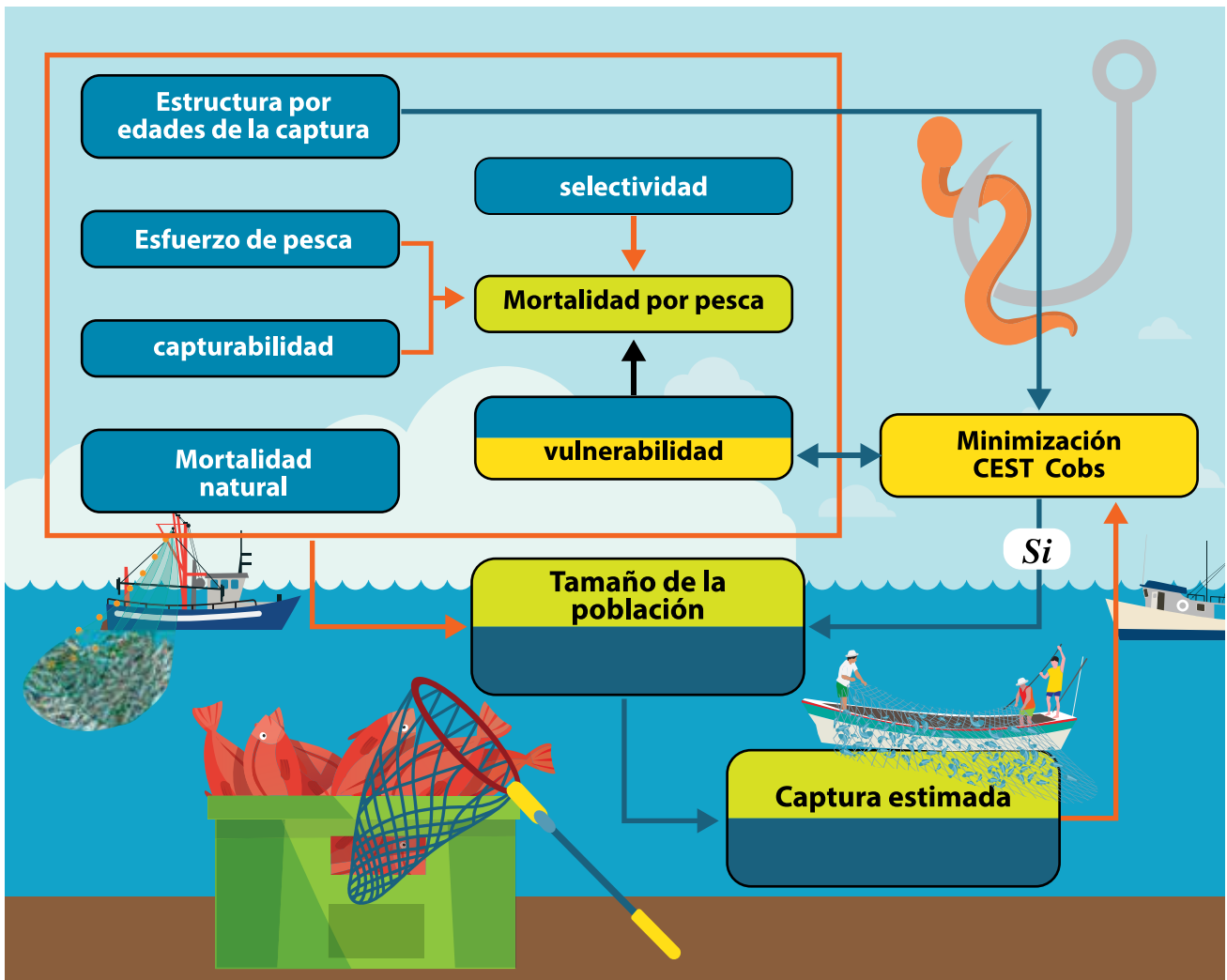


Figura A6.1 Los recuadros en azul claro representan datos de entrada, los verdes parámetros estimados, los amarillos proceso de iteración/optimización y el azul oscuro el resultado final. Las flechas rojas indican la secuencia de cálculo inicial y las azules la secuencia de cálculo para la optimización hacia la estimación final. En todos los casos las matrices son arreglos de edades (renglones) y tiempo (tiempo, p.ej. años).

