

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

QUINTA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)

12 -16 de mayo de 2014

## DOCUMENTO SAC-05-14

# PROPUESTA DE PUNTOS DE REFERENCIA LÍMITE DE BIOMASA Y MORTALIDAD POR PESCA BASADOS EN REDUCCIÓN DEL RECLUTAMIENTO

Mark N. Maunder y Richard B. Deriso

### 1. INTRODUCCIÓN

La implementación de la Convención de Antigua y el compromiso al enfoque precautorio implica el uso formal de puntos de referencia y reglas de decisión por la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) para la ordenación de los atunes y especies asociadas en el Océano Pacífico oriental (OPO). Los puntos de referencia son generalmente categorizados por tipo (objetivo o límite) y por la cantidad que miden (normalmente biomasa o mortalidad por pesca). En general, los puntos de referencia límite (PRL) indican estados que la ordenación no desea rebasar debido a posibles consecuencias indeseables, y los puntos de referencia objetivo (PRO) indican estados que la ordenación desea lograr para maximizar los beneficios de la pesquería. Los PRL están a menudo asociados con acciones de ordenación, tal vez como parte de una regla de control de cosecha, y en este contexto se les denomina a menudo puntos de referencia « gatillo ». Históricamente, el personal de la CIAT ha basado sus recomendaciones de conservación en una regla de decisión informal que se basa en ajustar el esfuerzo a la mortalidad por pesca ( $F$ ) correspondiente al rendimiento máximo sostenible (RMS;  $F_{RMS}$ ), lo cual implica que  $F_{RMS}$  es un PRO. La biomasa reproductora correspondiente al rendimiento máximo sostenible ( $S_{RMS}$ ) también ha sido usada por la CIAT como punto de referencia informal, pero no queda claro si fue como punto de referencia objetivo o límite. Estos puntos de referencia informales se basan en la Convención original de la CIAT de 1949, que dicta que la meta de la ordenación es mantener a las poblaciones en niveles que permitan el RMS. Los puntos de referencia, su uso en las reglas de control de cosecha, y su relación con las gráficas y la matriz estratégica de Kobe, en el contexto de las poblaciones gestionadas por la CIAT, fueron tratados en Maunder y Aires-da-Silva (2012), Maunder *et al.* (2012), Maunder (2013), Minte-Vera *et al.* (2013), y Maunder y Deriso (2013a).

$F_{RMS}$ , tratada tradicionalmente como objetivo de la ordenación, ha sido transformada en PRL precautorio (Mace 2001). Por analogía (y ya que  $F_{RMS}$  y  $S_{RMS}$  están vinculados en equilibrio de tal manera que si  $F_{RMS}$  no puede ser un objetivo, tampoco lo puede ser  $S_{RMS}$ ), cualquier PRL basado en biomasa debería ser al menos  $S_{RMS}$ , y el PRO debería ser considerablemente mayor que  $S_{RMS}$ . Se considera generalmente que los PRL tienen una baja probabilidad de ser rebasados si se implementa la ordenación para lograr los PRO. Esto implica que, en general, se realiza la pesca en un nivel inferior (tal vez sustancialmente inferior) al RMS, y que el RMS puede ser la meta de la ordenación solamente si la incertidumbre es insignificante. Sugiere también que se debería definir los PRO con base en la incertidumbre de la evaluación, de tal modo que, a medida que disminuye esa incertidumbre, el PRO se debería acercar al PRL. No obstante, se puede gestionar una población que se encuentra sustancialmente por debajo de  $S_{RMS}$  y con una mortalidad por pesca superior a  $F_{RMS}$ , y han existido muchas poblaciones con un largo historial de sustentabilidad en esos niveles (por ejemplo, el atún aleta azul del Pacífico norte). Los niveles de captura podrían ser inferior-

res al óptimo debido a un rendimiento por recluta (RPR) subóptimo o un reclutamiento reducido, pero son sin embargo sostenibles, aunque con una probabilidad teóricamente mayor de colapsar, y podrían satisfacer otras metas (por ejemplo, capturas altas de otras especies, como en el caso del atún barrilete capturado en lances sobre dispositivos agregadores de peces (plantados) que también capturan atunes patudo y aleta amarilla).

Este extraño cambio, que va en contra de los objetivos tradicionales de ordenación de la mayoría de las organizaciones de ordenación pesquera, ha sido adoptado por muchos acuerdos internacionales. La justificación del cambio es confusa y mal definida, y el uso de  $F_{RMS}$  como PRL es poco razonable, particularmente si la probabilidad requerida de rebasar el PRL es muy baja. Definitivamente no existe contradicción con la meta expresada por Sainsbury (2008): « Resultados inaceptables se basan fuertemente en evitar impactos de la pesca graves, lentamente reversibles, o irreversibles (por ejemplo, de CNUMAD 1992 y ANUPP 1995), y por lo tanto se enfatiza evitar la sobrepesca de reclutamiento, el colapso de poblaciones y la merma excesiva de organismos de muy larga vida », pero  $F_{RMS}$  no está relacionada con ninguno de éstos. El uso de  $F_{RMS}$  como PRL debería ser reevaluado en términos de las metas de la ordenación, la consistencia general, la exactitud de las evaluaciones de las poblaciones, y la practicalidad.

