

2024

Informe de
INVESTIGACIÓN

012-24

NO-2024-29989376-APN-DNI#INIDEP

21/03/2024

Edad y longitud de madurez en *Merluccius hubbsi* al sur de 41°S en el período 1996-2016.

Ary Suby y Betina Santos

Dirección: Pesquerías de Peces

Área: Programa Merluza y Fauna Acompañante

Citar como:

Suby A y Santos B. 2024. Edad y longitud de madurez en M. hubbsi al sur de 41°S en el período 1996-2016. Inf Investigación INIDEP N° 012/24, 18 pp.



Edad y longitud de madurez en *Merluccius hubbsi* al sur de 41°S en el período 1996-2016.

Ary Suby y Betina Santos

INIDEP (Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero)

Resumen

Se analiza la evolución de la edad y longitud de madurez sexual para ambos sexos de la merluza común (*Merluccius hubbsi*), a partir de información proveniente del efectivo sur (por debajo de 41°S), colectada en las campañas globales destinadas a la evaluación de la especie. Las mismas fueron llevadas a cabo por los buques de investigación del INIDEP en el periodo 1996-2016. La estimación de la edad de madurez sexual de machos presentó una media de 2,30 años (1,95 años - 2,59 años), mientras que la media de hembras fue de 2,49 años (2,35 años - 2,65 años). La proporción promedio de hembras maduras fue de 0,002, 0,104 y 0,896 en los grupos de edades 1, 2 y 3, respectivamente, y la totalidad de ejemplares maduros en los grupos restantes. Por otra parte, cuando se estimó la longitud de madurez sexual de machos se estimó una media en 31,18 cm (27,64 cm - 33,88 cm), mientras que en las hembras fue de 33,69 cm (32,12 cm - 35,31 cm). A lo largo del periodo analizado se observó una tendencia a la baja de la edad y la longitud a las cuales los machos maduran (valor $p = 0,0033$ y $0,0001$, respectivamente), mientras que en las hembras el tamaño se mantuvo relativamente constante y sin cambios significativos. Los parámetros mencionados son indispensables para estimar la biomasa reproductiva del *stock*, monitorear la dinámica poblacional, y para establecer pautas de manejo como es el diseño de artes de pesca selectivos.

Palabras clave

Merluza común, evaluación pesquera, curva de madurez, efectivo sur.

Introducción

Se define a la longitud o la edad de madurez como el tamaño o el tiempo de vida a la cual el 50% de los individuos de una población se encuentran sexualmente maduros (adulto, apto para reproducirse). Estos son parámetros muy versátiles que cambian en virtud de la presión externa, particularmente con la disminución de la abundancia poblacional (Adams 1980; Wootton 1990), y, por lo tanto, tienen un gran efecto en el éxito reproductivo. Se asume, generalmente, que cuando un individuo comienza el proceso de maduración, su supervivencia y tasa de crecimiento disminuyen (Roff 1992; Stearns 1992). La longitud de madurez (L_{50}), usada como punto de referencia para establecer la longitud mínima de captura o desembarque (Corgos & Freire 2006), permite evitar la pesca excesiva de individuos juveniles que aún no se han reproducido. Otro punto importante es que la L_{50} se ha propuesto como indicador del nivel poblacional por efecto de la pesca (Rochet & Trenkel 2003), ya que se ha demostrado que la presión de pesca intensa y sostenida puede inducir a la maduración temprana de los recursos explotados (Trippel 1995).

Estudios previos analizaron la edad de madurez (A_{50}) en *Merluccius hubbsi* (Simonazzi y Otero 1986; Simonazzi 1989), pero con un criterio diferente para la asignación de edades al que se emplea actualmente (Renzi y Pérez 1992). Posteriormente, siempre basados en métodos de determinación macroscópica de la madurez, se realizaron análisis y estimaciones en las cuales se determinó el parámetro A_{50} para esta población (Simonazzi et al, 2000; Simonazzi et al, 2003), resultados que han sido utilizados para la evaluación del recurso hasta la actualidad. Cabe aclarar que también se han empleado técnicas histológicas para la asignación del grado de madurez sexual en la merluza, que han permitido estimar los parámetros A_{50} y L_{50} (Macchi et al, 2003; Macchi et al, 2017, 2021; Rodrigues et al, 2010) y, además, han ayudado a conocer características de la biología reproductiva de *M. hubbsi* (Macchi et al, 2006, 2013) que han sido empleadas en un punto biológico de referencia objetivo para las determinaciones de las capturas biológicamente aceptables (Santos y Villarino 2013, 2023).



En este trabajo se estimaron la longitud y edad de madurez por sexo del *stock* sur de merluza común en el período 1996-2016, con el objetivo de ampliar las investigaciones realizadas por Simonazzi y Rodríguez (2014) quienes utilizaron una metodología similar para estimar el L_{50} en el periodo comprendido entre los años 2001 y 2012. Esta información es básica en la evaluación y manejo de recursos pesqueros explotados comercialmente, ya que permite separar la fracción madura de un *stock* de peces (Cubillos & Alarcón, 2010), y por ende seguir la evolución de la biomasa reproductiva de una población.

Materiales y métodos

Se determinaron las A_{50} y L_{50} de *M. hubbsi* del efectivo al sur de 41° S a partir de la información obtenida en campañas de evaluación de la abundancia del recurso (campaña global: CG) que cubren la mayor parte de su distribución. Las mismas fueron realizadas con los buques de investigación pesquera del INIDEP (Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata), durante los años 1996 a 2003, 2005, 2007, 2011 a 2013 y 2016. Se decidió excluir de la serie de datos a la campaña realizada durante el año 2000, por su falta de confiabilidad (datos irregulares e iniciación tardía).

Para este estudio fueron analizadas un total de 728 submuestras, correspondientes a 13 campañas. Se observó una tendencia creciente del número de submuestras colectadas. Lo mismo puede notarse en el promedio de los ejemplares submuestreados por lance, partiendo de 116 en el año 1996 hasta llegar a 149 durante la campaña de 2016 (Tabla 1).

Tabla 1. Número de submuestras, ejemplares analizados, número de ejemplares promedio por submuestra, fecha de inicio y fin de cada campaña, fecha media y su representación como fracción del año.

Año	Subm.	Ejemplares	Prom. Ej. Subm.	Inicio	Fin	Media	Fracción
1996	52	6045	116	08/07/1996	07/08/1996	22/07/1996	0,55
1997	55	6664	121	19/08/1997	05/10/1997	13/09/1997	0,70
1998	45	4887	109	11/07/1998	09/08/1998	25/07/1998	0,56
1999	42	4339	103	16/07/1999	16/09/1999	16/08/1999	0,62
2001	43	5442	127	26/07/2001	03/10/2001	01/09/2001	0,66
2002	54	7860	146	23/08/2002	20/10/2002	23/09/2002	0,72
2003	60	8168	136	20/08/2003	05/10/2003	12/09/2003	0,69
2005	53	6454	122	25/07/2005	28/09/2005	28/08/2005	0,65
2007	67	8160	122	15/08/2007	09/10/2007	14/09/2007	0,70
2011	61	8432	138	04/08/2011	04/10/2011	05/09/2011	0,67
2012	69	9914	144	09/08/2012	18/10/2012	14/09/2012	0,70
2013	77	11419	148	09/08/2013	25/10/2013	16/09/2013	0,70
2016	50	7436	149	09/09/2016	06/10/2016	22/09/2016	0,72
Total	728	95220	131	-	-	-	0,66



Para la asignación del grado de madurez en ambos sexos, desde 1999 se utilizó una escala macroscópica compuesta por cinco estadios (Tabla 2), la cual permite diferenciar las principales fases del desarrollo gonadal en peces (Macchi y Acha, 1998). En el período de 1996 a 1998 se utilizó una escala de siete estadios, considerando en este caso como inmaduros a los individuos en estadio 1 y 2, mientras que los maduros se incluyeron en las fases de 3 a 7.

