

Informe TÉCNICO OFICIAL

022-24

NO-2024-64432048-APN-DNI#INIDEP

18/06/2024

Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2023. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2024.

Paula Orlando, Claudio C. Buratti, A. David Garciarena, Germán E. Buratti, Manuela Parietti y M. Cecilia Spath.

Dirección: Pesquerías de Peces

Area: Programa Pesquerías de Peces Pelágicos

Citar como:

Orlando P, Buratti CC, Garciarena AD, Buratti GE, Parietti M, Spath MC. 2024. Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2023. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2024. Inf Tec Oficial INIDEP N° 022/24, 25 pp.





Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2023. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2024.

Orlando Paula, Buratti Claudio C, Garcarena A. David, Buratti Germán E, Parietti Manuela, Spath M. Cecilia.

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)

Resumen ejecutivo

Por su rol central en los ecosistemas de la región, la anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*) es una de las especies más estudiadas del Atlántico Sudoccidental, donde se distribuye ampliamente, entre Cabo Frío en Brasil (23°S) y la Patagonia (48°S), y desde aguas someras hasta fuera del talud continental. En Argentina se reconocen dos *stocks*, separados entre sí a los 41° S: el bonaerense y el patagónico: el primero, ubicado entre 34° y 41° S, ha sido históricamente el más explotado. Los desembarques de anchoíta bonaerense en el año 2023 alcanzaron unas 5.300 t. Las embarcaciones costeras y de altura fueron las que más aportaron a ellos. La captura se destina al abastecimiento de saladeros y conserveras y es obtenida mediante la utilización de redes de arrastre de media agua. Para determinar de la captura biológicamente aceptable, en principio, se ajustó un modelo estadístico de capturas por edad a observaciones disponible sobre la pesquería estacional de anchoíta bonaerense entre los años 1990 y 2023. Estas fueron: las capturas anuales en toneladas y en número por grupos etarios, y las estimaciones de las evaluaciones directas de abundancia, obtenidas por métodos acústicos y por el de producción diaria de huevos, en 13 campañas de investigación efectuadas por el INIDEP entre 1993 y 2021. En primavera, cuando tiene lugar su mayor actividad reproductiva, las estimaciones de la biomasa total del *stock* alcanzaron entre 1 y 5 millones de t (2 millones, en promedio), mientras que la abundancia de reproductores habría variado entre 0,78 y 3,66 millones de t (media = 1,6 millones de toneladas). Luego, mediante un análisis de la biomasa reproductiva por cada recluta se estimaron los Puntos Biológicos de Referencia. La abundancia de los reproductores de 2 años o más en primavera ($BR_{2+,2023} = 930.000$ t) fue superior a los valores determinados como puntos de referencia objetivo ($BR_{66} = 746.000$ t) y límite ($BR_{40} = 456.000$ t). Finalmente, se proyectó la evolución del *stock* asumiendo distintos valores de mortalidad pesquera (tasa F), constantes en años sucesivos, para determinar el máximo valor compatible con la regla de control de capturas propuesta para esta pesquería. Para ello, se tuvo en cuenta la variabilidad asociada a los resultados del diagnóstico poblacional en cuanto a abundancia actual, composición de la población por edades, reclutamiento medio y estacionalidad de la explotación. La población de anchoíta al norte de 41° S debe considerarse “saludable”, pero hay razones que conducen a mantener un criterio precautorio, y, por lo tanto, recomendar que se mantenga para el año 2024 la cifra de 120.000 t como captura máxima permitida para este recurso.

Palabras Clave

Engraulis anchoita, abundancia, modelo estadístico de captura por edad, captura biológicamente aceptable.

