

**REPORTE TALLER DE EVALUACION DE STOCK
GRUPO TÉCNICO ASESOR
RECURSO ERIZO X Y XI REGIONES**

Rubén Roa Ureta, Consultor Independiente
Carlos Molinet, Universidad Austral de Chile
Jorge Henriquez, Universidad Austral de Chile

Relator: Rubén H. Roa Ureta
Bilbao, Enero de 2016

INTRODUCCION

La pesquería de erizos de la X-XI Región es una pesquería de alto valor comercial cuyas capturas anuales son del orden de las 18 mil toneladas, estables desde 2003. Involucra a más de 3000 buzos en la X Región y más de 500 en la XI (Resumen Informativo del Sector Pesquero Artesanal de Chile, Subsecretaría de Pesca, información de 2008), además de todos los operarios pesqueros que sirven de apoyo a la extracción directa, los operarios de plantas de procesamiento, y los empresarios exportadores. La pesquería chilena de erizos ha sido la mayor exportadora mundial de gónadas de erizo desde la década del 2000, tanto en volumen como en valor económico (FAO 2014). Los Boletines del Banco Central informan que las cifras del valor FOB de las exportaciones de lenguas de erizo llegaron a US\$54 millones en 2012, US\$59.8 en 2013, y a US\$67.8 en 2014. El nivel de empleo y actividad económica general que esta pesquería genera en la zona sur austral es altamente significativo, proporcionando sustento a miles de familias. La pesquería de erizo de la zona sur austral es la primera pesquería chilena incluida en una Plan de Manejo (Moreno et al. 2006), y actualmente está sujeta a explotación por parte de cientos de buzos autorizados (Moreno et al. 2006, Orensanz et al. 2005). La pesquería en la Macrozona X-XI cubre aproximadamente la mitad del volumen y valor de la pesquería chilena.

Desde el Taller de Evaluación de Stock de 2010 el Grupo Técnico Asesor (GTA) de la pesquería de erizos utiliza el modelo de evaluación y el software CatDyn de Roa-Ureta (2012) en un esfuerzo colectivo de preparación de datos, ajuste de modelos matemáticos, e interpretación de resultados. Este año el Taller de Evaluación de Stock de Erizos (TESE) se realizó a distancia, con el relator en Bilbao, España, y el grupo de trabajo formado por el Dr. Molinet en Puerto Montt, y el Sr. Jorge Henriquez en Santiago. Además el TESE realizó una reunión de trabajo ampliada el 29 de Diciembre de 2015, que incluyó a la coordinadora del GTA, Sra. Alejandra Arévalo, a la Sra. Nancy Barahona y el Sr. Pablo Araya de IFOP, al Sr. Andrés Venegas de la SubSecretaría de Pesca, y al Dr. Molinet y al Sr. Henriquez. El Dr. Roa-Ureta participó vía video-conferencia. La reunión de trabajo ampliada TESE-GTA tuvo su sede en las oficinas de la SubSecretaría de Pesca en Valparaíso.

El presente reporte muestra los resultados del equipo de trabajo respecto del manejo de bases de datos, modelación mediante el software CatDyn, y modelación mediante el modelo de producción excedente para estimar productividad y Cuota Total Permisible. Además, hemos realizado una evaluación regionalizada, que considera los datos de la X Región solamente. El objetivo final del trabajo de este grupo técnico sigue siendo ofrecer el sustento científico para la consideración de alternativas de manejo del stock por parte del GTA y de la Comisión de Manejo de las Pesquerías Bentónicas (COMPEB).

METODOLOGIA DE TRABAJO

Procesamiento de Datos

Los datos originales corresponden al programa de monitoreo de pesquerías bentónicas de IFOP y al censo de control de cuota del Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca). Los datos de IFOP se almacenan en una base de datos MS Access que se extiende desde 1996 al presente, y que en lo esencial está formada por dos tablas, una tabla de resultados operacionales de la flota, y otra tabla de muestreos biológicos, que conjuntamente producen la tabla de entrada al modelo de evaluación de stock (Tabla 1).

Tabla 1.- Datos de entrada al modelo de evaluación de stock de la Macrozona X-XI Zona Contigua temporada 2015.

Semana	Esfuerzo (horas)	Captura (kg)	Peso medio (g)	Captura (millones)
11	129	15495	145.4	0.107
12	3318	392275	144.2	2.720
13	219	53655	144.0	0.373
14	2871	566139	140.1	4.040
15	8652	1225999	141.4	8.672
16	4478	1096177	143.4	7.642
17	8639	1206795	149.1	8.095
18	6479	1047423	157.8	6.637
19	2710	241803	149.3	1.619
20	2356	514396	160.5	3.206
21	6071	872981	156.7	5.570
22	2719	392377	142.6	2.752
23	5757	1427110	142.6	10.011
24	4620	378999	128.5	2.950
25	6299	1142250	155.0	7.369
26	8206	1022030	143.8	7.106
27	2092	328512	138.6	2.370
28	355	34367	140.9	0.244
29	2114	462533	161.2	2.869
30	4445	920587	137.2	6.710
31	7304	1536350	131.2	11.706
32	1788	520788	121.9	4.271
33	6187	834399	130.5	6.394
34	374	78993	126.7	0.623
35	897	142181	131.4	1.082
36	3475	372641	118.9	3.134
37	1806	24667	125.9	0.196
38	1479	162826	124.4	1.309
39	3067	500130	135.8	3.684
40	3821	667082	120.6	5.532