Tabla 2. Descripción de estadios asignados en hembras y machos.

Estadio	Descripción Hembras/Machos
1	Juvenil o Virginal
2	Maduración y Puesta parcial
3	Desovante / Fluyente
4	Postdesovante / Evacuado
5	Reposo

La estimación del A_{50} se realizó a partir de los datos observados del porcentaje de individuos maduros o adultos por grupo de edad de cada año que se ajustaron a un modelo logístico mediante el método de máxima verosimilitud:

$$P_A = 1/(1+e^{(-c*(A-A_{50}))}),$$

donde A es cada grupo de edad (1 a 7+), P_A el porcentaje de maduros a esa edad y c la pendiente de la curva.

Cabe aclarar que se aplicó un incremento decimal a la edad de cada grupo debido a que la captura de los ejemplares fue realizada aproximadamente entre 7 y 10 meses después de la fecha “de cumpleaños” (asignada al primero de enero por Renzi y Pérez 1992). Por ejemplo, para el año 1996 se sumó 0,55, valor que resultó del cociente entre los días transcurridos desde el inicio del año hasta la fecha media de campaña (en este caso 202 días) sobre los 365 días que tiene un año calendario (Tabla 1).

Por su parte, la estimación del L_{50} se realizó a partir del porcentaje de individuos maduros observados por clase de longitud de un centímetro que se utilizaron para ajustar a un modelo logístico como en el caso anterior.

$$P_L = 1/(1+e^{(-c*(L-L_{50}))}),$$

donde L es cada clase de longitud, P_L el porcentaje de maduros a esa longitud y c la pendiente de la curva.

Para demostrar si existían o no cambios en A_{50} y en L_{50} a lo largo del periodo analizado, se realizaron pruebas asintóticas de igualdad de coeficientes para las curvas entre sexos, tanto de la longitud y edad de madurez como de sus pendientes (parámetro “ c ”). Las dos hipótesis a considerar fueron:

- H_0 : no hay cambio significativo en la edad, longitud de madurez o pendiente de las curvas entre los años comparados.
- H_1 : hay un cambio significativo en la edad, longitud de madurez o pendiente de las curvas a entre los años comparados.

Para realizar la estimación por el método de máxima verosimilitud y las pruebas asintóticas de igualdad de coeficientes para las curvas logísticas, se utilizaron las planillas de cálculos desarrolladas por Aubone y Wohler (2000) y Aubone (2002).



Resultados

Edad de madurez

Se estimó un valor mínimo de la edad de madurez sexual de machos de 1,94 años (2011) y un máximo de 2,59 años (1997), mientras que los extremos de las hembras fueron de 2,34 años (2003 y 2011) y 2,65 años (1997), respectivamente. La media para todos los años analizados resultó en 2,30 y 2,49 años de machos y hembras, respectivamente (Tabla 3). Estos valores representaron la edad a la cual 50 % de la población se encontraba madura para cada sexo.

La proporción de maduros por edad observada, por ejemplo, en machos en 1996 para la edad 2,55 fue 0,70 y a partir del modelo logístico para la edad 2 fue 0,20 (Tabla 4). Al considerar las estimaciones obtenidas de machos en todas las edades con todas las campañas analizadas, los valores medios fueron 0, 0,24 y 0,93 de individuos maduros, en los grupos de edades 1, 2 y 3, respectivamente, mientras que en los grupos 4, 5, 6 y 7+, todos los ejemplares se encontraban maduros sexualmente (Tabla 4, Figura 1).

Tabla 3. Edad de madurez estimada para machos y hembras de *M. hubbsi* en el periodo 1996-2016, media, desvío estándar y coeficiente de variación.

AÑO	A ₅₀ MACHOS	A ₅₀ HEMBRAS
1996	2,35	2,37
1997	2,59	2,65
1998	2,48	2,51
1999	2,45	2,62
2001	2,28	2,55
2002	2,40	2,43
2003	2,30	2,35
2005	2,29	2,47
2007	2,29	2,59
2011	1,94	2,34
2012	2,20	2,57
2013	2,26	2,46
2016	2,07	2,58
Media	2,30	2,50
Desvío Estándar	0,17	0,10
Coef. de Var.	7,41	4,15

**Tabla 4.** Proporción estimada de machos maduros por edad en las distintas campañas de evaluación analizadas para el periodo 1996-2016, la media para cada grupo de edad, y edad de madurez (A_{50}) para cada año.

		Machos												
Edad/Año	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016	Media
1	0,005	0,001	0,005	0,013	0,008	0,002	0,003	0,002	0,002	0,016	0,015	0,003	0,010	0,007
2	0,200	0,081	0,153	0,204	0,258	0,150	0,206	0,204	0,205	0,565	0,331	0,234	0,424	0,245
3	0,932	0,840	0,861	0,837	0,939	0,934	0,958	0,965	0,967	0,990	0,940	0,967	0,981	0,932
4	0,999	0,997	0,995	0,990	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	0,998
5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
7	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A₅₀	2,346	2,595	2,484	2,454	2,279	2,396	2,302	2,290	2,286	1,940	2,203	2,260	2,072	2,300

Analizando diferentes períodos se observó que en la década de 1990 las estimaciones teóricas se encontraban por delante del A_{50} promedio, indicando que los ejemplares maduraban más tarde en el tiempo, principalmente en el caso de los machos (Figura 1). En cambio, desde 2007 en adelante, se observó una maduración más temprana.

Particularmente en los machos las estimaciones del año 2011 arrojaron un porcentaje llamativamente alto de ejemplares maduros del grupo de edad 2 pudiendo deberse a un error de asignación de estadio de madurez.

Por su parte, en las hembras se estimaron valores medios de 0,002, 0,104 y 0,896, en los grupos de edades 1, 2 y 3, respectivamente y en los grupos de edades 4, 5, 6 y 7+, todos los ejemplares se encontraban maduros sexualmente (Tabla 5, Figura 2). A lo largo del periodo analizado se observó una tendencia a la baja de la edad de madurez en los machos (valor $p = 0,0033 < 0,05$; se rechazó H_0), mientras que en las hembras se mantuvo relativamente constante (valor $p = 0,934 > 0,05$; se aceptó H_0) (Figura 3).

Tabla 5. Proporción de hembras maduras por edad en las distintas campañas de evaluación analizadas para el periodo 1996-2016, la media para cada grupo de edad, y edad de madurez (A_{50}) para cada año.