Punt y Smith (2001) describen el uso apropiado de los puntos de referencia límite en la ordenación de las poblaciones de peces. Accionar un punto de referencia límite no debería significar que la especie corre un alto riesgo de extinción biológica: una respuesta apropiada sería una reducción de la mortalidad por pesca, y no una veda de la pesquería entera. Si se fija el PRL apropiadamente, la probabilidad de accionarlo debería ser baja, pero claramente no nula. Se espera que una población de peces o pesquería se acerque a un PRO, o que fluctúe alrededor del mismo, y que tenga una probabilidad muy baja (menos del 10%, por ejemplo) de rebasar un PRL (Sainsbury 2008). Los PRL han sido tradicionalmente basados en factores biológicos para proteger a la población de impactos de la pesca graves, lentamente reversibles, o irreversibles, los que incluyen la sobrepesca de reclutamiento y la modificación genética (Sainsbury 2008). En términos prácticos, esto significa generalmente determinar el efecto de la explotación sobre el reclutamiento, típicamente mediante una evaluación de la relación población-reclutamiento.

El cálculo del RMS y los puntos de referencia asociados, y de otros puntos de referencia, exige conocimientos de varias cantidades, relacionadas con la biología (por ejemplo, crecimiento, mortalidad natural, madurez y fecundidad, y la relación población-reclutamiento) y la pesca (por ejemplo, selectividad). En el caso de muchas poblaciones, no se dispone de estas cantidades, y para la ordenación se usan sustitutos de puntos de referencia (Clark 1991, 1993, 2002). En particular, la relación población-reclutamiento es difícil de estimar, y se usan puntos de referencia precautorios basados en reproductores por recluta (RPR). Las estimaciones de estos sustitutos se basan todavía en cantidades inciertas (por ejemplo, mortalidad natural), y están por lo tanto diseñadas para funcionar en un sentido precautorio para una gama de ciclos vitales, y no precisan conocimientos de la relación población-reclutamiento. Para algunas poblaciones, el nivel absoluto del tamaño de la población y la mortalidad por pesca es difícil de estimar, y los puntos de referencia estándar no son apropiados. En tales casos, puntos de referencia basados en niveles históricos de biomasa o mortalidad por pesca podrían proporcionar PRL usando el concepto que esos niveles ocurrieron en el pasado y la población permaneció sostenible, pero se ignora qué pasaría si fuesen rebasados. El reclutamiento de los atunes es altamente variable, y son aparentes varios cambios de régimen en las estimaciones del reclutamiento de las principales poblaciones de atunes del OPO. Es posible que una población moderadamente explotada rebase su PRL basado en biomasa debido a fluctuaciones anuales del reclutamiento o un cambio de régimen en el reclutamiento. Las estimaciones de abundancia absoluta de las poblaciones de atunes (y los niveles de merma asociados) son a menudo inciertas debido a la alta productividad y el reclutamiento altamente variable de los atunes, la ausencia de un impacto detectable de la captura sobre la biomasa, y la falta de contraste en dicho impacto, y la incertidumbre en las estimaciones del crecimiento, todas de las cuales son necesarias para extraer información sobre la abundancia absoluta de los datos de composición por talla. Todas estas incertidumbres necesitan ser consideradas al desarrollar los PDR, que idealmente serían robustos a la incertidumbre.

Se deben tener presentes cuatro puntos principales al desarrollar PRL:

- 1) En vista de que se implementa la ordenación para lograr el PRO, debe existir una probabilidad muy baja, pero no nula, de rebasar el PRL;
- 2) El PRL debe estar basado en factores biológicos para proteger a la población de impactos de la pesca graves, lentamente reversibles, o irreversibles;
- 3) Los PRO estarán a menudo en, o cerca de, las cantidades relacionadas con el RMS; y
- 4) La decisión acerca de cuáles PRL son apropiados debería ser tomada en el contexto de la acción de ordenación que se tomará si se rebasa el límite.

Se propones para consideración por la CIAT puntos de referencia límite basados en la reducción esperada del reclutamiento si se usa un valor precautorio (bajo) de la inclinación en la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt.

## 2. PROPUESTA DE PUNTOS DE REFERENCIA LÍMITE

Los PRL deberían estar basados en factores biológicos para proteger a la población de impactos graves, lentamente reversibles, o irreversibles de la pesca. La interpretación general de esto es asegurar que el reclutamiento no sea sustancialmente afectado. La pesca afecta el reclutamiento a través de la reducción de la biomasa reproductora y la relación población-reclutamiento. Desgraciadamente, la relación población-reclutamiento es uno de los procesos más inciertos en la evaluación de poblaciones. Una manera de tomar esta incertidumbre en consideración al construir el punto de referencia es crear una distribución de probabilidad que representa la incertidumbre acerca de la relación población-reclutamiento, y entonces usarla para determinar la probabilidad de que el reclutamiento disminuya por debajo de un nivel predeterminado. Por ejemplo, el punto de referencia podría ser una fracción predeterminada del reclutamiento ( $R$ ) esperado en condiciones sin explotación ( $x\%R_0$ ), donde se deriva el reclutamiento de una relación población-reclutamiento de Beverton-Holt,  $BH()$ , que es una función de la inclinación ( $h$ , la fracción del reclutamiento virgen (no explotado) obtenida cuando la biomasa reproductora ( $S$ ) es reducida al 20% de su nivel virgen) y el nivel de merma ( $d = S/S_0$ ), ambos de los cuales podrían incluir incertidumbre. Se aciona el punto de referencia cuando la probabilidad de rebasar  $x\%R_0$  es mayor que  $\pi$ .