Introducción

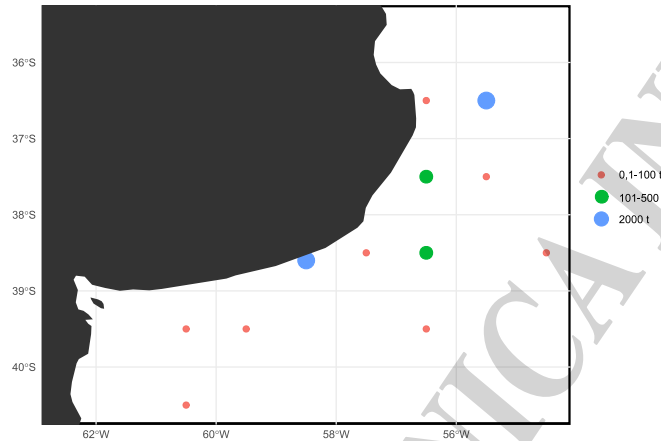
Por su rol central en los ecosistemas de la región, la anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*) es una de las especies más estudiadas del Atlántico Sudoccidental, donde se distribuye ampliamente, entre Cabo Frío en Brasil (23°S) y la Patagonia (48°S), y desde aguas someras hasta fuera del talud continental (Angelescu 1982). Constituye un importante eslabón dentro de la cadena trófica marina, formando parte de la dieta de peces aves, y mamíferos marinos (Marinao y Yorio, 2011, Ciancio et al. 2021, Suarez 2005). En Argentina se reconocen dos *stocks*, separados entre sí a los 41° S: el norteño o bonaerense y el patagónico (Brandhorst et al. 1974; Hansen et al. 1984; Ratti 1986; Hansen 1994; Hansen et al. 2011). El primero, ubicado entre 34° y 41° S, ha sido históricamente el más explotado, y su pesca se remonta hasta las primeras décadas del siglo XX.

- Características de la temporada de pesca 2023



Durante 2023 se desembarcaron 5.400 t de anchoíta bonaerense. La actividad pesquera se desarrolló principalmente en tres áreas: una al norte de Mar del Plata, otra al este de esta ciudad y la tercera, al sur de Necochea (Spath et al. 2024). Como es habitual, pescaron sobre anchoíta de este *stock* los tres estratos de la flota fresca (altura, costera y rada o ría); el 56% de los desembarques fueron efectuados por la flota costera, el 34% por barcos de altura y el 10% por la flota de rada. La temporada de pesca comenzó en el mes de julio con volúmenes modestos que fueron aumentando conforme avanzó el año, y finalizó en el mes de noviembre, que evidenció así la conocida estacionalidad de la actividad.

A



B

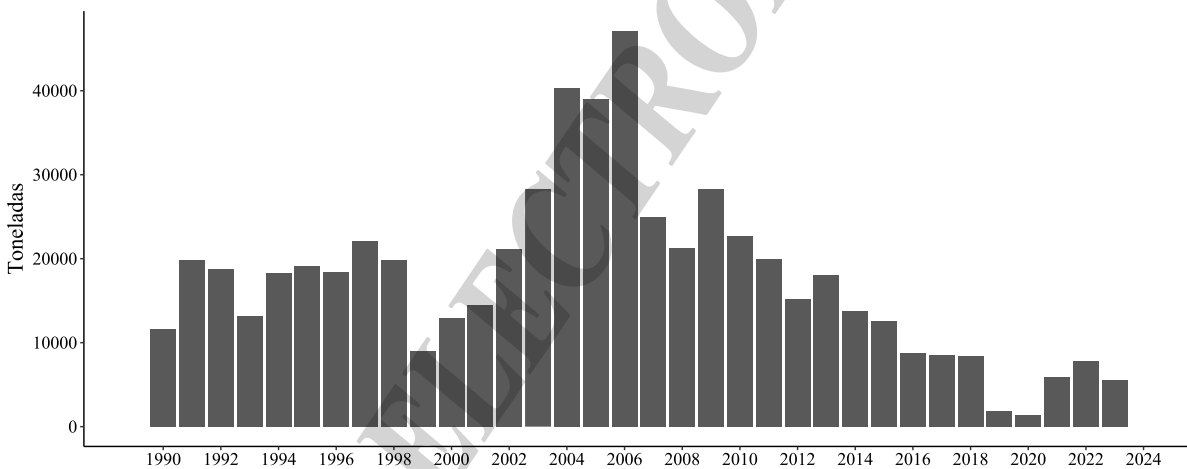


Figura 1. Distribución de los desembarques de anchoíta realizados por la flota comercial (A) y toneladas de anchoíta bonaerense desembarcada en 2023 (B).