		Hembras												
Edad/Año	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016	Media
1	0,003	0,001	0,003	0,008	0,006	0,003	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
2	0,178	0,060	0,123	0,137	0,143	0,145	0,179	0,086	0,035	0,120	0,041	0,055	0,044	0,104
3	0,930	0,819	0,865	0,759	0,813	0,911	0,945	0,934	0,912	0,980	0,913	0,964	0,904	0,896
4	0,999	0,997	0,997	0,984	0,991	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,997
5	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
7+	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A₅₀	2,371	2,646	2,513	2,616	2,550	2,433	2,348	2,471	2,586	2,338	2,574	2,462	2,578	2,499

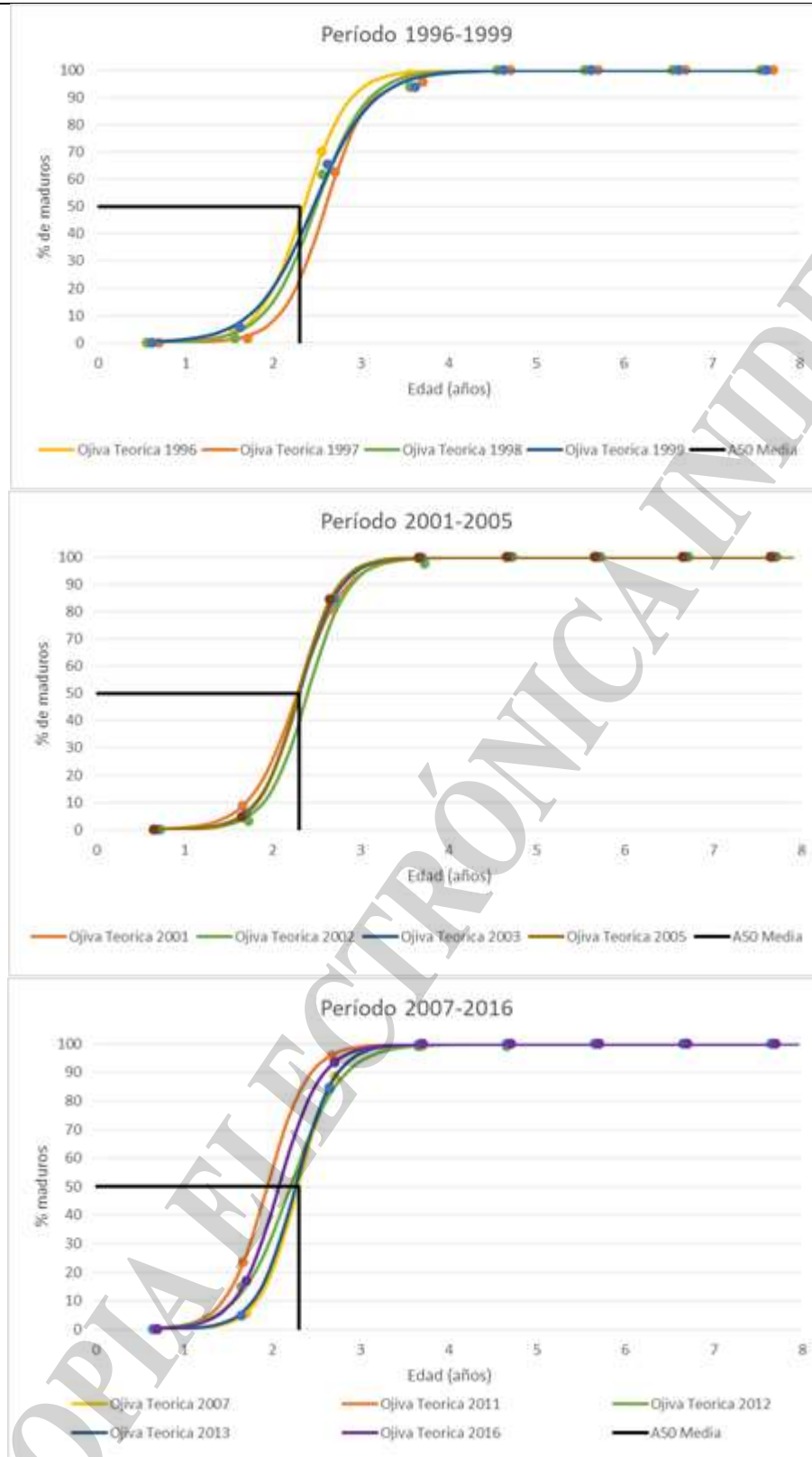


Figura 1. Curvas teóricas de madurez en machos, proporción de maduros por edad observados (círculos) en cada año y valor promedio de A50 estimado (línea negra).