$$P(BH(d, h) < x\%R_0) > \pi$$

Los puntos de referencia son generalmente expresados como un solo valor de biomasa reproductora o mortalidad por pesca. Pueden entonces ser usados en la construcción de la gráfica de Kobe. Estos valores pueden ser determinados si se basan los puntos de referencia en un valor precautorio de  $h$ , a fin de asegurar que, si se rebasa ligeramente el punto de referencia, se relaciona con una pequeña probabilidad que el reclutamiento ha sido reducido a menos de  $x\%$ . El punto de referencia  $x\%R_0$  ( $r = R/R_0$ ) puede entonces ser transformado en un punto de referencia basado en biomasa basado en el nivel de merma ( $d = S/S_0$ ) mediante un ajuste de la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt (ver anexo)

$$d = \frac{0.2r(1 - h)}{0.8h - r(h - 0.2)}$$

Se puede determinar un punto de referencia basado en  $F$  mediante el cálculo de la  $F$  de equilibrio correspondiente al nivel de merma.

El nivel de merma actual (y la  $F$  de equilibrio asociada) puede ser estimado por la evaluación de la población a partir de la mejor conjetura de inclinación, pero este valor de inclinación podría ser diferente de, y posiblemente mayor que, el valor de inclinación usado al generar el PRL. Por lo tanto, la merma actual podría ser subestimada en términos de los supuestos del punto de referencia, y podría por ende ser deseable estimar un valor alternativo de merma basado en una evaluación que usa el valor de inclinación del punto de referencia.

La estimación de la evaluación de la población del nivel de merma actual dependerá del reclutamiento medio usado para estimar el reclutamiento virgen. Ocurren a menudo cambios de régimen de reclutamiento, debido presuntamente a cambios en el medio ambiente. Un método para tratar estos cambios es usar una biomasa virgen dinámica (simular la población a lo largo de un periodo con los reclutamientos estimados, ajustados para la relación población-reclutamiento en caso necesario) en la estimación de la merma actual.

### 3. APLICACIÓN A LAS POBLACIONES DE ATUNES EN EL OPO

Se aplicaron los PRL propuestos a los atunes aleta amarilla y patudo en el OPO y al atún aleta azul en el Pacífico norte. Para cada población es necesario determinar la reducción del reclutamiento, la inclinación de la relación población-reclutamiento, y la probabilidad de rebasar el PRL. No existen pautas acerca de cuál nivel de reducción del reclutamiento es indeseable, pero parece poco probable que una reducción de menos de 50% causaría un colapso de la población; por lo tanto, 50% es un valor precautorio que sirve igual de bien que cualquier otro, y expresamos los PRL correspondientes como  $F_{0.5R0}$  y  $S_{0.5R0}$ . Si se incluye incertidumbre en el nivel de merma o inclinación, entonces la probabilidad de 10% de rebasar el PRL, sugerida en otros estudios, es probablemente razonable. No obstante, a fin de evitar cálculos complejos y producir puntos de referencia únicos para usar en la gráfica de Kobe, no se incluye en el análisis incertidumbre acerca de la inclinación de la curva población-reclutamiento usada en el cálculo del PRL, por lo que no es necesario definir un nivel de probabilidad. Las evaluaciones actuales de la CIAT de los atunes aleta amarilla y patudo incluyen un análisis de sensibilidad que usa un valor de  $h$  de 0.75, y esto sería un candidato razonable para el valor de inclinación del PRL. Ya que se define la inclinación la fracción del reclutamiento virgen obtenida cuando la biomasa reproductora es reducida al 20% de su nivel virgen, una inclinación de 0.75 implicaría, sin incertidumbre en el nivel de merma o inclinación, que el nivel de merma correspondiente al PRL sería algo inferior a 20%, y puede ser calculado simplemente a partir de la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt (ver anexo), produciendo  $d = 0.077$  (Figuras 1 y 2). Es difícil estimar una mortalidad por pesca consistente para inclusión en la gráfica de Kobe porque el esfuerzo entre pesquerías cambia a lo largo del tiempo, y no hay una edad consistente que cuente con selectividad completa a todas las pesquerías. Por lo tanto, se calcula  $F$  relativa a  $F_{RMS}$  para el aleta amarilla y patudo. La CIAT construye la gráfica de Kobe con tanto  $F$  como  $S$  como razón de las cantidades de RMS, y se presentan los PRL de esta forma en el presente análisis. No se dispuso de una medida consistente de  $F$  para el aleta azul del Pacífico, por lo que se evalúa solamente el PRL basado en  $S$ .

Las mejores estimaciones del nivel de merma y la mortalidad por pesca para los atunes aleta amarilla y patudo son cercanas a los TRP basados en RMS (Figuras 3 y 4, respectivamente), y por lo tanto no rebasan los LRP. Los intervalos de confianza aproximados de 95% tampoco rebasan los LRP. En el caso del aleta azul, la biomasa fue mayor que el LRP durante los años 1970 y 1980, y también desde 2004. Estos resultados sugieren que no es necesaria acción de ordenación en el caso de aleta amarilla y patudo, pero sí lo es en el caso del aleta azul del Pacífico.

### 4. DISCUSIÓN

Existe una amplia gama de posibles puntos de referencia, la mayoría de ellos bastante arbitrarios en su definición. Hasta aquellos basados en las metas de PRL de evitar que ocurra algo « perjudicial » usan una definición arbitraria de « perjudicial ». Consideramos posibles puntos de referencia para las principales poblaciones de atunes gestionadas por la CIAT, basados en varios criterios, y en el proceso desarrollamos un nuevo conjunto de PRL.