Materiales y métodos

A. Información sobre la pesquería

Los datos utilizados en el modelo fueron:

- Las capturas totales anuales y por cuatrimestre expresados en toneladas (Tabla 1). Se incluyeron los descartes.
- La magnitud anual del factor de estacionalidad factor entre los años 1990 y 2023 ha sido considerada constante para los distintos grupos de edad, y calculada usando solamente los datos



de captura (Garciaarena et al 2023). La fórmula 10 de Mertz y Myers (1996) se adaptó para determinar $\gamma(M)y$, usando la expresión general:

$$\gamma(M)y = \frac{\sum i \left\{ C_{i,t,y} \exp \left\{ M * \left[(i-1) * 0,333 + \frac{0,333}{2} \right] \right\} \right\} \exp(-M)}{\sum i C_{i,t,y}} \quad [1]$$

donde 0,333 es la fracción de año que corresponde a cada trimestre.

De acuerdo a estos últimos autores, el valor del factor así calculado equivale a suponer que de un recurso con una tasa de mortalidad natural M determinada, las capturas anuales de un determinado grupo de edad resultan de una única remoción masiva en una fracción v de año, de modo que: $0 \geq v \leq 1$, y $\gamma(M)y = \exp [-M (1-v)]$.

Tabla 1. Toneladas de anchoíta bonaerense desembarcadas por trimestre y por año. Periodo 1990 – 2023. Incluye descartes.

Año (y)	Desembarque por trimestre (t)			Captura total Y _v (t)	Parámetro estacional $\gamma(M)y$
	1	2	3		
1990	132	1.178	10.299	11.609	0,816
1991	36	1.787	17.945	19.768	0,822
1992	263	2.440	16.096	18.800	0,808
1993	0	2.485	10.692	13.176	0,800
1994	385	3.368	14.541	18.294	0,792
1995	142	928	18.043	19.113	0,830
1996	128	1.901	16.350	18.379	0,817
1997	0	1.449	20.651	22.100	0,829
1998	209	1.080	18.582	19.871	0,828
1999	7	106	8.913	9.026	0,842
2000	0	1	12.860	12.860	0,845
2001	0	3.304	11.205	14.509	0,790
2002	0	902	20.254	21.155	0,835
2003	12	12.919	15.372	28.302	0,735
2004	1	11.343	28.986	40.330	0,777
2005	5	9.503	29.490	38.999	0,786
2006	1	13.260	33.858	47.119	0,777
2007	0	4.672	20.313	24.895	0,800
2008	1	8.029	13.280	21.309	0,754
2009	0	2.250	25.997	28.247	0,826
2010	10	4.772	17.921	22.711	0,794
2011	2	3.559	16.399	19.960	0,802
2012	0	2.868	12.263	15.131	0,799
2013	3	5.108	12.923	18.033	0,777
2014	12	201	13.568	13.781	0,841
2015	1	5.910	6.617	12.528	0,731
2016	0	108	8.626	8.734	0,842
2017	34,7	166	8.217	8.417	0,838
2018	0	0	8.524	8.524	0,850
2019	0	63	1.892	1.955	0,837
2020	0	54	1.332	1.386	0,835
2021	0	482	5.058	5.540	0,824
2022	0	1.866	5.909	7.774	0,787
2023	9	1.261	4.263	5.532	0,789



- Además, se utilizaron los números de ejemplares de anchoíta desembarcados por grupo de edad y por cuatrimestre (Tabla 2).

Tabla 2. Número de ejemplares (en millones) de anchoíta bonaerense por grupo de edad, desembarcados por cuatrimestre. Periodo 1990 – 2023. Incluye descartes.