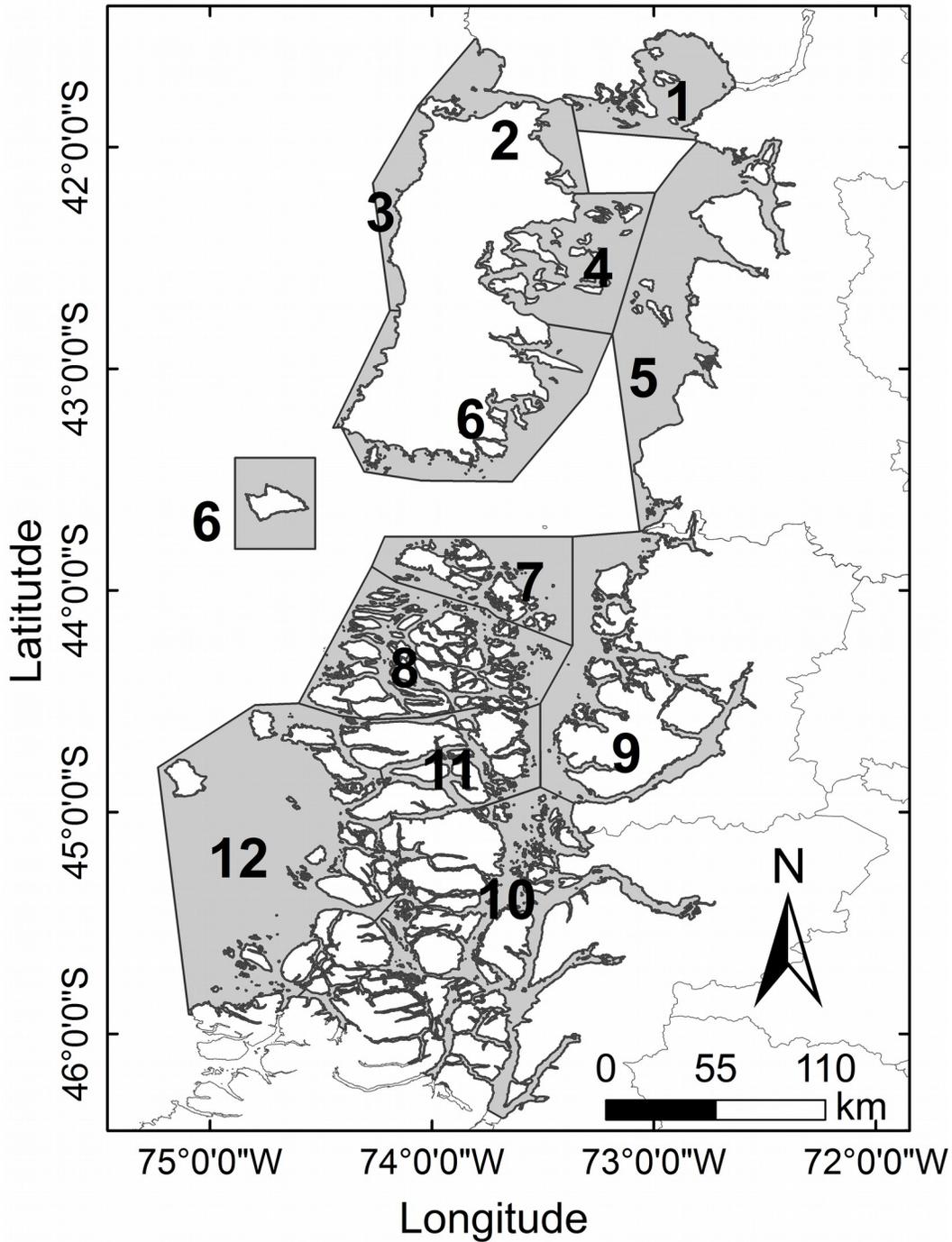


Figura 1.- Polígonos de operación espacial de la flota artesanal definidos para la Macrozona X-XI.

En la evaluación de stock regionalizada las bases de datos fueron separadas de tal manera que todos los registros de los polígonos 1 a 6 correspondieron a la X Región y todos los polígonos de 7 a 12 correspondieron a la XI Región (Figura 1). Realizamos la evaluación de stock regionalizada sólo considerando el sector correspondiente a la X Región por el hecho que el GTA sospecha que esta zona presenta un mucho mayor grado de explotación, posiblemente sobre-explotación.

Modelo de Evaluación de Stock Anual – Estimación de la Biomasa al Principio de la Temporada

Hemos continuado utilizando el software CatDyn y los modelos de depleción generalizados, con los datos de entrada en la Tabla 1. El modelo implementado en el software CatDyn corresponde a:

$$(1) \quad C_t = k E_t^\alpha N_t^\beta e^{-\frac{M}{2}} = k E_t^\alpha \left(N_0 e^{-Mt} - e^{-\frac{M}{2}} \sum_{i=1}^{t-1} C_i e^{-M(t-i-1)} + \sum_{i=1}^t P_i e^{-M(t-i)} \right)^\beta e^{-\frac{M}{2}},$$

$$t > 0, C_t \geq 0, E_t \geq 0, k > 0, N_0 > 0, \alpha > 0, \beta > 0, M > 0, -N_0 e^{-M} \leq P_i \leq +\infty$$

donde C_t es la captura en la semana t , k es el parámetro de escalamiento (*scaling*), E_t es el total de esfuerzo de semana t en horas de buceo, α es el parámetro de respuesta de la captura al esfuerzo (*effort response*), N_t es la abundancia en millones de erizos en la semana t , β es el parámetro de respuesta de la captura a la abundancia del stock (*abundance response*), M es la mortalidad natural semanal, y P_i son las perturbaciones del proceso de agotamiento (de 1 a 4 en cada temporada) debido a expansiones del área de operación de la flota a medida que la temporada avanza.