- 1) En vista de que se implementa la ordenación para lograr el PRO, debe existir una probabilidad muy baja, pero no nula, de rebasar el PRL;
- 2) El PRL debe estar basado en factores biológicos para proteger a la población de impactos de la pesca graves, lentamente reversibles, o irreversibles;
- 3) Los PRO estarán a menudo en, o cerca de, las cantidades relacionadas con el RMS; y

- 4) La decisión acerca de cuáles PRL son apropiados debería ser tomada en el contexto de la acción de ordenación que se tomará si se rebasa el límite.

Estos criterios eliminan algunos puntos de referencia automáticamente. Los puntos de referencia estándar basados en RMS y RPR podrían ser demasiado cercanos a los PRO, y no contemplan el riesgo biológico; los puntos de referencia basados en extinción son demasiado extremos; y los puntos de referencia económicos no se basan en riesgos biológicos. Otros puntos de referencia, tales como SPR y  $%S_0$ , son bastante arbitrarios, y aquellos basados en incertidumbre en las estimaciones del RMS no son una medida de riesgo biológico, o están más relacionados con objetivos precautorios que con límites. Por lo tanto, desarrollamos un punto de referencia basado directamente en disminuciones del reclutamiento.

Debido a fluctuaciones naturales en la abundancia y el uso por la CIAT de límites de esfuerzo para gestionar la pesquería, consideramos los puntos de referencia basados en mortalidad por pesca más prácticos que aquellos basados en biomasa reproductora. Sin embargo, los primeros no tratan directamente el riesgo biológico, pero los segundos sí.

La reducción en el PRL basado en reclutamiento puede ser aplicada a otras relaciones población-reclutamiento. La aplicamos a la relación población-reclutamiento de Beverton-Holt, que se usa para muchas poblaciones y cuenta con una solución algebraica conveniente para el PRL basado en  $S$  basado en un valor dado de la inclinación. La relación población-reclutamiento de Ricker, asimismo usada comúnmente, tiene la complicación que el reclutamiento es también reducido con tamaño de población grande, pero esto no debería ser motivo de preocupación para especies multicohorte no semélparas. El modelo de palo de hockey con tendencia lineal entre la biomasa reproductora nula y el reclutamiento medio al nivel de biomasa reproductora mínima observada podría ser usado para determinar el nivel de biomasa reproductora en 50% del reclutamiento virgen (el promedio observado en este caso), pero actualizaciones iterativas siempre asegurarían que la biomasa reproductora actual produciría un reclutamiento mayor que el 50% del reclutamiento virgen. El modelo población-reclutamiento de palo de hockey podría ser más apropiado si la curva en el palo ocurriese en algún punto más arriba de la biomasa reproductora mínima observada. No consideramos que los modelos población-reclutamiento que usan una razón constante de reclutas por desove sean realistas para los atunes, y por lo tanto no recomendamos su uso. El modelo población-reclutamiento de Maunder y Deriso (2013) para especies altamente fecundas, basado en el alcance temporal y espacial del desove, podría ser más apropiado para los atunes, pero el concepto subyacente de ese modelo implica que el PRL debería estar basado en el alcance temporal y espacial del desove en lugar de en el nivel de biomasa reproductora. La relación población-reclutamiento Maunder-Taylor-Methot para especies de baja fecundidad (ver Taylor *et al.* 2012) podría ser usado para desarrollar PRL para tiburones, pero podría no ser susceptible a soluciones algebraicas, y precisa que se especifiquen dos parámetros.

La mejor forma de evaluar el PRL propuesto, en asociación con una regla de control de cosecha, es en el marco de una evaluación de estrategia de ordenación (EEO). La EEO es un enfoque bien desarrollado en la ciencia pesquera (Butterworth *et al.* 1997; De Oliveira *et al.* 1998; Butterworth y Punt 1999), pero precisa cantidades importantes de tiempo del personal y recursos informáticos. Existe actualmente un proyecto de EEO para atunes tropicales fomentado por la reunión Kobe 3 en julio de 2012. Se está comenzando recién a desarrollar EEO para poblaciones gestionadas por la the CIAT (por ejemplo, Maunder 2014). Los PRL propuestos son para la ordenación de especies individuales, y no toman en cuenta consideraciones de ordenación ecosistémica. La CIAT necesita definir las acciones por tomar si se rebasa un PRL.

## RECONOCIMIENTOS

Alexandre Aires-Da-Silva y Carolina Minte-Vera proporcionaron los datos de los atunes patudo y aleta amarilla, respectivamente.