Año (y)	Edad 1			Edad 2			Edad 3			Edad 4			Edad 5			Edad 6+			
	Cuatrimestre (i)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1990		0,1	0,7	5,7	1,4	12,4	108,4	2,2	20,0	175,2	0,7	5,8	50,7	0,1	1,2	10,4	0,0	0,1	1,1
1991		0,1	4,9	48,7	0,2	9,6	96,7	0,6	30,4	305,8	0,3	14,6	146,3	0,0	1,4	14,0	0,0	0,2	1,8
1992		0,4	3,4	22,7	3,0	27,4	180,5	5,6	51,6	340,2	0,8	7,6	49,8	0,2	1,5	10,1	0,1	0,5	3,4
1993		0,0	2,3	9,7	0,0	17,1	73,7	0,0	26,6	114,4	0,0	22,4	96,5	0,0	8,8	37,7	0,0	0,8	3,6
1994		3,0	25,8	111,2	4,2	36,6	158,2	4,6	40,6	175,1	2,1	18,3	78,9	0,7	6,2	26,6	0,3	2,6	11,1
1995		0,5	3,3	64,2	2,0	13,1	253,7	1,7	11,2	217,0	0,7	4,5	86,6	0,2	1,1	21,9	0,0	0,3	4,9
1996		1,4	21,4	183,6	1,2	18,1	155,5	1,4	20,8	178,9	0,6	8,4	72,4	0,1	2,0	17,1	0,0	0,4	3,7
1997		0,0	1,0	13,6	0,0	25,5	363,8	0,0	22,6	322,1	0,0	5,1	72,4	0,0	0,4	6,1	0,0	0,2	3,3
1998		0,3	1,8	30,4	0,9	4,5	76,9	4,4	22,7	390,1	0,8	4,3	74,4	0,2	0,8	13,1	0,0	0,1	2,0
1999		0,0	0,3	26,9	0,1	1,5	124,1	0,1	1,5	121,9	0,1	0,8	64,7	0,0	0,1	11,3	0,0	0,0	1,9
2000		0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	274,6	0,0	0,0	155,4	0,0	0,0	32,9	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	1,2
2001		0,0	4,5	15,4	0,0	41,8	141,6	0,0	44,3	150,2	0,0	19,1	64,9	0,0	6,6	22,5	0,0	1,0	3,5
2002		0,0	0,1	2,4	0,0	12,4	277,9	0,0	12,6	282,3	0,0	4,6	103,3	0,0	1,6	35,4	0,0	0,3	7,7
2003		0,0	6,0	7,2	0,1	68,3	81,3	0,3	284,9	339,0	0,1	77,6	92,3	0,0	16,8	20,0	0,0	2,9	3,4
2004		0,0	3,4	8,7	0,0	82,0	209,4	0,0	112,4	287,2	0,0	151,9	388,1	0,0	33,5	85,7	0,0	2,7	6,8
2005		0,0	1,7	5,2	0,0	40,8	126,7	0,1	211,1	655,2	0,0	48,5	150,6	0,0	25,8	79,9	0,0	2,5	7,9
2006		0,0	4,6	11,7	0,0	49,9	127,3	0,0	121,3	309,8	0,0	240,0	612,9	0,0	28,2	72,1	0,0	5,2	13,3
2007		0,0	2,5	10,8	0,0	75,1	326,6	0,0	35,0	152,3	0,0	24,3	105,8	0,0	37,5	163,2	0,0	1,6	6,7
2008		0,0	0,0	0,0	0,0	89,3	147,7	0,0	126,3	208,9	0,0	32,5	53,8	0,0	21,0	34,7	0,0	10,9	18,1
2009		0,0	0,3	3,5	0,0	33,4	385,9	0,0	32,6	377,0	0,0	11,9	137,8	0,0	2,7	30,8	0,0	1,1	12,5
2010		0,0	0,9	3,3	0,1	37,4	140,4	0,2	88,1	331,1	0,1	36,1	135,5	0,0	8,1	30,4	0,0	0,8	2,9
2011		0,0	3,1	14,1	0,0	40,0	184,5	0,0	39,0	179,6	0,0	35,4	163,0	0,0	9,0	41,6	0,0	1,5	6,8
2012		0,0	3,6	15,4	0,0	61,3	262,0	0,0	36,5	155,9	0,0	12,1	51,6	0,0	4,2	17,8	0,0	1,1	4,6
2013		0,0	3,3	8,4	0,0	72,6	183,6	0,1	89,1	225,3	0,0	29,0	73,5	0,0	7,3	18,4	0,0	1,6	4,1
2014		0,1	1,4	92,1	0,4	6,5	435,2	0,1	1,8	119,4	0,0	0,2	15,2	0,0	0,1	4,1	0,0	0,0	1,0
2015		0,0	15,1	16,9	0,1	226,0	253,0	0,0	39,6	44,4	0,0	2,4	2,6	0,0	0,9	1,1	0,0	0,0	0,0
2016		0,0	0,3	23,9	0,0	2,4	193,6	0,0	1,3	104,9	0,0	0,5	36,4	0,0	0,1	6,4	0,0	0,0	1,2
2017		0,1	0,6	28,6	0,8	3,9	193,1	0,4	2,0	96,6	0,1	0,6	28,6	0,0	0,1	7,2	0,0	0,0	0,0
2018		0,0	0,0	120,2	0,0	0,0	166,3	0,0	0,0	86,4	0,0	0,0	39,6	0,0	0,0	12,1	0,0	0,0	0,1
2019		0,0	1,3	37,7	0,0	1,5	43,5	0,0	0,6	18,4	0,0	0,2	5,8	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
2020		0,0	2,1	50,9	0,0	7,3	180,7	0,0	1,5	37,5	0,0	0,5	11,5	0,0	0,0	1,9	0,0	0,2	4,8
2021		0,0	4,6	48,4	0,0	16,3	171,6	0,0	3,4	35,6	0,0	1,0	10,9	0,0	0,2	1,8	0,0	0,4	4,5
2022		0,0	3,6	11,4	0,0	38,15	120,84	0,0	25,6	81,3	0,0	5,7	18,2	0,0	1,9	6,1	0,0	0,7	2,2
2023		0,1	22	74,7	0,2	34,5	116,7	0,0	9,8	33,3	0,0	2,8	9,6	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,04