El ajuste estadístico de las capturas predichas por el modelo en la ecuación (1) a las capturas observadas en la Tabla 1 se realizó con cuatro distribuciones de probabilidad que conducen a seis funciones de verosimilitud,

$$\begin{aligned} & \frac{T-2}{2} \log \left(\sum_{i=1}^T (\chi_i - C_i)^2 \right) \text{ Adjusted Profile Normal} \\ & \frac{T-2}{2} \log \left(\sum_{i=1}^T (\log(\chi_i) - \log(C_i))^2 \right) \text{ Adjusted Profile Lognormal} \\ & -\frac{T}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^T (\chi_i - C_i)^2 \text{ Exact Normal} \\ (2) l_p(\theta; \chi_t, E_t) = & -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \log(\chi_i 2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^T (\log(\chi_i) - \log(C_i))^2 \text{ Exact Lognormal} \\ & \sum_{i=1}^T \left\{ \frac{1}{\psi} \left(-\frac{\chi_i}{C_i} - \log(C_i) \right) - \log \left(\Gamma \left(\frac{1}{\psi} \right) \right) + \frac{1}{\psi} \log \left(\frac{\chi_i}{\psi} \right) - \log(\chi_i) \right\} \text{ Exact Gamma} \\ & \sum_{i=1}^T \chi_i \log \left(\frac{C_i}{C_i + \psi} \right) + \psi \sum_{i=1}^T \log \left(\frac{\psi}{C_i + \psi} \right) + \sum_{i=1}^T \log(\Gamma(\chi_i + \psi)) \\ & - \sum_{i=1}^T \log(\Gamma(\chi_i + 1)) - T \log(\Gamma(\psi)) \text{ Exact Negative Binomial} \end{aligned}$$

donde χ_t es la captura observada (Tabla 1), σ^2 y ψ son parámetros de dispersión, y Γ es la función gamma. El mejor modelo fue seleccionado en base al índice de información de Akaike (AIC) y criterios numéricos derivados de la maximización de las funciones de verosimilitud (gradientes, errores estándar, y matrices de correlación entre estimados).

Cada una de las tablas de datos de la X Región fue analizada con CatDyn considerando desde 0 a 4 perturbaciones, excepto la temporada 2015 en que debido al desarrollo del software se pudo analizar

modelos entre 9 y 2 perturbaciones. Para cada temporada, excepto 2015, se ajustaron 10 modelos diferentes y se seleccionó el mejor sobre la base del valor del AIC y los resultados de la maximización numérica. Para la temporada de 2015, tanto para el caso global como para la X Región, el modelo seleccionado como óptimo fue elegido entre 168 versiones, definidas por 7 modelos de número de perturbaciones (2 a 9), 6 modelos de verosimilitud, y 4 métodos numéricos.

Modelo de Evaluación de Stock Multi-Anual – Estimación de la Productividad del Stock

Tanto para la evaluación de stock global como para la regionalizada, se ha ajustado un modelo de producción excedente del tipo Pella-Tomlinson a la historia de biomazas iniciales desde 1996 a 2015 obtenidas por el modelo CatDyn. Este modelo dice en palabras que la biomasa inicial de un año cualquiera es igual a la biomasa inicial del año pasado, menos la captura del año pasado, más la producción intrínseca de biomasa del stock el año pasado. Su forma matemática es

$$(3) \quad B_y = B_{y-1} + rB_{y-1} \left(1 - \left(\frac{B_{y-1}}{K} \right)^{p-1} \right) - C_{y-1}$$

donde B_y es la biomasa inicial del año y , B_{y-1} es la biomasa inicial del año anterior, r es la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, K es la capacidad del ambiente para sostener a la biomasa del stock, p es el grado de simetría de la curva de producción de biomasa (que se supone > 1 , siendo el valor 2 indicativo de simetría exacta), y C_{y-1} es la captura de la flota el año anterior.

Parámetros derivados de este modelo y que son de importancia para el manejo de la pesquería son el máximo rendimiento sostenible (MSY, siglas del inglés) y la producción latente, que son respectivamente

$$(4) \quad MSY = rK(p-1)p^{-\frac{p}{p-1}}$$

$$(5) \quad \dot{P} = \gamma MSY \frac{B}{K} \left(1 - \left(\frac{B}{K} \right)^{p-1} \right), \gamma = \frac{p^{p/(p-1)}}{p-1}$$

El ajuste estadístico de las biomazas iniciales provenientes del CatDyn al modelo de producción excedente Pella-Tomlinson fue realizado mediante la maximización de una función de verosimilitud marginal-estimada, que tomó la forma

$$(6) \quad \mathcal{L}_H(\{B_0, K, r, p\} | \{\hat{B}_y\}) \propto -\frac{1}{2} \sum_{y=1996}^{y=2013} \left(\log(2\pi S_{\hat{B}_y}^2) + \frac{(\hat{B}_y - B_y)^2}{S_{\hat{B}_y}^2} \right)$$

donde \hat{B}_y son las biomazas iniciales estimadas por CatDyn, $S_{\hat{B}_y}^2$ son los errores estándar de estos estimados de biomasa inicial, y B_y son las biomazas iniciales según el modelo de producción excedente.

En Roa-Ureta et al. (2015) se pueden encontrar mayores detalles científicos tales como justificación biológica e interpretación conceptual.

RESULTADOS

Evaluación de Stock Global X-XI Contigua

Las estimaciones con el software CatDyn y los datos de la Tabla 1 para 2014 se muestran en la Tabla 2, junto con los resultados obtenidos por este grupo de trabajo en años previos para toda la serie histórica que comienza en 1996.

La abundancia inicial en 2015 fue baja, como la estimada en las temporadas de 2011 y 2012. La biomasa de escape en 2015, que es la biomasa en la última semana de la temporada, fue de cerca de 20 mil toneladas, la más baja de toda la serie histórica.

La biomasa inicial en 2015, que es la biomasa en la semana justo antes de la primera semana de la temporada (la semana 10, correspondiente a la primera segunda de Marzo), es estimada en 48500 toneladas, con un error estándar de 8500 toneladas. Como comparación, el promedio de las biomásas iniciales en el período 1996 a 2014 es de 60 mil toneladas.

La estimación de la historia de biomasa inicial por el modelo de producción excedente es mostrada en la Figura 2. La biomasa inicial sigue un ciclo de altas y bajas con período de 2 años, por lo que un año de alta biomasa inicial es seguido por otro año de baja biomasa inicial y esto completa el ciclo que se repite en los siguientes dos años.