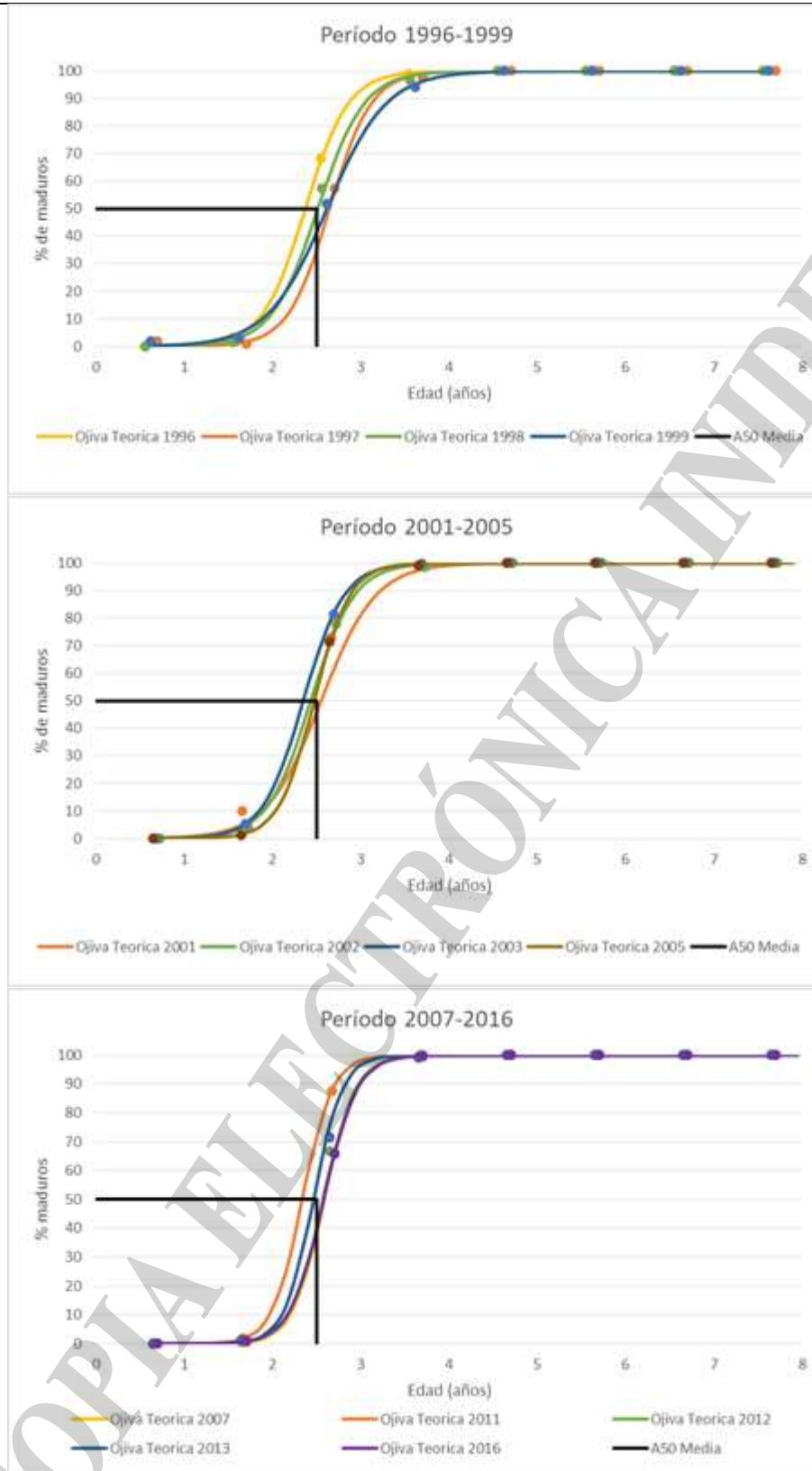


Figura 2. Curvas teóricas de madurez en hembras, proporción de maduros por edad observados (círculos) en cada año y valor promedio de A50 estimado (línea negra).

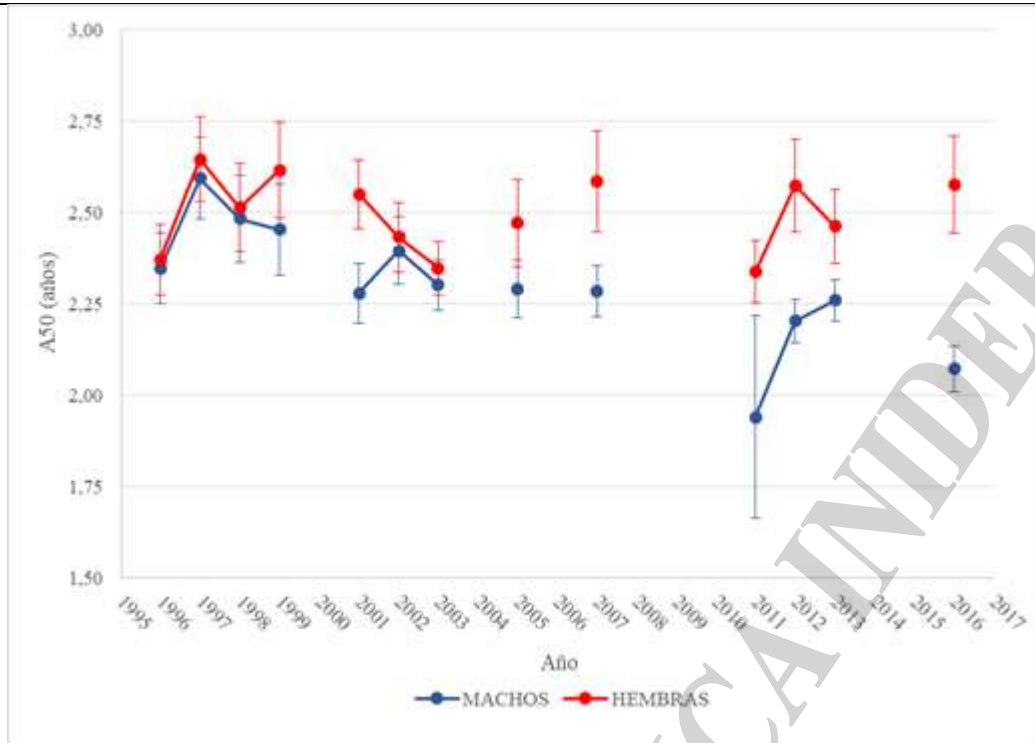


Figura 3. Edad de madurez en machos y en hembras de merluza del stock sur de 41°S entre los años 1996 y 2016. Los círculos representan el valor medio de A50 estimado por el modelo, con su respectivo error estándar (barras).

Longitud de madurez

Se estimó el tamaño mínimo de L₅₀ en machos en 27,64 cm LT (2011) y el máximo en 33,88 cm LT (1997), mientras que entre las hembras fueron de 32,12 cm LT (2002) y 35,31 cm LT (1997), respectivamente. El promedio para todos los años analizados resultó en 31,18 cm y 33,69 cm para machos y hembras, respectivamente, mientras que, la estimación en conjunto arrojó el valor promedio de 32,31 cm (Tabla 6).

Tabla 6. Longitud de madurez estimada para machos y hembras de *M. hubbsi* en el periodo 1996-2016, media, desvío estándar y coeficiente de variación.

Año	L ₅₀ MACHOS	L ₅₀ HEMBRAS	L ₅₀ M+H
1996	32,40	33,20	32,79
1997	33,88	35,31	34,56
1998	33,17	34,40	33,73
1999	32,60	35,19	33,84
2001	31,49	32,90	32,19
2002	30,93	32,12	31,49
2003	31,63	32,62	32,09
2005	31,82	34,53	32,93
2007	31,32	34,51	32,76
2011	27,64	32,28	29,77
2012	29,51	33,95	31,59
2013	30,33	33,36	31,58
2016	28,77	33,98	31,01
Media	31,18	33,69	32,31
Desvío Estándar	1,77	1,06	1,30
Coef. de Var.	5,66	3,14	4,02



Se estimó, además, la proporción de individuos maduros por clase de longitud y sexo para el período comprendido (Tablas 7 y 8), y también las curvas de madurez en longitud para machos y hembras (Figuras 4 y 5). A lo largo del período analizado se observó una tendencia a la baja de la longitud de madurez en los machos (valor $p = 0,0001 < 0,05$; se rechaza H_0 , hay un cambio significativo en L_{50} a lo largo del tiempo), mientras que en las hembras se mantuvo relativamente constante (valor $p = 0,515 > 0,05$; se acepta H_0 , no hay un cambio significativo en L_{50} a lo largo del tiempo) (Figura 6).

Tabla 7. Estimación teórica de la proporción de machos maduros por clase de longitud (entre 20 y 50 cm, acotado) en las distintas campañas de evaluación analizadas para el periodo 1996-2016. Se agrega el valor medio para cada clase de longitud, y la longitud de madurez (L_{50}) para cada año.