El proceso inicia con los siguientes datos de entrada (cuadros azul claro) para cada edad y año: estructura por edades de la captura ($C_{obs,t,y}$), el esfuerzo de pesca (E_t), estimaciones independientes de capturabilidad ($q_{t,y}$), selectividad ($s_{t,y}$) y de mortalidad natural ($M_{t,y}$). Se incluye una matriz de vulnerabilidad con la unidad como valores iniciales ($V_{t,y}$). Se obtiene una estimación inicial de mortalidad por pesca para cada edad y año como sigue: $F_{t,y} = q_{t,y} \cdot S_{t,y} \cdot V_{t,y} \cdot E_t$. Con esta información el tamaño de la población puede obtenerse de varias maneras; por ejemplo, como análisis de cohortes, VPA o solución numérica,

seleccionándose para este ejemplo el último caso. En consecuencia, el tamaño preliminar de la población se estima como:

$$N_{t,y} = \frac{C_{obs,t,y}}{\left(\frac{F_{t,y}}{Z_{t,y}}\right)} \cdot [1 - e^{-Z_{t,y}}]$$

donde $Z_{t,y} = M_{t,y} + F_{t,y}$

De aquí se obtiene el valor de la captura estimada como:

$$C_{obs,t,y} = F_{t,y} \cdot N_{t,y}$$

Si $C_{obs,t,y}$ fuera en la realidad solo consecuencia de los parámetros del modelo se esperaría entonces que las capturas observadas y estimadas fueran iguales; sin embargo, se sabe que hay otros factores que actúan sobre la población y en consecuencia típicamente $C_{obs,t,y} \neq C_{est,t,y}$. Uno de los objetivos del modelo es identificar la población disponible para la pesca. La mortalidad por pesca aporta información de las operaciones de pesca que dan como resultado las capturas, y la otra fuente de decremento de la población la representa la mortalidad natural. Como no se consideran explícitamente otras fuentes de variación de la biomasa disponible se introdujo en esta estimación una matriz que representa esas otras fuentes de variación denominándole vulnerabilidad, considerando que hay alguna porción de la población que no es susceptible de ser retenida por la pesca.

De acuerdo con la definición de mortalidad por pesca, para la estimación preliminar del tamaño de la población se consideraron valores de $v_{t,y} = 1$. En esta segunda etapa la idea es correr algún algoritmo de optimización que permita la igualdad $C_{obs,t,y} = C_{est,t,y}$, dejando variar libremente cada uno de los valores de $v_{t,y}$; por ejemplo bajo la condición donde $\ln\left(\frac{C_{obs,t,y}}{C_{est,t,y}}\right) = 0$. Al obtenerse esto se tendrá la estimación de tamaño de la población con

la mortalidad por pesca correspondiente, cantidades, junto con los demás parámetros del modelo, que permitirán orientar la toma de decisiones, incluidos los experimentos de simulación de escenarios. En el siguiente conjunto de matrices se representa este procedimiento (asumiéndose por simplicidad $S_{t,y} = 1$ por lo cual no se representa la matriz de selectividad).

Captura observada										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1										
2	256 860	563 430	356 619	116 116	407 312	337 547	158 085	302 163	302 163	87 089
3	312 501	623 747	451 181	143 349	470 813	429 068	203 428	411 159	411 159	122 214
4	433 857	607 864	553 267	191 969	525 379	553 788	270 483	571 126	571 126	258 572
5	436 863	512 995	498 152	187 929	469 256	505 865	256 866	531 159	531 159	331 744
6	372 793	378 927	383 758	172 967	354 227	379 110	216 688	404 024	404 024	371 935
7	335 081	328 540	334 920	172 415	304 292	324 255	202 613	347 246	347 246	364 637
8	317 021	306 652	312 818	173 149	282 126	300 308	197 237	322 432	322 432	356 021

9	283 000	267 713	272 398	174 215	242 880	258 681	188 245	279 424	279 424	331 174
10	236 350	217 539	219 263	169 523	194 045	208 112	174 236	227 284	227 284	281 962
11	221 746	202 435	203 278	165 726	179 845	193 554	168 628	212 200	212 200	264 187
12	207 594	188 051	188 121	160 889	166 521	179 900	162 465	197 981	197 981	246 372
13	193 909	174 354	173 777	155 175	153 994	167 042	155 805	184 512	184 512	228 829
14	180 736	161 408	160 294	148 701	142 282	154 977	148 706	171 783	171 783	211 763

Esfuerzo de pesca										
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
	2 640	2 876	2 542	2 531	3 267	3 224	4 310	4 027	5 353	3 582

Capturabilidad										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	0,000	0,000	0,000	0,001	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Mortalidad Natural										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987
2	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443	1,443
3	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048
4	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761	0,761