Puesto que el stock global presenta un ciclo estable de altas y bajas biomásas con período de dos años entonces la producción excedente disponible para la flota cada año debe ser calculada promediando los excedentes de la parte alta y la parte baja del ciclo. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.

Según el enfoque de estimación estadística de verosimilitud híbrida [ecuación (6)] la producción excedente correspondiente a la producción latente promedio para el período de estabilidad de los últimos años es de aproximadamente 16 mil toneladas por año (Tabla 3), que es menor que la cuota vigente desde 2005.

Evaluación de Stock X Región

Las estimaciones con el software CatDyn para la X Región equivalentes a los datos de la Tabla 1 se muestran en la Tabla 4, para toda la serie histórica 1996 a 2015. Las estimaciones por CatDyn de la X Región tienen un mayor número de perturbaciones (el promedio es 3,0) que las estimaciones para el stock global (el promedio es 2,2). Esto es un resultado esperado puesto que al reducir la cobertura espacial se aumenta la resolución del análisis y aparecen desplazamientos de flota de menor escala espacial, aquellos dentro de la X Región. Esto es especialmente notorio para la última temporada en que (aprovechando la extensión del software) el mejor modelo fue un modelo de 7 perturbaciones, elegido de entre 183 ajustes.

Tabla 2.- Evaluación de stock por CatDyn con los datos globales (X-XI Contigua) de 2014, y de años previos desde 1996. Los parámetros estimados corresponden a los parámetros de la ecuación (1). Los errores estándar de los estimados están indicados entre paréntesis junto a cada estimado.

Year	Model	Distribution	Initial Abundance (N_0) (10^6)	Perturbation 1 (10^6)	Perturbation 2 (10^6)	Perturbation 3 (10^6)	Perturbation 4 (10^6)	Natural Mortality (Week^{-1}) (10^{-5})	Scaling (Hours^{-1}) (10^{-6})	Effort Response	Abundance Response
1996	1P	A.p.normal	314.7 (38.7)	24.3 (20.4)	0	0	0	1 (45.6)	1.5 (0.2)	0.836 (0.139)	1.293 (0.201)
1997	2P	A.p.normal	317.6 (25.2)	6.8 (41.4)	117.5 (33.9)	0	0	0.9 (94.3)	2.2 (0.1)	0.714 (0.033)	1.375 (0.045)
1998	3P	A.p.normal	169.0 (8.1)	17.9 (17.1)	24.1 (9.2)	24 (7.6)	0	1 (78.5)	2.7 (0.1)	0.890 (0.057)	1.233 (0.088)
1999	3P	A.p.lognormal	134.4 (40.0)	60.7 (10.4)	197.6 (79.9)	13.8 (51.9)	0	9.3 (711.2)	26.3 (2.0)	0.890 (0.065)	0.794 (0.137)
2000	2P	A.p.normal	247.7 (32.7)	43.4 (20.2)	155.3 (36.3)	0	0	9.1 (666.7)	32.5 (2.1)	0.888 (0.051)	0.770 (0.087)
2001	2P	A.p.normal	459.7 (71.1)	206.4 (94.3)	16.5 (27.8)	0	0	1 (76.2)	9.6 (0.5)	0.878 (0.060)	0.865 (0.117)
2002	4P	A.p.normal	214.1 (21.9)	38.0 (38.8)	82.1 (45.0)	135.6 (64.5)	41.2 (51.3)	460.8 (1909.3)	15.1 (0.2)	0.944 (0.069)	0.762 (0.139)
2003	2P	A.p.normal	221.4 (25.8)	60.2 (12.9)	39.5 (10.8)	0	0	9.1 (186.7)	0.1 (-)	0.867 (0.056)	1.892 (0.210)
2004	1P	A.p.normal	397.9 (10.4)	102.4 (22.6)	0	0	0	1 (78.0)	5.0 (0.1)	1.004 (0.065)	0.796 (0.088)
2005	2P	A.p.normal	261.7 (8.8)	76.8 (17.1)	120.2 (11.3)	0	0	0.9 (29.5)	18.1 (0.4)	0.870 (0.010)	0.839 (0.018)
2006	2P	A.p.lognormal	175.3 (20.5)	68.6 (16.3)	61.3 (27.3)	0	0	1 (76.6)	4.2 (0.2)	1.020 (0.051)	0.981 (0.076)
2007	2P	A.p.normal	225.2 (60.7)	203.7 (104.5)	133.2 (8.8)	0	0	0.9 (188.1)	6.1 (0.3)	0.933 (0.083)	0.906 (0.118)
2008	2P	A.p.normal	351.7 (4.9)	116.6 (29.7)	82.6 (21.4)	0	0	1 (151.4)	7.5 (0.2)	0.785 (0.051)	1.082 (0.120)
2009	1P	A.p.normal	325.6 (49.2)	50.7 (19.6)	0	0	0	1 (77.0)	19.1 (1.4)	0.914 (0.106)	0.766 (0.146)
2010	3P	A.p.normal	257.7 (11.8)	102.5 (26.4)	33.8 (98.6)	24.6 (98.2)	0	1 (200.8)	10.5 (0.2)	0.860 (0.024)	0.974 (0.108)
2011	2P	A.p.normal	153.6 (24.1)	63.4 (13.9)	102.8 (23.9)	0	0	1 (112.0)	10.3 (0.4)	1.124 (0.050)	0.677 (0.080)
2012	4P	A.p.normal	148.6 (17.3)	38.1 (12.8)	75.7 (7.23)	16.5 (15.3)	55.7 (11.3)	622.4 (742.2)	17.7 (0.3)	0.912 (0.022)	0.927 (0.040)
2013	3P	A.p.normal	225.0 (19.2)	70.0 (25.6)	65.5 (14.1)	69.7 (55.8)	0	62.7 (341.7)	13.9 (0.8)	0.676 (0.027)	1.251 (0.057)
2014	1P	A.p.lognormal	386.8 (44.3)	123.9 (58.3)	0	0	0	457.1 (925.8)	18.2 (0.8)	1.044 (0.066)	0.584 (0.041)
2015	4P	A.p.normal	171.3 (3.1)	35.1 (27.4)	52.5 (13.8)	50.9 (21.4)	13.6 (20.8)	573.8 (652.5)	0.18 (0.0065)	0.824 (0.023)	1.970 (0.011)