Datos biológicos

Para modelar la dinámica del recurso, se tomaron de investigaciones previas algunos datos fundamentales tales como: (a) la tasa instantánea de mortalidad natural $M = 1,01$ (Hansen, 2011) asumida como constante para toda edad y año; y (b) las proporciones de individuos maduros por grupo



de edad en la época principal de reproducción. Se utilizaron en este diagnóstico poblacional dos ojivas de proporciones de individuos maduros por grupo de edad en la época principal de reproducción. Una abarcó el periodo 1990 a 2018, donde $P_m = 0,52$ para la edad 1 y $P_m = 1,00$ para el resto de las edades; y otra de 2019 a 2023, en la cual se asignó $P_m = 0,84$ para la edad 1 y $P_m = 1,00$ para el resto de las edades. También fueron necesarias las estimaciones de los parámetros de crecimiento en peso W_∞ , K y t_0 del último año con pesca sirvieron para calcular los pesos medios en el *stock* a inicios del mismo año $\bar{w}_{t,2023}$. Con estas cantidades se determinó el número de reclutas en el estado virgen y la biomasa teórica total presente al 1° de enero de 2023.

Los pesos medios (en gramos) de los ejemplares por edad estimados en los desembarques, empleados para calcular los rendimientos predichos y compararlos con las observaciones (Tabla 3). Dado que no se obtuvieron muestras de desembarque de anchoíta en la temporada de pesca 2020, se utilizaron para ese año, los valores obtenidos en 2021.

Tabla 3. Pesos medios (gramos) de anchoíta, por grupo de edad y por año, en los desembarques. Periodo 1990 – 2023.

Año (y)	Pesos medios por edad (gramos)					
	Edad 1	Edad 2	Edad 3	Edad 4	Edad 5	Edad 6+
1990	8,93	22,79	29,80	40,12	45,24	51,63
1991	13,73	20,27	29,90	37,23	45,48	49,03
1992	13,24	19,96	28,52	37,34	46,46	47,29
1993	12,12	20,69	30,45	37,96	45,73	49,30
1994	13,24	19,93	30,40	36,78	44,45	45,97
1995	16,21	20,67	32,27	39,93	47,77	51,62
1996	15,03	22,72	33,60	41,62	49,33	51,80
1997	17,32	23,15	28,49	33,54	40,01	43,83
1998	20,05	24,06	32,13	38,92	45,68	48,12
1999	7,92	19,79	26,47	37,78	42,44	48,72
2000	13,55	23,04	31,21	36,03	39,54	49,60
2001	16,14	23,58	29,90	33,50	36,24	39,65
2002	16,46	25,05	29,07	33,36	36,70	39,67
2003	13,62	21,47	28,31	33,03	37,46	39,44
2004	17,64	21,66	28,75	32,49	36,93	39,51
2005	10,57	22,93	27,61	33,94	37,63	40,61
2006	10,77	18,49	27,75	31,78	38,64	39,22
2007	9,38	21,40	28,67	32,61	37,34	42,05
2008	-	21,03	29,99	33,68	38,74	41,46
2009	9,17	22,63	29,40	32,45	36,99	42,80
2010	8,84	21,87	27,69	33,05	35,38	38,40
2011	11,32	21,58	27,70	33,50	37,29	39,92
2012	10,70	20,97	26,24	32,35	37,92	37,76
2013	9,94	20,98	26,56	29,79	35,40	38,68
2014	12,61	19,73	26,35	31,98	36,54	40,08
2015	9,74	20,38	25,44	30,89	34,29	40,08
2016	10,64	20,95	26,82	33,19	38,66	40,20
2017	9,9	21,6	26,91	30,92	35,00	40,20
2018	8,54	20,59	27,44	30,76	36,66	43,00
2019	8,6	16,91	25,24	29,66	35,62	37,81
2020	9,5	19,3	27,9	31,5	35,2	34,85
2021	9,5	19,3	27,9	31,5	35,2	34,85
2022	8,9	20,9	27,5	33,9	39,3	42,8
2023	10,5	19,9	27,6	31,4	33,8	33,1