10	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Número población										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	6 659 025	4 947 411	1 894 678	3 889,710	3 290 699	1 594 257	3 615 705	4 263 261	958,260	1 183 700
2	355 872	913 001	678 326	259 774	533 307	451 179	218 584	495 739	584 524	131 384
3	555 312	1 190 790	918 530	301 599	1 060 412	684 457	393 572	712 489	854 317	206 714
4	929 766	1 520 208	1 454 584	429 386	1 372 851	1 393 888	773 754	1 113 326	1 482 301	580 506
5	1 095 301	1 437 244	1 465 204	524 651	1 116 559	2 169 030	908 824	1 438 552	1 460 238	825 063
6	1 299 869	1 447 289	1 744 858	585 853	1 283 416	1 944 020	826 280	1 332 552	1 358 483	1 191 420
7	1 391 307	1 470 370	1 659 676	752 121	1 300 345	1 440 264	806 829	1 811 062	1 375 134	1 462 098
8	1 736 659	1 624 075	1 824 058	1 040 039	1 527 033	1 603 837	1 039 568	2 584 985	2 057 436	2 582 883
9	2 177 738	2 076 788	2 211 811	1 376 218	1 833 274	1 933 929	1 476 787	2 352 984	2 286 264	2 375 532
10	2 489 483	2 157 688	2 085 794	1 988 214	2 178 996	2 387 341	1 876 555	2 965 687	2 682 726	3 679 614
11	2 902 614	3 177 356	3 055 722	2 603 343	2 728 299	3 215 760	2 324 676	3 290 783	3 110 233	4 641 517
12	3 701 608	4 023 505	3 854 218	3 445 214	3 443 140	4 075 319	3 051 555	4 185 105	3 954 610	5 903 193
13	4 723 906	5 099 309	4 866 165	4 542 183	4 352 066	5 173 434	3,998,825	5,331,420	5,036,977	7 497 223
14	6 028 590	6 465 963	6 147 543	5 961 880	5 507 287	6 575 080	5 226 273	6 798 539	6 422 318	9 505 415
suma	36 047 049	37 550 996	33 861 166	27 700 187	31 527 686	34 641 796	26 537 788	38 676 486	33 623 821	41 766 261

Captura estimada										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1										
2	256 860	563 429	365 997	1 138 197	566 630	1 130 790	1 042 184	1 848 103	232 509	538 659
3	312 501	1 018 651	251 251	1 419 199	833 885	529 605	477 055	2 427 114	355 908	399 096
4	433 857	951 977	289 552	734 067	2 396 051	127 828	416 407	1 061 437	570 819	649 306
5	436 863	608 250	112 377	662 670	806 685	102 657	467 045	763 747	629 793	634 337
6	372 793	557 074	181 673	473 416	559 529	277,401	876 625	280 530	719 921	766 793
7	335 081	328 540	253 283	338 661	492 449	332 614	861 234	175 811	472 265	250 190
8	317 021	383 567	206 833	300 397	365 144	287 216	394 006	306 148	348 506	489 726
9	283 000	301 207	326 120	186 254	234 313	172 139	331 904	162 183	308 158	164 826

10	236 350	194 236	189 660	172 968	227 640	123 174	313 682	205 390	365 978	147 784
11	221 746	174 976	179 303	155 902	206 078	115 442	285 118	186 528	332 559	136 409
12	207 594	158 506	169 640	141 387	187 726	108 516	260 735	170 470	303 122	126 307
13	193 909	144 150	160 308	128 797	171 769	102 079	239 435	156 474	276 712	117 089
14	1 182 780	572 940	537 511	532 049	653 083	373 983	983 169	591 154	877 481	383 808

Ln(Cest/Cobs)										
edad	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1										
2	-0,00	-0,00	0,03	2,28	1,54	1,21	1,89	1,81	-0,26	1,82
3	-0,00	0,49	-0,59	2,29	2,54	0,21	0,85	1,78	-0,14	1,18
4	-0,00	0,45	-0,65	1,34	3,54	-1,47	0,43	0,62	-0,00	0,92
5	-0,00	0,17	-1,49	1,26	4,54	-1,59	0,60	0,36	0,17	0,65
6	-0,00	0,39	-0,75	1,01	5,54	-0,31	1,40	-0,36	0,58	0,72
7	-0,00	-0,00	-0,28	0,68	6,54	0,03	1,45	-0,68	0,31	-0,38
8	-0,00	0,22	-0,41	0,55	7,54	-0,04	0,69	-0,05	0,08	0,32
9	0,00	0,12	0,18	0,07	8,54	-0,41	0,57	-0,54	0,10	-0,70
10	-0,00	-0,11	-0,15	0,02	9,54	-0,52	0,59	-0,10	0,48	-0,65
11	-0,00	-0,15	-0,13	-0,06	10,54	-0,52	0,53	-0,13	0,45	-0,66
12	-0,00	-0,17	-0,10	-0,13	11,54	-0,51	0,47	-0,15	0,43	-0,67
13	-0,00	-0,19	-0,08	-0,19	12,54	-0,49	0,43	-0,16	0,41	-0,67
14	1,88	1,27	1,21	1,27	13,54	0,88	1,89	1,24	1,63	0,59

En el ejemplo anterior se asumió que algunos de los parámetros de entrada podrían haberse estimado de manera independiente para cada edad y año; por ejemplo $M_{t,y}$ (teniéndose que asumir constante) y $q_{t,y}$. Así mismo, en el ejemplo se asumió la existencia de información sobre esfuerzo de pesca, cuando en muchas ocasiones esta información es inexistente. En estas condiciones el procedimiento de estimación puede desarrollarse de manera similar a la anterior, como se ilustra en la figura A6.2, siendo el procedimiento de cálculo restante es análogo al caso anterior.

Oficina Subregional de la FAO
para Mesoamérica
(507) 301 0326
(507) 301 0325

FAO-SLM@fao.org

**Organización de las Naciones Unidas
para la Alimentación y la Agricultura, FAO**

Ciudad de Panamá, Panamá