## REFERENCIAS

- Butterworth D.S., Cochrane K.L., De Oliveira J.A.A. 1997. Management procedures: a better way to management fisheries? The South African experience. In: Pikitch EL, Huppert DD, Sissenwine MP (eds) *Global Trends: Fisheries Management*. American Fisheries Society Symposium 20, Bethesda, pp 83–90.
- Butterworth D.S., Punt A.E. 1999. Experiences in the evaluation and implementation of management procedures. *ICES Journal of Marine Science* 56:985–998.
- Clark, W.G. 1991. Groundfish exploitation rates based on life history parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 734–750.
- Clark, W.G. 1993. The effect of recruitment variability on the choice of a target level of spawning biomass per recruit. In: Kruse, G., Marasco, R.J., Pautzke, C., Quinn II, T.J. (eds.), *Proceedings of the International Symposium on Management Strategies for Exploited Fish Populations*. University of Alaska, Alaska Sea Grant College Program Rep. 93-02, Fairbanks, Alaska, pp. 233–246.
- Clark, W.G. 2002. F35% revisited ten years later. *N. Am. J. Fish. Manage.* 22, 251–257.
- De Oliveira J.A.A., Butterworth D.S., Johnston S.J. 1998. Progress and problems in the application of management procedures to South Africa's major fisheries. In: Funk F., Quinn II T.J., Heifetz J., Ianelli J.N., Powers J.E., Schweigert J.J., Sullivan P.J., Zhang C.I. (eds). *Fishery Stock Assessment Models*. Alaska Sea Grant College Program Report No. AK-SG-98-01, University of Alaska Fairbanks, pp 513–530.
- Mace, P.M. 2001. A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management. *Fish and Fisheries*. 2: 2-32.
- Maunder, M.N. 2013. Reference points, decision rules, and management strategy evaluation for tunas and associated species in the eastern Pacific Ocean. *IATTC Stock Assessment Report* 13: 107:114. <http://iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR-13-Reference-pointsENG.pdf>
- Maunder, M.N. 2014. Management strategy evaluation (MSE) implementation in Stock Synthesis: application to Pacific bluefin tuna.
- Maunder, M.N., and Aires-da-Silva, A. 2012. Evaluation of the Kobe Plot and Strategy Matrix and their application to tuna in the EPO. *IATTC Stock Assessment Report* 12: 191:211. <http://iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR-12-KobeENG.pdf>
- Maunder, M.N., Aires-da-Silva, A., and Deriso, R.B. 2012. A critical evaluation of the construction of the Kobe Strategy Matrix: lessons learned from bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean. *IATTC SAC-03-06C*. <http://iattc.org/Meetings/Meetings2012/May/PDFs/SAC-03-06c-Applicaton-of-Kobe-strategy-matrix-to-BET-DRAFT.pdf>
- Maunder, M.N., and Deriso, R.B. 2013. Reference points and harvest rate control rules. *IATTC SAC-04-09*. <http://iattc.org/Meetings/Meetings2013/MaySAC/Pdfs/SAC-04-09-Reference-points-and-harvest-control-rules.pdf>
- Maunder, M.N., and Deriso, R.B. 2013. A stock–recruitment model for highly fecund species based on temporal and spatial extent of spawning. *Fisheries Research*, 146: 96–101.
- Minte-Vera, C.V., Maunder, M.N., and Aires-da-Silva, A. 2013. Kobe II Strategy Matrix for the bigeye and yellowfin tuna stocks of the eastern Pacific Ocean in 2012. *IATTC SAC-04-05d*. <http://iattc.org/Meetings/Meetings2013/MaySAC/Pdfs/SAC-04-05d-Kobe-strategy-matrix.pdf>
- Punt, A.E., and A.D.M. Smith. 2001. The gospel of Maximum Sustainable Yield in fisheries management: birth, crucifixion and reincarnation. pp 41-66. In J.D. Reynolds, G.M. Mace, K.R. Redford and J.R. Robinson (eds.). *Conservation of Exploited Species*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sainsbury, K. 2008. Best Practice Reference Points for Australian Fisheries. A Report to Australian Fisheries Management Authority and the Department of the Environment and Heritage. R2001/0999.

159p.

Taylor, I.G., Gertseva, V., Methot, R.D. Jr., and Maunder, M.N. 2013 A stock-recruitment relationship based on pre-recruit survival, illustrated with application to spiny dogfish shark. Fisheries Research 142: 15– 21.

UNCED (1992) United Nations Conference on Environment and Development.  
<http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>

UNFSA (1995) UN Fish Stocks Agreement (Agreement for the Implementation of the Provisions of the United Nations Law of the Sea).  
[http://www.un.org/Depts/los/convention\\_agreements/texts/fish\\_stocks\\_agreement/CONF164\\_37.htm](http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/fish_stocks_agreement/CONF164_37.htm)