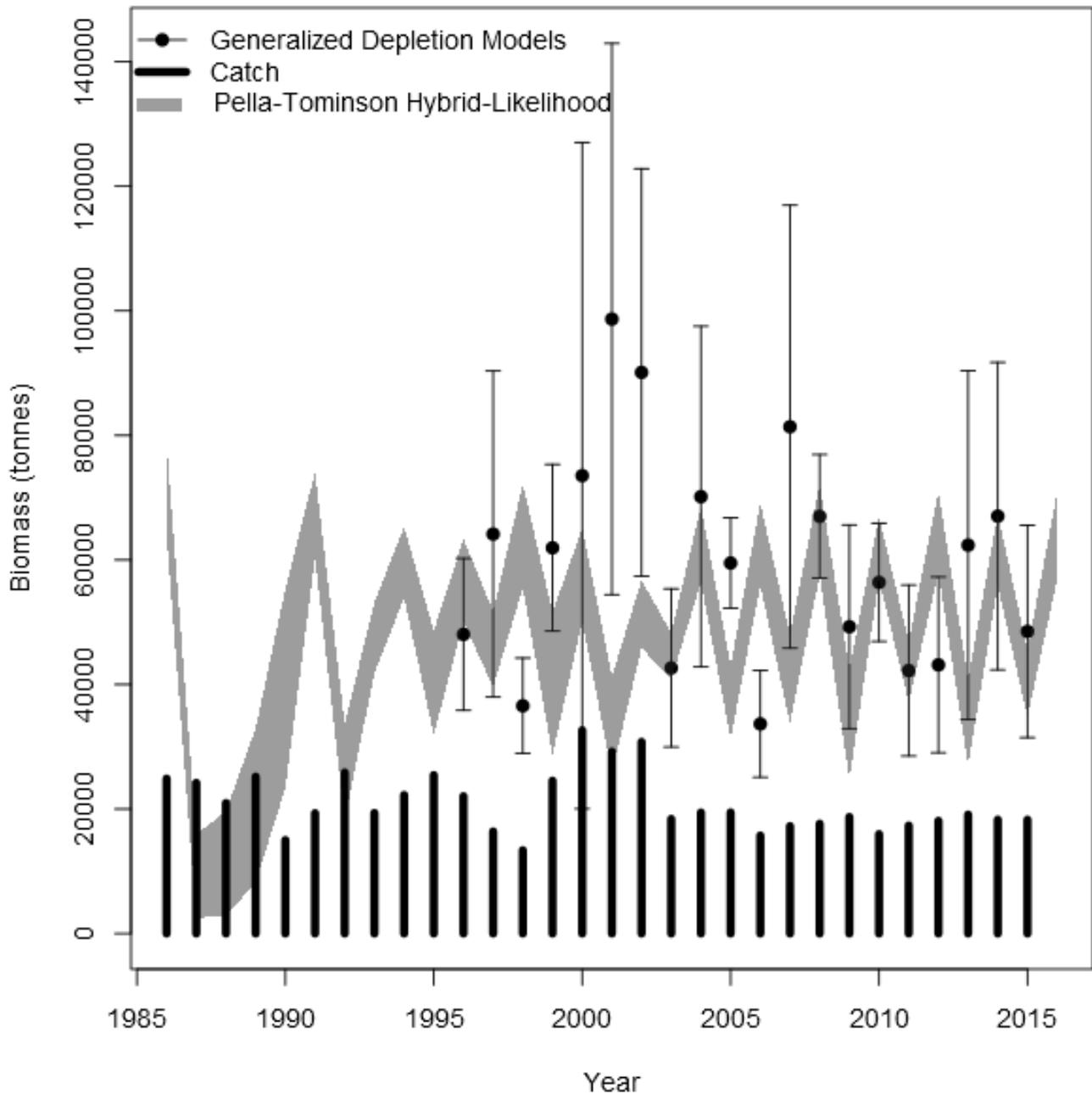


Figura 2.- Evaluación de stock por modelo de producción excedente con los datos globales (X-XI Contigua) de toda la serie histórica. Las estimaciones de biomasa inicial de cada temporada y dos veces sus errores estándar mediante CatDyn son los puntos con líneas (1996 a 2015). las barras verticales son las capturas de la series histórica 1986 a 2015. La franja gris oscura es la estimación de la historia de abundancia (biomasa inicial de cada temporada) por el modelo de producción excedente y el ajuste estadístico de verosimilitud híbrida [ecuación (6)].

Tabla 3.- Evaluación de stock por modelo de producción excedente con los datos globales (X-XI Contigua) de toda la serie histórica. Los parámetros estimados corresponden a los del modelo de la ecuaciones (3) y (5).

Parámetro	Verosimilitud Híbrida
Biomasa en 1985 (B_0) (toneladas)	71226 (3692)
Capacidad del ambiente, K (toneladas)	60609 (1749)
Tasa intrínseca de crecimiento, r (año ⁻¹)	3,559 (1,642)
Simetría de la curva de producción, p	1,846 (0,428)
Biomasa en la parte baja del ciclo (toneladas)	37957 (3055)
Biomasa en la parte alta del ciclo (toneladas)	63115 (3668)
Producción latente en la parte baja del ciclo (toneladas/año)	44166 (3766)
Producción latente en la parte alta del ciclo (toneladas/año)	-7834 (8578)
Producción latente promedio 2003 a 2014 (toneladas/año)	15885

Las biomásas iniciales estimadas y 2 veces sus errores estándar se muestran en la Figura 3. Comparada con los resultados para el stock global en la Figura 2, es claro que las estimaciones de biomasa inicial por CatDyn de la X Región son mucho más inciertas, lo que es una consecuencia natural de la reducción del volumen de datos que implica el dirigir el foco de la observación sólo a la X Región. De hecho las biomásas iniciales estimadas para 1996, 1997, y 2001 son tan inciertas que son prácticamente inútiles para ajustar el modelo de producción excedente.