Longitud	Machos													Media
	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016	
20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01
22	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01
23	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,05	0,00	0,03	0,02
24	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,12	0,07	0,01	0,05	0,03
25	0,01	0,00	0,02	0,06	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,19	0,11	0,02	0,09	0,05
26	0,01	0,00	0,03	0,09	0,06	0,06	0,02	0,03	0,02	0,29	0,16	0,04	0,15	0,07
27	0,03	0,01	0,04	0,12	0,09	0,10	0,04	0,05	0,05	0,41	0,24	0,08	0,25	0,12
28	0,05	0,02	0,07	0,17	0,14	0,16	0,08	0,09	0,09	0,55	0,33	0,15	0,38	0,18
29	0,10	0,03	0,11	0,22	0,22	0,25	0,14	0,15	0,16	0,68	0,44	0,27	0,54	0,26
30	0,17	0,06	0,17	0,29	0,32	0,37	0,25	0,25	0,28	0,78	0,56	0,44	0,68	0,36
31	0,28	0,12	0,25	0,36	0,44	0,51	0,39	0,38	0,44	0,86	0,67	0,62	0,80	0,47
32	0,43	0,22	0,36	0,45	0,57	0,65	0,56	0,53	0,62	0,92	0,76	0,77	0,88	0,59
33	0,60	0,35	0,48	0,54	0,68	0,76	0,72	0,67	0,77	0,95	0,84	0,88	0,93	0,70
34	0,74	0,52	0,60	0,62	0,78	0,85	0,83	0,79	0,87	0,97	0,89	0,94	0,96	0,80
35	0,85	0,68	0,71	0,70	0,86	0,91	0,91	0,87	0,93	0,98	0,93	0,97	0,98	0,87
36	0,92	0,81	0,80	0,77	0,91	0,94	0,95	0,93	0,96	0,99	0,95	0,99	0,99	0,92
37	0,95	0,90	0,87	0,82	0,94	0,97	0,97	0,96	0,98	0,99	0,97	0,99	0,99	0,95
38	0,98	0,94	0,92	0,87	0,97	0,98	0,99	0,98	0,99	1,00	0,98	1,00	1,00	0,97
39	0,99	0,97	0,95	0,90	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,98
40	0,99	0,99	0,97	0,93	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99
41	1,00	0,99	0,98	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
42	1,00	1,00	0,99	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
43	1,00	1,00	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
44	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
45	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
46	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
47	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
48	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
49	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{50}	32,40	33,88	33,17	32,60	31,49	30,93	31,63	31,82	31,32	27,63	29,51	30,33	28,77	

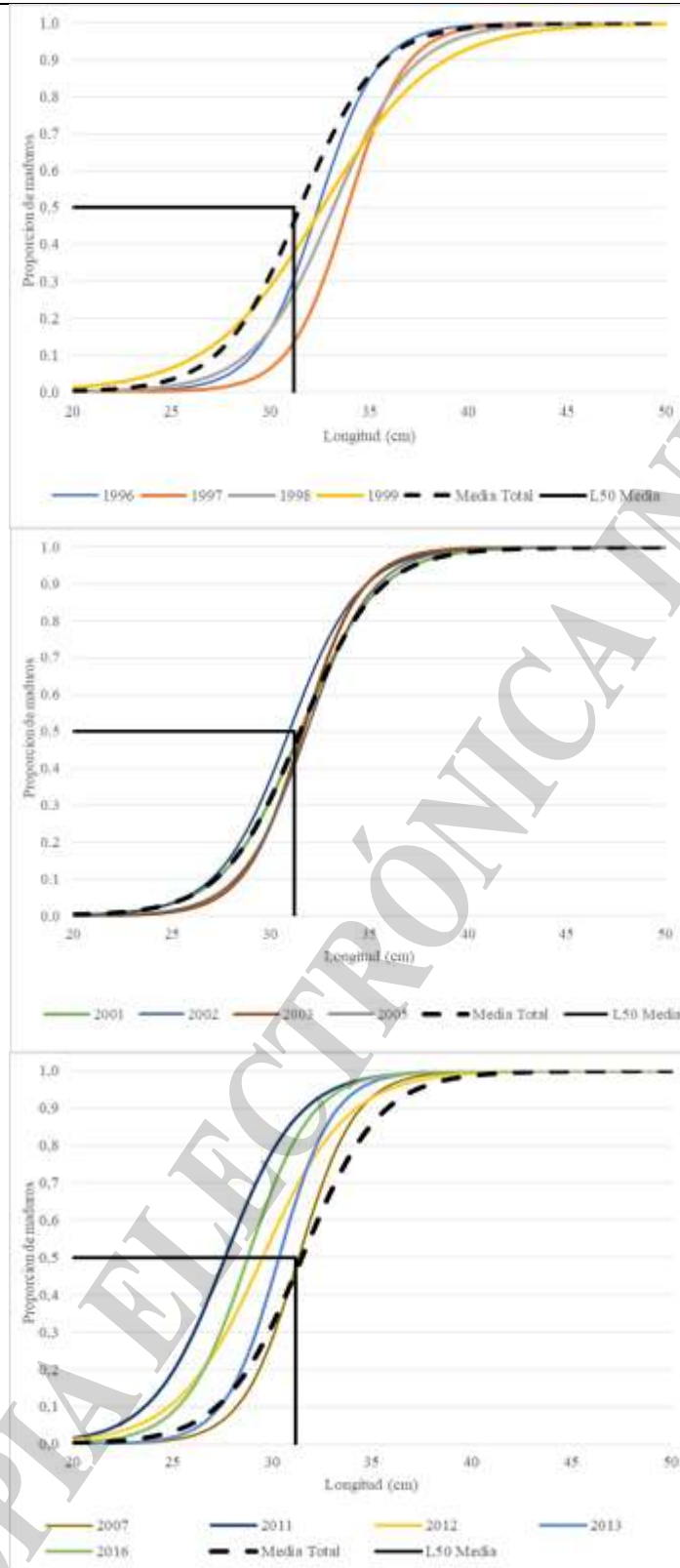


Figura 4. Curvas de madurez teórica por clase de longitud en machos de *M. hubbsi* para todos los años analizados, media total (línea negra punteada) y L50 (línea negra).



Tabla 8. Estimación teórica de la proporción de hembras maduras por clase de longitud (entre 20 y 50 cm, acotado) en las distintas campañas de evaluación analizadas para el periodo 1996-2016. Se agrega el valor medio para cada clase de longitud, y la longitud de madurez (L_{50}) para cada año.

Hembras														
Longitud	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016	Media
20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
24	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
25	0,01	0,00	0,01	0,03	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
26	0,02	0,01	0,02	0,04	0,08	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
27	0,03	0,01	0,03	0,06	0,11	0,06	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
28	0,05	0,02	0,04	0,08	0,15	0,10	0,06	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04
29	0,08	0,03	0,07	0,11	0,20	0,16	0,11	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,01	0,07
30	0,14	0,05	0,11	0,15	0,27	0,24	0,18	0,05	0,04	0,12	0,04	0,04	0,02	0,11
31	0,22	0,08	0,16	0,19	0,34	0,35	0,28	0,09	0,07	0,25	0,09	0,10	0,05	0,18
32	0,33	0,14	0,24	0,25	0,42	0,48	0,41	0,16	0,14	0,44	0,17	0,22	0,13	0,27
33	0,47	0,22	0,34	0,32	0,51	0,62	0,56	0,26	0,25	0,65	0,32	0,42	0,28	0,40
34	0,61	0,33	0,45	0,40	0,59	0,74	0,69	0,41	0,41	0,81	0,51	0,64	0,51	0,55
35	0,74	0,46	0,57	0,48	0,67	0,83	0,80	0,58	0,59	0,91	0,70	0,82	0,73	0,68
36	0,83	0,59	0,68	0,57	0,75	0,89	0,88	0,73	0,75	0,96	0,84	0,92	0,88	0,79
37	0,90	0,72	0,78	0,65	0,81	0,93	0,93	0,84	0,86	0,98	0,92	0,97	0,95	0,86
38	0,94	0,82	0,85	0,72	0,85	0,96	0,96	0,91	0,93	0,99	0,96	0,99	0,98	0,91
39	0,96	0,89	0,90	0,79	0,89	0,98	0,98	0,95	0,96	1,00	0,98	0,99	0,99	0,94
40	0,98	0,93	0,94	0,84	0,92	0,99	0,99	0,97	0,98	1,00	0,99	1,00	1,00	0,96
41	0,99	0,96	0,96	0,88	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
42	0,99	0,98	0,97	0,91	0,96	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
43	1,00	0,99	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
44	1,00	0,99	0,99	0,95	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
45	1,00	1,00	0,99	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
46	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
47	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
48	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
49	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L_{50}	33,20	35,31	35,31	35,19	32,90	32,12	32,62	34,53	34,50	32,28	33,95	33,36	33,98	