Además, fueron incorporados los valores de pesos medios teóricos por edad en el *stock* hacia mediados de octubre de cada año y su promedio (Tabla 4). La media del periodo se utilizó en los análisis de biomasa reproductiva por recluta y en las proyecciones realizadas para determinar riesgos de sobrepesca.



Tabla 4. Peso medio teórico (en gramos) por edad en el *stock* de anchoíta bonaerense al 15 de octubre de cada año y valores medios del periodo 1990 – 2023.

Año (y)	Pesos medios por edad (gramos)					
	Edad 1	Edad 2	Edad 3	Edad 4	Edad 5	Edad 6+
1990	10,10	20,00	29,86	38,42	45,31	50,60
1991	9,40	19,01	28,64	37,01	43,74	48,90
1992	9,01	18,72	28,40	36,70	43,28	48,23
1993	8,52	18,64	28,38	36,32	42,26	46,48
1994	8,54	18,52	28,07	35,80	41,56	45,63
1995	9,28	18,83	27,49	34,24	39,09	42,42
1996	8,93	18,99	28,49	36,13	41,76	45,73
1997	10,71	19,72	27,90	34,45	39,34	42,85
1998	9,83	21,31	31,51	39,15	44,38	47,81
1999	9,95	17,79	24,93	30,72	35,11	38,30
2000	11,05	20,09	28,77	36,20	42,13	46,68
2001	11,81	20,24	27,38	32,79	36,63	39,26
2002	10,82	19,39	27,18	33,45	38,18	41,60
2003	8,79	18,98	28,17	35,15	40,01	43,25
2004	8,64	19,78	28,85	34,90	38,60	40,77
2005	10,18	19,88	27,93	33,66	37,45	39,86
2006	9,85	19,20	27,72	34,47	39,43	42,91
2007	10,23	19,21	27,14	33,27	37,67	40,71
2008	8,12	17,00	25,23	31,72	36,44	39,72
2009	10,61	19,76	27,68	33,69	37,93	40,81
2010	9,74	19,71	27,48	32,61	35,73	37,57
2011	10,02	20,24	28,40	33,93	37,40	39,48
2012	9,87	19,62	27,48	32,90	36,34	38,45
2013	10,46	19,11	26,38	31,72	35,40	37,83
2014	9,93	18,75	26,52	32,49	36,75	39,67
2015	10,52	18,48	25,64	31,39	35,71	38,83
2016	9,96	19,58	27,76	33,74	37,79	40,42
2017	10,67	19,42	26,83	32,34	36,16	38,70
2018	10,79	18,78	26,31	32,69	37,77	41,65
2019	8,11	20,44	30,54	37,18	41,13	43,38
2020	9,15	19,85	27,44	31,88	34,27	35,52
2021	5,08	13,39	21,51	27,89	32,41	35,44
2022	9,7	19,39	28,01	34,60	39,27	42,43
2023	9,8	20,49	27,44	31,18	33,04	33,94
Media	9,66	19,21	27,61	33,99	38,53	41,65

Información adicional

Cómo índices se utilizaron las estimaciones directas de biomasa obtenidas en 13 campañas de investigación, desarrolladas en los meses de mayor actividad reproductiva (octubre-noviembre) de los años 1993 a 1996, 1999, 2001 a 2004, 2006, 2008, 2019 y 2021: estimaciones de biomasa total de los grupos de edad 1 a 6+ evaluada mediante el método hidroacústico (Madirolas et al. 2013, Buratti et al. 2019 y 2021) y de biomasa del *stock* desovante (Pájaro et al. 2013, Leonarduzzi et al. 2023) estimada por el método de producción diaria de huevos, MPDH (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluaciones directas de abundancia (en toneladas) de anchoíta bonaerense. B_y = Biomasa de edades 1 a 6+ estimada por métodos acústicos en campañas de investigación; BR_y = Biomasa de reproductores estimada por el método de producción diaria de huevos.