El análisis por verosimilitud híbrida, puesto que le da mayor importancia a los estimados menos inciertos (1998 a 2000, 2002, 2005 y 2012, ver Figura 3), fue capaz de ajustar el modelo de producción excedente, converger en estimados estadísticamente válidos, y presentar una historia de biomásas menos incierta desde 1998 en adelante. La evolución de esta biomasa muestra un gradual incremento desde 1998 hasta 2007 y luego una gradual declinación desde 2008 hasta 2015, especialmente los dos últimos años de la serie de datos, 2014 y 2015 (Figura 3). La tendencia declinante confirma una observación hecha en el reporte anterior, correspondiente a 2014.

Una característica resaltante de este análisis es que mientras que el stock global está en un ciclo estable de altas y bajas con período de 2 años (Figura 3), el stock de la X Región no presenta fluctuaciones sino que incrementos y declinaciones graduales que toman varios años.

La Tabla 5 muestra los estimados de los parámetros del modelo de producción excedente de la X Región. La capacidad del ambiente de sostener el stock en la X Región se eleva hasta las 21 mil toneladas, aunque en 2015 la biomasa es de 13 mil toneladas, y puede bajar a 10 mil toneladas en 2016. Como el stock no presenta fluctuaciones es apropiado considerar el máximo rendimiento sostenible como una posible tasa de captura anual. El máximo rendimiento sostenible alcanza las 2500 toneladas. La captura anual en la X Región entre 2007 y 2013 ha alcanzado un promedio de 1845 toneladas, es decir que ha estado en línea con la productividad estimada del stock. Sin embargo en 2014 y en 2015 la captura de la X Región se elevó estuvo por sobre las 5 mil toneladas, que claramente excede la productividad del stock.

Tabla 4.- Evaluación de stock por CatDyn con los datos de la X Región serie histórica 1996 a 2015. Los parámetros estimados corresponden a los parámetros de la ecuación (1). Los errores estándar de los estimados están indicados entre paréntesis junto a cada estimado. A.p. normal se refiere al modelo de verosimilitud *adjusted profile normal*, y A.p. Inormal corresponde a *adjusted profile lognormal*.

Año	Modelo	Abundancia	Perturbación						
		Inicial (N ₀) (10 ⁹)	1 (10 ⁹)	2 (10 ⁹)	3 (10 ⁹)	4 (10 ⁹)	5 (10 ⁹)	6 (10 ⁹)	7 (10 ⁹)
1996	4P A.p.normal	83,5 (37,0)	87,1 (35,2)	27,6 (14,9)	49,2 (5,6)	35,0 (11,8)	0	0	0
1997	4P A.p.normal	41,6 (11,8)	23,6 (17,3)	0,7 (1,9)	43,0 (26,0)	34,1 (41,6)	0	0	0
1998	2P A.p.normal	33,1 (6,0)	3,1 (1,9)	10,8 (1,0)	0	0	0	0	0
1999	4P A.p.Inormal	25,7 (4,7)	19,5 (7,9)	5,1 (3,5)	16,8 (2,7)	10,1 (5,8)	0	0	0
2000	3P A.p.normal	41,8 (1,2)	16,0 (4,3)	3,9 (5,7)	14,1 (2,8)	0	0	0	0
2001	4P A.p.normal	34,4 (18,9)	31,6 (15,4)	14,0 (4,1)	38,3 (23,1)	32,9 (40,0)	0	0	0
2002	4P A.p.normal	36,3 (6,7)	10,9 (3,0)	10,1 (2,6)	13,8 (3,2)	6,5 (2,9)	0	0	0
2003	0P A.p.normal	86,1 (15,7)	0	0	0	0	0	0	0
2004	3P A.p.normal	116,2 (6,2)	23,6 (9,4)	2,6 (5,9)	42,9 (13,5)	0	0	0	0
2005	3P A.p.normal	46,6 (8,5)	9,8 (3,9)	24,0 (1,7)	14,5 (2,7)	0	0	0	0
2006	1P A.p.normal	111,1 (20,2)	29,8 (10,8)	0	0	0	0	0	0
2007	3P A.p.normal	68,6 (12,5)	36,2 (14,6)	28,9 (26,0)	11,8 (6,1)	0	0	0	0
2008	3P A.p.normal	117,4 (21,3)	37,8 (8,8)	32,2 (14,4)	7,2 (18,1)	0	0	0	0
2009	3P A.p.normal	88,5 (3,3)	38,2 (17,3)	20,5 (5,9)	17,0 (5,8)	0	0	0	0
2010	3P A.p.normal	70,6 (2,8)	28,1 (5,8)	33,1 (4,4)	5,1 (6,9)	0	0	0	0
2011	4P A.p.normal	65,0 (10,8)	53,4 (13,2)	7,8 (12,6)	9,2 (10,6)	8,2 (8,9)	0	0	0
2012	4P A.p.normal	57,0 (10,4)	11,9 (7,3)	8,9 (4,8)	13,7 (5,2)	0,3 (1,0)	0	0	0
2013	3P A.p.normal	121,6 (4,5)	15,0 (7,5)	20,6 (6,3)	20,5 (7,7)	0	0	0	0
2014	2P A.p.normal	145,8 (26,5)	52,3 (14,8)	2,7 (6,5)	0	0	0	0	0
2015	7P A.p.Inormal	45,8 (8,3)	19,4 (12,1)	1,6 (10,2)	3,8 (8,7)	4,3 (7,3)	5,1 (7,9)	0,5 (7,2)	8,7 (5,9)

Tabla 4.- Continuación.