**ANEXO 1.** La relación población-reclutamiento de Beverton-Holt formulada en términos de inclinación ( $h$ ).

$$R = \frac{S}{\alpha + \beta S}$$

$$\alpha = \frac{S_0(1-h)}{4hR_0}$$

$$\beta = \frac{5h-1}{4hR_0}$$

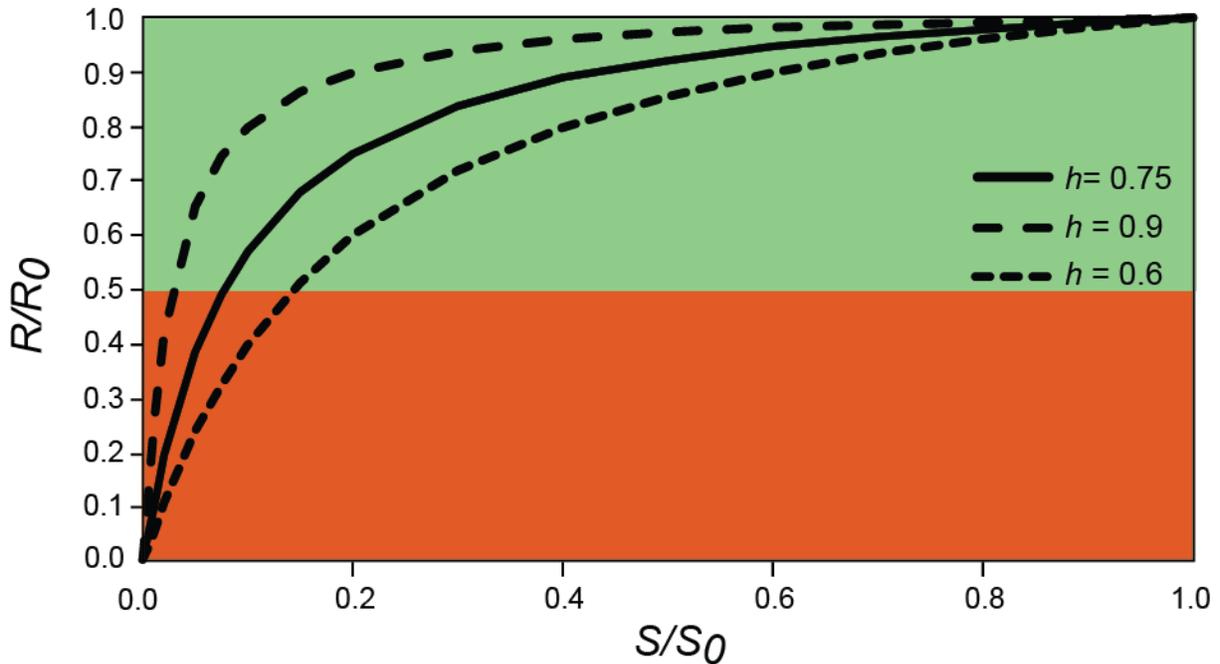
donde  $R$  es reclutamiento,  $S$  es biomasa reproductora,  $S_0$  es biomasa reproductora virgen (no explotada),  $R_0$  es reclutamiento virgen (no explotado), y  $h$  es inclinación (la fracción de  $R_0$  correspondiente a  $0.2S_0$ ).

Una reparametrización de la ecuación en términos de  $r = R/R_0$  y  $d = S/S_0$  produce

$$r = \frac{1}{\frac{1-h}{4hd} + \frac{5h-1}{4h}}$$

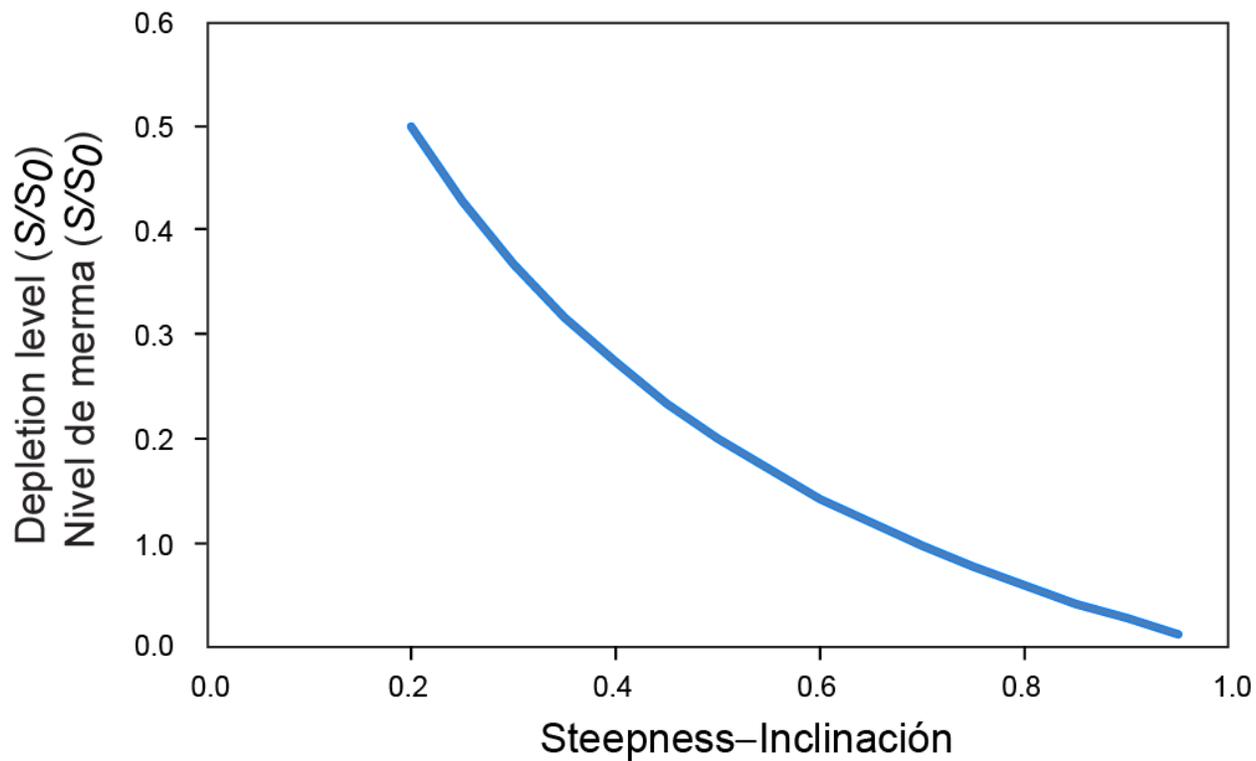
Por lo que el punto de referencia basado en  $S$  como fracción de  $S$  virgen (merma) es