Año	B_y	BR_y
1993	1.431.139	842.302
1994	2.697.438	672.121
1995	2.761.444	1.303.547
1996	5.321.268	1.831.895
1999	1.739.660	2.006.287
2001	1.947.603	1.538.710
2002	2.013.592	3.666.293
2003	1.806.139	2.047.005
2004	2.973.942	2.840.202
2006	1.484.248	1.847.413
2008	2.827.639	2.103.410
2019	1.831.829	1.129.916
2021	1.411.833	1.578.932

B. Modelo de evaluación

En un modelo proyectivo, como son los modelos estadísticos de capturas por edades, el estado actual de un recurso se evalúa representando su dinámica a partir de condiciones iniciales de abundancia y estructura, aquí estimadas a comienzos de 1990. El modelo se estructuró considerando seis grupos de edad, este último el “grupo *plus*”, integrado por ejemplares de seis y más años de edad ($t = 6+$), mientras que el primero ($t = 1$) corresponde a los reclutas que se incorporan al *stock* cada 1° de enero.

La abundancia anual de reproductores se estima hacia mediados de octubre, debido a que la actividad reproductiva de la anchoíta es máxima en primavera (Ciechomski y Sánchez 1986; Pájaro et al. 2011).

El modelo está implementado en un código para AD Model Builder (ADMB) versión 10.0 (Fournier et al. 2012). Su ajuste consiste en la búsqueda del vector de parámetros que reduce al máximo las diferencias entre distintas observaciones independientes acerca del recurso y su pesca (biomasa total y reproductiva, rendimientos totales, proporciones de captura desembarcada por edad) y los valores predichos. Para ello se minimizó el logaritmo negativo de una única función objetivo, integrada por distintas componentes de verosimilitud.

Se aprovecharon varias de las ventajas del ADMB para trabajar con modelos no lineales con muchos parámetros: (a) la estimación de algunos parámetros, fueron realizadas fijando límites superiores e inferiores para los mismos; (b) la minimización se desarrolló por etapas, indicando en cuáles determinados parámetros se mantienen fijos, mientras los valores de otros varían, hasta que, en la etapa final, todos son incluidos; (c) se incluyeron algunas desviaciones en vectores especiales, cuyos elementos se calculan con la condición de sumar cero; y (d) se evaluó la certidumbre de las estimaciones, mediante perfiles de verosimilitud y aproximaciones de las distribuciones posteriores de las cantidades de mayor interés.

Condiciones iniciales: año 1990

El punto de partida del análisis fue la cantidad de ejemplares de cada edad supuestamente presentes en enero de 1990 ($N_{t,1990}$). Estos fueron los primeros valores a ser estimados mediante el ajuste, modelándose esta condición inicial de manera estocástica; bajo el supuesto de que el *stock* estaba sometido a explotación, y no necesariamente en equilibrio. El reclutamiento del primer año del análisis se estimó con límites inferior y superior, de entre aproximadamente 49.000 y 362.000 millones de ejemplares, respectivamente.



Los valores de las edades 2 a 6+ se aproximaron mediante una expresión análoga a la ecuación [2], pero a partir de las observaciones de 1990, tanto del coeficiente de estacionalidad $\gamma(M_{1990})$ como de las capturas desembarcadas en millones de ejemplares de los distintos grupos $C_{t,1990}$.

$$N_{t,1990} = [N_{t-1,1990} - C_{t-1,1990} * \gamma(M)_{t,1990} * \exp(M)] * \exp(-M) * \exp(\delta_t) \quad [2]$$

Los desvíos δ_t se introdujeron como errores de proceso, es decir, se permitió que las cantidades estimadas representaran entre 0,37 y 2,72 veces el valor teórico correspondiente a cada grupo en la pseudo – cohorte, también se forzó a que la suma de los desvíos sumara cero.