Año	Modelo	Mortalidad	Escalamiento	Respuesta	Respuesta
		Natural (Semana ⁻¹) (10 ⁻³)	(Horas ⁻¹) (10 ⁻⁵)	al Esfuerzo	a la Abundancia
1996	4P A.p.normal	33,7 (0,11)	1,05 (0,013)	0,767 (0,060)	1,159 (0,082)
1997	4P A.p.normal	11,4 (19,0)	3,60 (0,092)	0,872 (0,091)	0,942 (0,109)
1998	2P A.p.normal	1,25(2,69)	2,40 (0,032)	0,913 (0,052)	1,006 (0,071)
1999	4P A.P.lnormal	2,73(5,95)	5,52 (0,086)	0,840 (0,034)	0,938 (0,066)
2000	3P A.p.normal	1,54 (3,67)	0,31 (0,005)	1,147 (0,017)	1,097 (0,078)
2001	4P A.p.normal	23,7 (40,0)	1,07 (0,008)	0,976 (0,075)	1,049 (0,125)
2002	4P A.p.normal	1,06 (3,77)	0,86 (0,013)	0,882 (0,050)	1,428 (0,051)
2003	0P A.p.normal	3,71 (4,06)	0,39 (0,060)	0,900 (0,087)	1,332 (0,157)
2004	3P A.p.normal	3,31 (6,77)	2,21 (0,036)	1,006 (0,009)	0,700 (0,026)
2005	3P A.p.normal	5,56 (9,00)	1,64 (0,015)	0,881 (0,059)	1,197 (0,113)
2006	1P A.p.normal	1,27 (3,74)	2,03 (0,032)	0,856 (0,079)	0,983 (0,092)
2007	3P A.p.normal	2,50 (4,00)	1,23 (0,019)	0,718 (0,051)	1,435 (0,089)
2008	3P A.p.normal	1,20 (4,40)	1,85 (0,029)	0,768 (0,043)	1,159 (0,082)
2009	3P A.p.normal	4,76 (3,92)	2,01 (0,037)	0,829 (0,022)	1,051 (0,016)
2010	3P A.p.normal	3,01 (5,13)	3,69 (0,060)	0,852 (0,019)	0,971 (0,030)
2011	4P A.p.normal	5,53 (4,89)	1,89 (0,032)	0,916 (0,047)	0,933 (0,059)
2012	4P A.p.normal	3,48 (5,38)	1,55 (0,024)	0,954 (0,052)	1,032 (0,031)
2013	3P A.p.normal	19,9 (5,34)	1,93 (0,035)	0,830 (0,024)	1,071 (0,048)
2014	2P A.p.normal	19,4 (5,63)	1,71 (0,027)	0,958 (0,069)	0,847 (0,111)
2015	7P A.p.lnormal	1,62 (10,5)	0,12 (0,002)	0,496 (0,028)	2,480 (0,175)

CONCLUSIONES

- 1.- La biomasa global en la X-XI Región zona contigua al inicio de la temporada de pesca 2014 es estimada en 48500 toneladas, y la biomasa remanente al final de la temporada es estimada en 20 mil toneladas, la más baja de la serie histórica.
- 2.- El stock global en la X-XI Región zona contigua se encuentra en plena explotación, fluctuando entre una biomasa alta de cerca de 65 mil toneladas, y una baja de cerca de 40 mil toneladas.
- 3.- El stock global en la X-XI Región zona contigua tiene un excedente productivo en 2015 de 16 mil toneladas por año, lo que representa una caída del excedente de 2 mil toneladas respecto del excedente hasta 2014.
- 4.- La biomasa de la X Región al inicio de la temporada de pesca 2014 es estimada en 13700 toneladas, y la biomasa de escape, remanente al final de la temporada es estimada en 6 mil toneladas.
- 5.- El stock correspondiente a la X Región confirma una declinación que se aceleró en 2014, producto de un incremento de capturas en esos años, por lo que puede ser descrito como sobre-explotado.
- 6.- El stock correspondiente a la X Región tiene al final del periodo histórico en 2015 una producción excedente de dos mil quinientas toneladas.