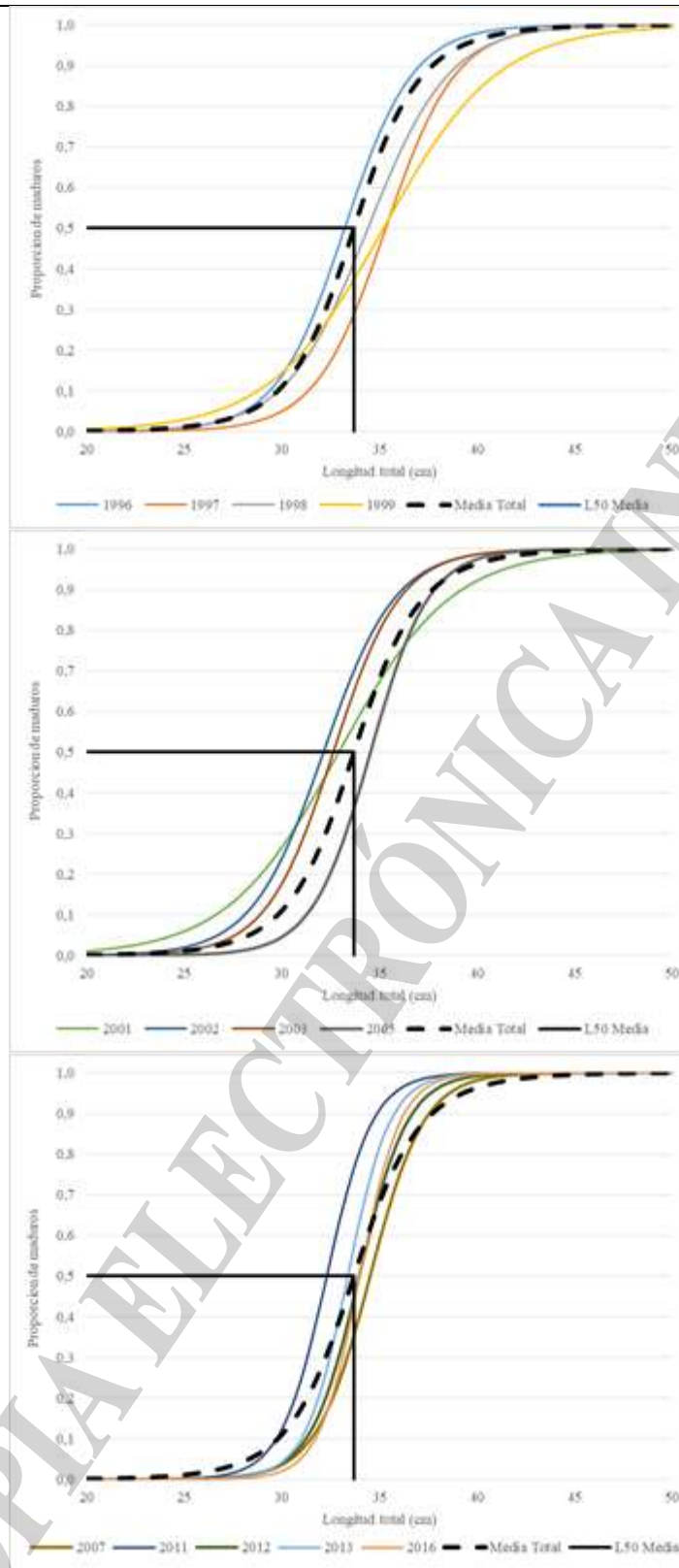


Figura 5. Curvas de madurez teórica por clase de longitud en hembras de *M. hubbsi* para todos los años analizados, media total (línea negra punteada) y L50 (línea negra).

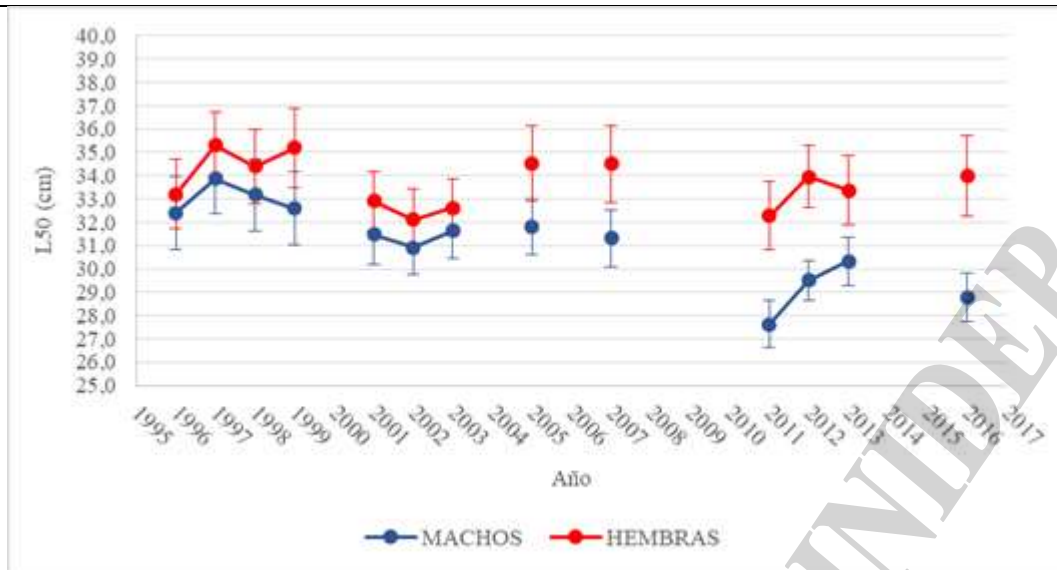


Figura 6. Longitud de madurez en machos y en hembras de merluza del stock sur de 41°S entre los años 1996 y 2016. Los círculos representan el valor medio de A50 estimado por el modelo, con su respectivo error estándar (barras).

Los resultados estadísticos que permitieron comparar las estimaciones de longitud de madurez mostraron que las pruebas de igualdad del parámetro “c” entre sexos reflejaron la aceptación de la hipótesis nula (se aceptó la igualdad) solo en los años 1996, 1998, 1999, 2002, 2003, 2005 y 2007. Las pruebas de igualdad del parámetro L₅₀ y de las curvas evidenciaron diferencias entre sexos para todos los años (se rechazó la hipótesis nula) (Tabla 9).

Tabla 9. Pruebas asintóticas de igualdad de coeficientes para las curvas entre sexos, **A**: se acepta la hipótesis nula, **R**: se rechaza la hipótesis nula.