$$d = \frac{S}{S_0} = \frac{0.2r(1-h)}{0.8h - r(h-0.2)}$$



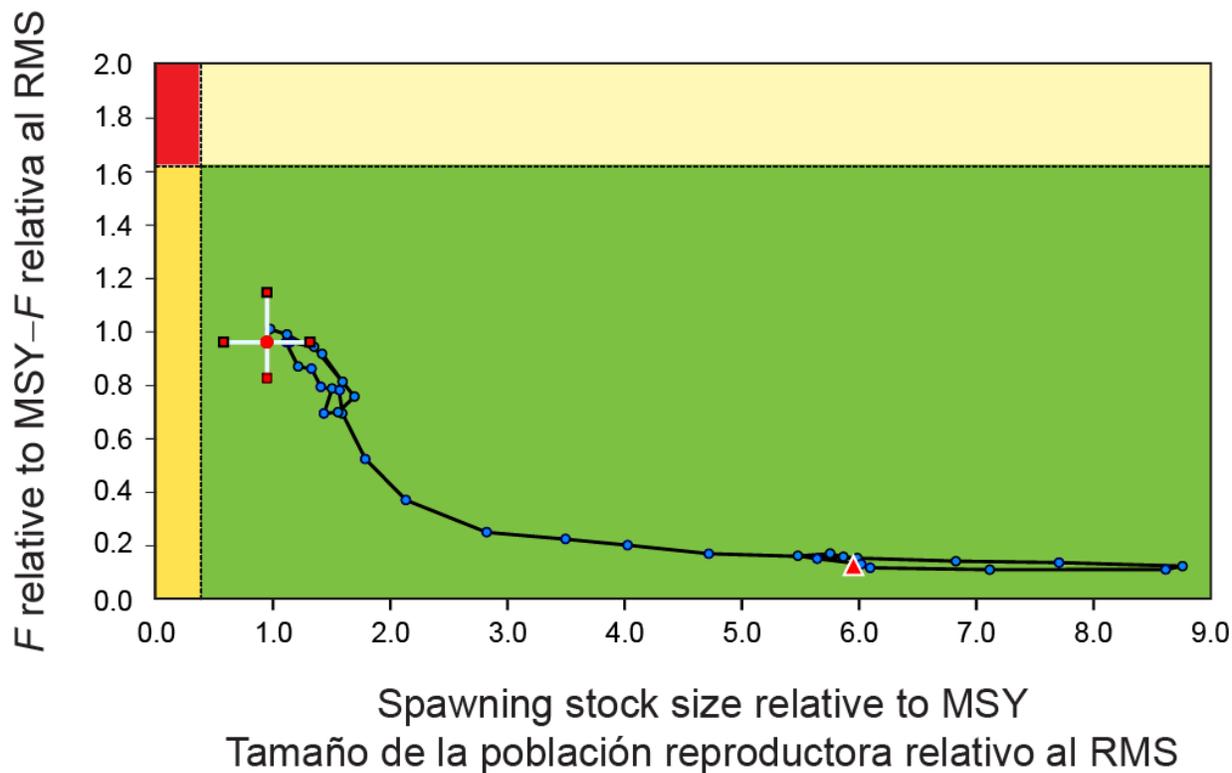
**FIGURE 1.** The Beverton-Holt stock-recruitment relationship with three different values for steepness ( $h$ ). The orange area represents recruitment below the LRP definition of  $0.5R_0$ .

**FIGURA 1.** La relación población-reclutamiento de Beverton-Holt con tres valores diferentes de inclinación ( $h$ ). La zona naranja representa reclutamiento inferior a la definición del PRL de  $0.5R_0$ .



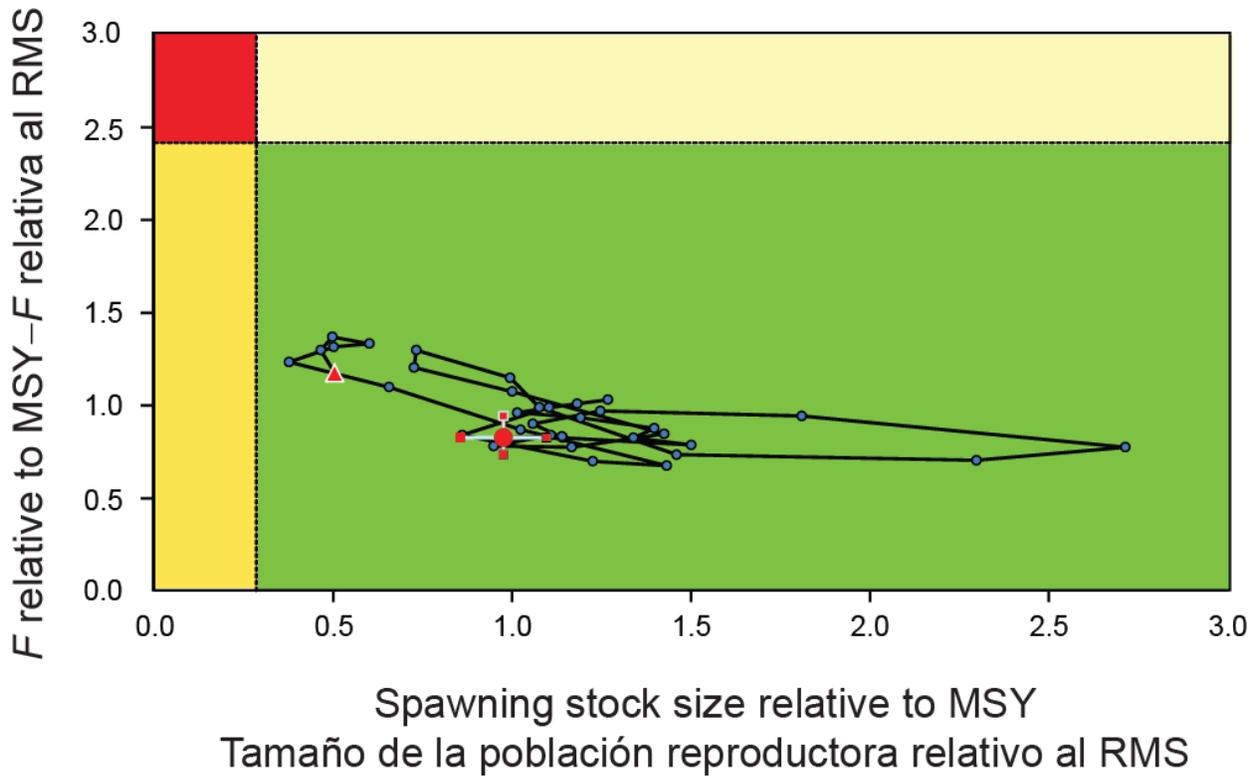
**FIGURE 2.** The depletion level required to make expected recruitment equal to  $0.5R_0$  for different values of steepness.