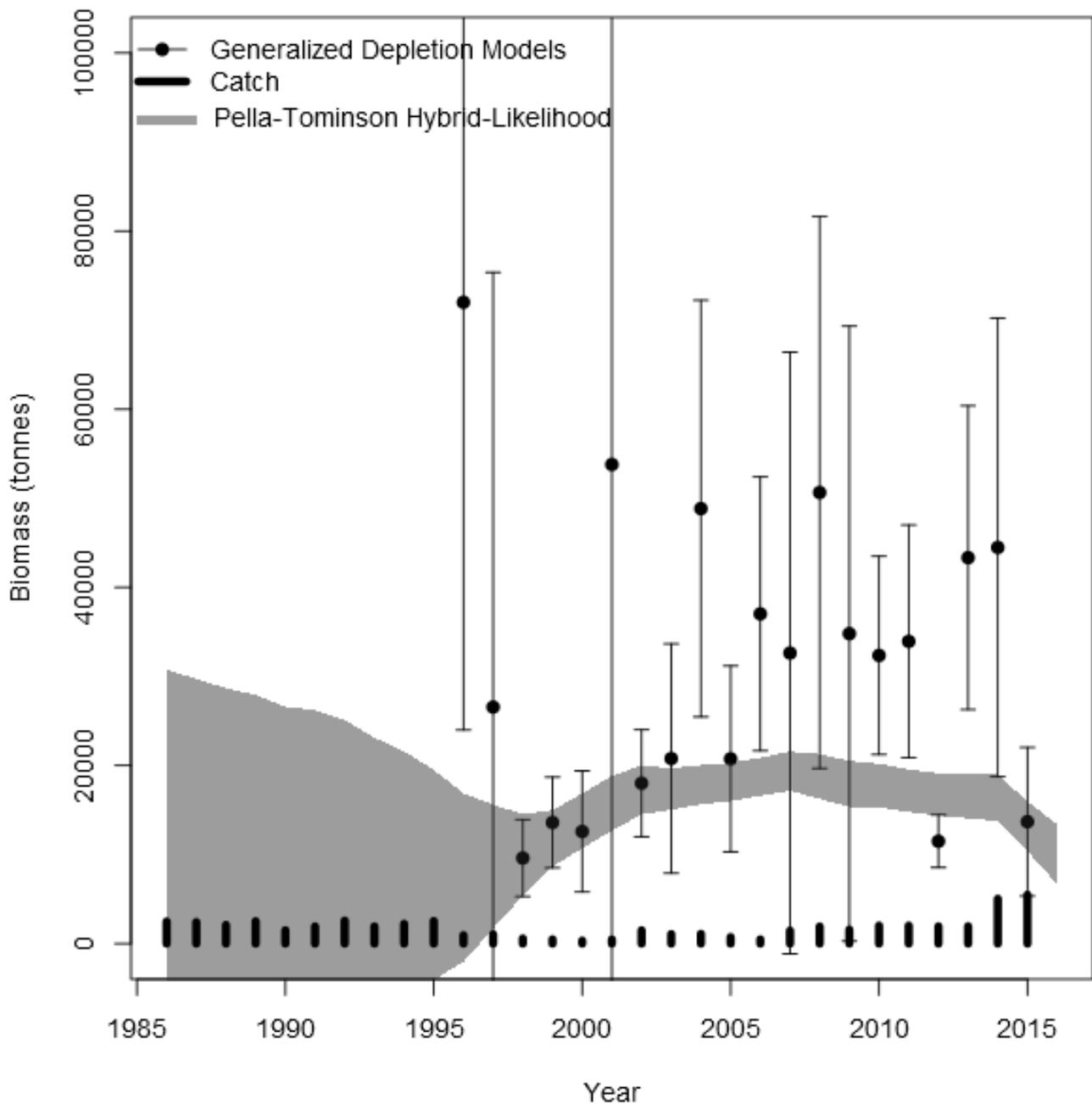


Figura 3.- Evaluación de stock por modelo de producción excedente con los datos de la X Región serie histórica 1996 a 2015. Las estimaciones de biomasa inicial de cada temporada y dos veces sus errores estándar mediante CatDyn son los puntos con líneas (1996 a 2015). Las barras verticales son las capturas de la serie histórica 1985 a 2015. La franja gris oscura es la estimación de la historia de abundancia (biomasa inicial de cada temporada) por el modelo de producción excedente y el ajuste estadístico de verosimilitud híbrida [ecuación (6)].

Tabla 5.- Evaluación de stock por modelo de producción excedente con los datos de la X Región de toda la serie histórica. Los parámetros estimados corresponden a los del modelo de la ecuaciones (3) y (4).

Parámetro	Verosimilitd Híbrida
Biomasa en 1985 (B_0) (toneladas)	7720 (11532)
Capacidad del ambiente, K (toneladas)	21317 (3430)
Tasa intrínseca de crecimiento, r (año ⁻¹)	0,408 (1,135)
Simetría de la curva de producción, p	2,214 (4,681)
Máximo rendimiento sostenible (toneladas/año)	2477 (1172)
Biomasa al máximo rendimiento sostenible (toneladas)	11076 (7291)

RECOMENDACIONES DE MANEJO

Tomando en consideración

- a) los resultados de este estudio, que apuntan al inicio de un proceso de declinación en el excedente productivo global y a sobre-explotación en la X Región, y
- b) que en los últimos 4 años la captura ha excedido la cuota, especialmente en 2013,

el Taller de Evaluación de Stock del Grupo Técnico Asesor emiten las siguientes recomendaciones de manejo a ser consideradas por la COMPEB respecto de la pesquería de erizos de la X-XI Región en el año 2016

1.- Se recomienda rebajar la cuota global anual vigente de 18 mil toneladas, al excedente productivo estimado en este estudio, 16 mil toneladas, en un plazo de dos años.

2.- Se recomienda una cuota anual para la X Región no mayor que 2500 toneladas; se recomienda que la eventual implementación de la recomendación 1.- sea mediante rebajas en la cuota de la X Región.

REFERENCIAS

- FAO (2014) Fisheries and aquaculture software. FishStatJ - software for fishery statistical time series. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* [online]. Rome. Updated 28 November 2013. [Cited 30 January 2014]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>
- Moreno, C.A., Barahona, N., Molinet, C., Orensanz, J.M.L., Parma, A.M., Zuleta, A., 2006. From crisis to institutional sustainability in the chilean sea urchin fishery. In: McClanahan, T., Castilla, J.C.s (Eds.), *Fisheries management: progress towards sustainability* Blackwell Publishing, Monbasa, pp. 43-67.

- Orensanz, J.M.L., Parma, A.M., Jerez, G., Barahona, N., Montecinos, M., Elias, I.. 2005. What are the key elements for the sustainability of "S-Fisheries"? Insights South America. Bull. Mar. Sci., 76: 527-556.
- Roa-Ureta, R.H. (2012). Modelling in-season pulses of recruitment and hyperstability-hyperdepletion in the *Loligo gahi* fishery around the Falkland Islands with generalized depletion models. ICES Journal of Marine Science 69, 1403–1415.
- Roa-Ureta, R.H., Molinet, C., Barahona, N., Araya, P. 2015. Hierarchical statistical framework to combine generalized depletion models and biomass dynamic models in the stock assessment of the Chilean sea urchin (*Loxechinus albus*) fishery. Fisheries Research 171, 59-67.

A handwritten signature in grey ink, consisting of the letters 'R', 'R', and 'U' followed by a stylized flourish.

Dr. Rubén Roa-Ureta

Bilbao, 3 de Enero de 2016