Año	Igualdad de c	Igualdad de L50	Igualdad de curvas
1996	A	R	R
1997	R	R	R
1998	A	R	R
1999	A	R	R
2001	R	R	R
2002	A	R	R
2003	A	R	R
2005	A	R	R
2007	A	R	R
2011	R	R	R
2012	R	R	R
2013	R	R	R
2016	R	R	R

Cuando se hizo la comparación entre años, se aceptó igualdad para machos entre curvas de 1996 y 2005; 2001 con 2002 y 2005; y 2003 con 2005 y 2007 (Tabla 10.a). Por su parte, para las hembras, se aceptó igualdad entre curvas entre 1996 y 2003, 2005 y 2007, y entre 2012 y 2016 (Tabla 10.b).

**Tabla 10.a.** Pruebas asintóticas de igualdad de coeficientes para las curvas logísticas entre años para machos, **A:** se acepta la hipótesis nula, **R:** se rechaza la hipótesis nula.

Año	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016
1996	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R
1997		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1998			R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1999				R	R	R	R	R	R	R	R	R
2001					A	R	A	R	R	R	R	R
2002						R	R	R	R	R	R	R
2003							A	A	R	R	R	R
2005								R	R	R	R	R
2007									R	R	R	R
2011										R	R	R
2012											R	R
2013												R

Tabla 10.b. Pruebas asintóticas de igualdad de coeficientes para las curvas logísticas entre años para hembras, **A:** se acepta la hipótesis, **R:** se rechaza la hipótesis.

Año	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2005	2007	2011	2012	2013	2016
1996	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R	R
1997		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1998			R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
1999				R	R	R	R	R	R	R	R	R
2001					R	R	R	R	R	R	R	R
2002						R	R	R	R	R	R	R
2003							R	R	R	R	R	R
2005								A	R	R	R	R
2007									R	R	R	R
2011										R	R	R
2012											R	A
2013												R

Discusión

Es importante destacar que, si bien la edad y la longitud de madurez son parámetros que deberían estimarse durante el periodo reproductivo de la población analizada (campaña de evaluación de juveniles y reproductores de enero), una de las fortalezas de este estudio se centra en que cuenta con una serie de datos extensa, tomados en la misma época del año y que cubre la mayor parte del área donde se distribuye el stock sur de la merluza común. Además, si bien se obtuvieron los datos en las campañas globales de invierno (julio-agosto-septiembre) se estimaron los parámetros a enero de cada año mediante los modelos logísticos obtenidos.

Recientemente se ha analizado el fenómeno de “skipped spawning” (Rideout et al, 2005) (SS, en español omisión del desove) en la merluza del stock Patagónico, a partir del cual se considera que una parte del stock de los reproductores no desovaría todos los años, afectando la estimación de la ojiva de madurez (Macchi et al. 2016; 2017). Estos autores consideraron que las hembras en estadio de reposo



gonadal observadas durante el pico reproductivo de enero, funcionalmente serían inmaduras, por lo que la longitud y la edad de madurez presentarían diferencias en la estimación con respecto al método tradicional del orden de los 2-3 cm y 0,27-0,88 años, respectivamente. Esto se debe a que una cantidad indeterminada de hembras “saltarían” o evitarían uno o más eventos de desove. Para estos autores, no considerar a las hembras que omiten el desove puede llevar a una sobreestimación del número real de individuos que se reproducen anualmente, afectando los cálculos de potencial reproductivo de una población. En el análisis realizado, basado en la determinación macroscópica de la madurez gonadal en las campañas de invierno, se continuó con el método tradicional.

En el mismo sentido, se decidió cotejar los resultados de este trabajo con los obtenidos por el grupo de Ecología Reproductiva del INIDEP (ECOR), quienes aplicaron el criterio tradicional (utiliza análisis macroscópico e histológico) para la estimación de las ojivas de madurez de la merluza por grupo de edad durante el pico reproductivo (enero), entre 2005 y 2013 (Macchi et al 2017), en 2017 (Macchi G, *datos sin publicar*) y en 2021 (Macchi et al 2023). Con estos datos (excepto los provenientes de las campañas 2007 y 2008 por no ser del todo confiables), se elaboró una ojiva de madurez promedio. La comparación de esa curva con la estimada en este trabajo, la cual reemplazaría a la utilizada actualmente en los modelos de evaluación de la abundancia del recurso merluza al sur de 41°S, dio resultados muy similares (Tabla 11, Figura 7). Las diferencias con respecto a la utilizada hasta el momento (CG 1997, Simonazzi 2003), se observó principalmente en los porcentajes de individuos maduros de los grupos de edad 2 y 3.

Tabla 11. Proporción de hembras maduras: promedio de la serie de campañas analizadas en este trabajo (CG), promedio de las campañas de enero (CJ), obtenida a partir de las estimaciones de Macchi et al. (2017), y valores de CG de 1997 (utilizada hasta 2022 en los modelos de evaluación).

Grupo de edad	CG	CJ	CG 1997
1	0,002	0,002	0,001
2	0,104	0,121	0,066
3	0,896	0,936	0,790
4	0,997	0,999	0,995
5	1,000	1,000	1,000
6	1,000	1,000	1,000
7+	1,000	1,000	1,000

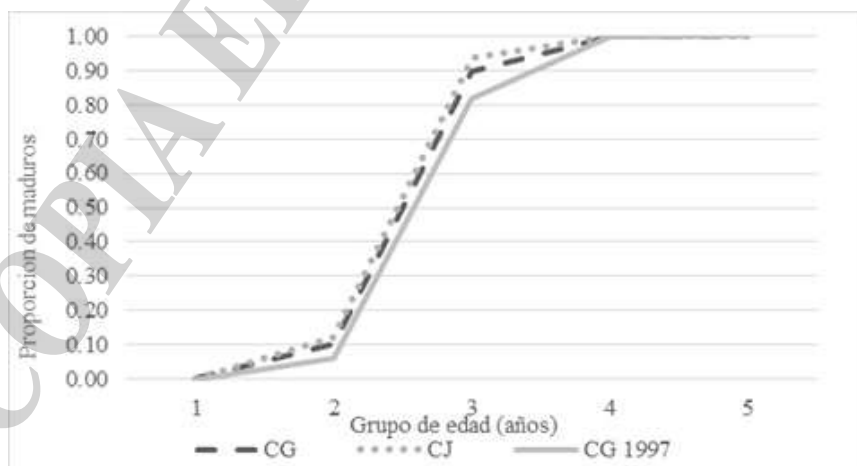


Figura 7. Curva de madurez por grupo de edad en hembras y su media (línea negra).



Cabe mencionar que los últimos datos de A_{50} y L_{50} con los que se cuenta se obtuvieron en la CG realizada en la primera quincena de septiembre del 2022, que sólo cubrió el área entre las latitudes 45 y 47°S. El número de ejemplares analizados fue bajo (1.505 y 1.652 para machos y hembras, respectivamente) y por lo tanto se decidió no incorporarla a la serie de datos de este trabajo. Sin embargo, es importante destacar que la edad de madurez estimada para machos fue de 2,22 años, algo inferior a la media estimada aquí, mientras que la longitud de madurez fue de 27,63 cm, 3,55 cm por debajo del L_{50} promedio. Es probable que las diferencias observadas se deban a errores en el diagnóstico macroscópico del grado de madurez gonadal, que suele ser más dificultoso de determinar en los machos de merluza común (Macchi *com. pers.*). En el caso de las hembras, A_{50} (2,46 años) fue similar al promedio, mientras que L_{50} fue 32,10 cm, fue de 1,5 cm inferior a la media.