**FIGURA 2.** Nivel de merma necesario para que el reclutamiento esperado equivalga a  $0.5R_0$  con distintos valores de inclinación.



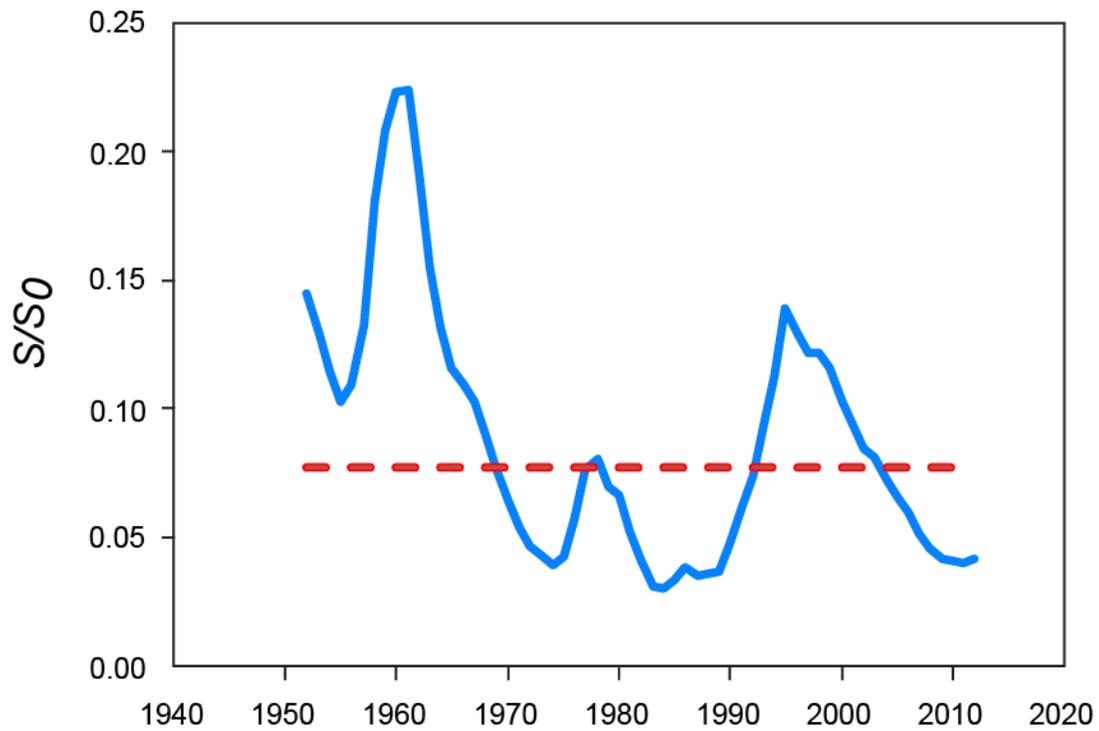
**FIGURE 3.** Kobe (phase) plot based on the proposed limit reference points for bigeye tuna. The triangle is the first year of the assessment (1975). The dot with the cross hairs is the last year of the assessment (2013) with approximate 95% confidence intervals.

**FIGURA 3.** Gráfica de Kobe (fase) basada en los puntos de referencia límite propuestos para el atún patudo. El triángulo es el primer año de la evaluación (1975); el punto (con su cruz de límites de confianza de 95% aproximados) es el último (2013).



**FIGURE 4.** Kobe (phase) plot based on the proposed limit reference points for yellowfin tuna. The triangle is the first year of the assessment (1975). The dot with the cross hairs is the last year of the assessment (2013), with approximate 95% confidence intervals.

**FIGURA 4.** Gráfica de Kobe (fase) basada en los puntos de referencia límite propuestos para el atún aleta amarilla. El triángulo es el primer año de la evaluación (1975); el punto (con su cruz de límites de confianza de 95% aproximados) es el último (2013).



**FIGURE 5.** Ratio of spawning biomass to the average spawning biomass in an unexploited population compared to the spawning biomass limit reference point for Pacific bluefin tuna.

**FIGURA 5.** Razón de la biomasa reproductora y la biomasa reproductora media en una población no explotada comparada con el PRL basado en biomasa reproductora para el atún aleta azul del Pacífico.