Conclusiones

Luego del análisis de 13 campañas de investigación (periodo 1996-2016), con un total de 728 submuestras y 95.220 ejemplares, se puede concluir que:

- La estimación de la edad de madurez sexual para machos presentó un mínimo de 1,95 años (2012) y un máximo de 2,59 años (1997), mientras que para hembras fue de 2,35 años (2003) y 2,65 años (1997), respectivamente. La media para todos los años analizados resultó en **2,30** y **2,49 años** en machos y hembras, respectivamente.
- La longitud de madurez sexual para machos tuvo un mínimo de 27,64 cm (2011) y un máximo de 33,88 cm (1997), mientras que en las hembras fue de 32,12 cm (2002) y 35,31 cm (1997), respectivamente. En promedio, para todos los años analizados, la longitud de madurez resultó en **31,18 cm** y **33,69 cm** en machos y hembras, respectivamente.
- La nueva ojiva de madurez promedio de las hembras (CG), presentó diferencias en los porcentajes de individuos maduros de los grupos de edad 2 y 3 con respecto a la utilizada hasta el momento (CG 1997), que implica una estimación mayor de la biomasa reproductiva del efectivo sur de merluza común (Tabla 10).

Agradecimientos

Al Dr. G. Macchi por la revisión crítica de este trabajo.

Bibliografía

- Adams PB. 1980. Life history patterns in marine fishes and their consequences for fisheries management. Fishery Bulletin, 78: 1-12.
- Angelescu V, Prenski L. 1987. Ecología trófica de la merluza común del Mar Argentino (*Merluccidae, Merluccius hubbsi*). Parte 2. Dinámica de la alimentación, analizada sobre la base de las condiciones ambientales, la estructura y las evaluaciones de los efectivos en su área de distribución. Contrib. Inst. Nac. Invest. Desarr. Pesq. (Mar del Plata), N° 423, 248pp.
- Aubone A, Wöhler OC. 2000. Aplicación del método de máxima verosimilitud a la estimación de parámetros y comparación de curvas de crecimiento de Von Bertalanffy. Series INIDEP Informes Técnicos N° 37, 21.
- Corgos A, Freire J. 2006. Morphometric and gonad maturity in the spider crab *Maja brachydactyla*: a comparison of methods for estimating size at maturity in species with determinate growth, ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil, 63(5), 851-859pp. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.03.003>.



- Cubillos L, Alarcón, C. 2010. Estimación de la talla media de madurez sexual en *Trachurus murphyi* mediante parámetros del consumo relativo de oxígeno. *Latin american journal of aquatic research*, 38(2), 178-187pp. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue2-fulltext-2>.
- Macchi GJ, Pájaro M. 2003. Fecundidad, producción potencial de huevos y talla de primera maduración de la merluza (*Merluccius hubbsi*) en el área de reproducción otoñal (35E–39E-30´S). *Inf. Téc. Int. DNI INIDEP NE86/2003*, 13 pp.
- Macchi, G. J., Diaz M. V., Leonarduzzi E., Militelli M.I., Rodrigues K. 2016. Skipped spawning in the Patagonian stock of argentine hake, *Merluccius hubbsi*. *Fish. Bull. (US)* 114: 397 – 408. doi: 10.7755/FB.114.4.3.
- Macchi GJ, Rodrigues K, Diaz MV, Militelli MI. 2017. Effects of skipped spawning in the reproductive potential of argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Fish. Bull. (Wash. D.C.)* 115, 396–407. <https://doi.org/10.7755/FB.115.3.9>.
- Macchi GJ, Estrada M, Brachetta H, Santos B, Pedernera M., Suby A. 2023. Producción de huevos por edad del stock patagónico de merluza (*Merluccius hubbsi*) durante el pico reproductivo de enero de 2021. *Inf. Inv. INIDEP*, 43/2023, 10 pp.
- Macchi JG, Diaz MV, Leonarduzzi E, Ehrlich M, Machinandiaarena L, Cadaveira M & Militelli MI. 2021. Temperature, maternal effects and density-dependent processes during early life stages of Argentine hake as relevant recruitment drivers. *Fisheries Research* 238, 12 pp.
- Otero H, Bezzi S, Renzi M, Verazay G. 1982. Atlas de los recursos pesqueros demersales del Mar Argentino, Contrib. Inst. Nac. Invest. Desarr. Pesq. (Mar del Plata). N° 423, 1-248pp.
- Renzi M, Pérez MA. 1992. Un criterio para la determinación de la edad en juveniles de merluza (*Merluccius hubbsi*) mediante la lectura de otolitos. *Fr. Mar. Vol. 11. Secc. A:15-31*.
- Rideout RM, Rose GA, Burton MPM. 2005. Skipped spawning in female iteroparous fishes, *Fish and Fisheries*, 6, 50-72pp.
- Rochet MJ, Trenkel VM. 2003. Which community indicators can measure the impact of fishing? A review and proposals, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(1), 86-99pp. <https://doi.org/10.1139/f02-164>
- Rodrigues KA, Macchi G. 2010. Spawning and reproductive potencial of the Northern stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Fisheries Research* 106: 60-566 pp.
- Roff DA. 1992. *The Evolution of Life Histories: Theory and Analysis*. Chapman and Hall, London. 535 pp.
- Simonazzi MA, Otero HO. 1986. Aspectos de la estructura de población de la merluza común (*Merluccius hubbsi*). Largo y edad de primera madurez, relación largo-peso. *Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Mar. Vol. 1(1): 135-146 pp*.
- Simonazzi MA. 1989. Informe sobre el largo de primera madurez de merluza (*Merluccius hubbsi*). *Com. Tec. Mix. Fr. Mar. Informe Grupo Trabajo Director N° 4/89*, 4pp.
- Simonazzi MA. 2000. Relación largo-peso, largo y edad de primera madurez sexual de la Merluza al sur de 41°S. *Inf. Téc. Int. INIDEP N° 96*.
- Simonazzi MA. 2003. Relación largo-peso y largo-edad de primera madurez sexual de la merluza. En: *Aportes para la evaluación del recurso merluza (Merluccius hubbsi) al sur de los 41° S. Año 1999*. Eds. Bezzi, S y L, Tringali. *Inf. Téc. INIDEP N° 51/2021*, 11-26 pp.
- Simonazzi MA, Rodríguez JS. 2014. Longitud de primera madurez sexual de merluza (*Merluccius hubbsi*) al sur de 41°S en el período 2001-2012. *Inf. Inv. INIDEP N° 95/2014*, 13pp.
- Stearns SC. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, New York, 249 pp.
- Trippel EA, Harvey HH. 1991. Comparison of methods used to estimate age and length of fishes at sexual maturity using populations of white sucker (*Catostomus commersoni*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 48(8), 1446 – 1459pp. <https://doi.org/10.1139/f91-172>
- Wootton RJ. 1990. Tactics and Strategies in fish reproduction. En Potts G.W. & Wotton R.J. (Eds). *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*. Academic Press. London. 1-12 pp.