Reclutamientos (1991 – 2023)

Los reclutamientos de cada enero a partir de 1991 y hasta 2022, fueron obtenidos considerando la biomasa teórica de reproductores presente a mediados de octubre del año inmediato anterior (\widehat{BR}_{y-1}) y una versión estocástica, con errores de proceso log-normalmente distribuidos, de la función *stock-recluta* de Ricker (1954), con la debida corrección (por ej., Maunder y Deriso 2003) de dicha función:

$$N_{1,y} = \alpha * \widehat{BR}_{y-1} * \exp(-\beta \widehat{BR}_{y-1}) * \exp(\varepsilon_y - 0,5 * \sigma_R^2) \quad [3]$$

donde los valores del factor de error ε_y se buscaron en la segunda fase de minimización, con la condición de sumar cero y dentro del intervalo -1,792 y 1,792. De acuerdo con información previa, se consideró que el desvío de los logaritmos de los reclutamientos fuera $\sigma_R^2 = 0,7$. Los reclutamientos del 2023 fueron calculados con la ecuación [3] pero de manera determinística, sin considerar el factor de error.

Las constantes de la función de reclutamiento se determinaron usando la siguiente re-parametrización expresada en las ecuaciones [4] y [5] (Cubillos 1994; Cubillos et al. 2002).

$$\alpha = \frac{\exp(1) * Rv}{\tau * BRV} \quad [4]$$

$$\beta = \frac{\ln\left[\frac{\exp(1)}{\tau}\right]}{BRV} \quad [5]$$

En las mismas, τ (“tau”) es un factor de proporcionalidad entre la biomasa de reproductores producida por recluta en ausencia de pesca y la producida a nivel del reclutamiento teórico máximo, ecuación [6], adoptándose valores a priori de 0,77 para la media y 0,10 para el desvío.

$$\tau = \frac{Rv * BR_{Rmax}}{BRV * R_{max}} \quad [6]$$



La biomasa total virgen (BTV) a principios de un supuesto año pretérito fue otro parámetro del modelo requerido para determinar las constantes de la función *stock* – recluta. Su estimación se limitó dentro del intervalo de 985.000 y 7.275.000 toneladas.

A efectos de obtener la cifra de reclutas aludida en el numerador de la ecuación [4] relacionada con la estimación de la constante α , se comenzó por calcular los números relativos de cada edad (nt) por recluta de edad 1, en el equilibrio y sin pesca, usando expresiones simples de disminución exponencial:

$$nt = \begin{cases} =1 & \text{Si } t = 1 \\ =1 * \exp [-M * (t - 1)] & \text{Si } t = 2,3,4,5 \\ =1 * \exp [-M * (t - 1)] / [1 - \exp(-M)] & \text{Si } t = 6+ \end{cases} \quad [7]$$

La cantidad absoluta de reclutas al estado virgen ($Rv = N_{1eq}$) se obtuvo con la ecuación [8]:

$$Rv = \frac{BTV}{\sum_{t=1}^{6+} \bar{W}_t^0 * n_t} \quad [8]$$

tomando como pesos medios por edad a inicios del año (\bar{W}_t^0) los correspondientes a enero de 2023.

La abundancia de los restantes grupos de edad en la población virgen ($N_{t>1,eq}$) resultó de calcular $N_{t,eq} = Rv * n_t$.

La biomasa reproductiva virgen (BRV) a mediados de octubre se obtuvo a partir de la ecuación [9]:

$$BRV = \sum_{t=1}^{6+} \bar{W}'_t * m_t * N_{t,eq} * \exp \left(-\frac{9,5}{12} * M \right) \quad [9]$$

donde: \bar{W}'_t es el peso de los ejemplares de cada edad al 15 de octubre de cada año, y m_t es la proporción de ejemplares maduros.

Dinámica del recurso

La tasa de mortalidad natural $M = 1,01$ fue constante para todos los años y todas las edades (Hansen 2011). Por otro lado, la tasa de mortalidad por pesca se consideró separable en dos componentes a estimar por el modelo: un factor para cada año del periodo del diagnóstico (F_y), y una componente dependiente de la edad (factor de explotación, S_t), que se asumió constante en todo el periodo. Los desembarques teóricos por grupo de edad de cada año se calcularon mediante una ecuación (Mertz y Myers 1996) que permitió reflejar el conocido desplazamiento de los pulsos de pesca hacia el final del año.

Edades 2 a 6+ (1991 – 2023)

El número de ejemplares de los grupos de edad mayores que 1 al inicio de cada año entre 1991 y 2023 se calculó mediante la ecuación [7] de Mertz y Myers (1996):



$$N_{t,y} = [N_{t-1,y-1} - \hat{C}_{t-1,y-1} * \gamma(M)_{y-1} * \exp(M)] * \exp(-M) \quad 2 \leq t < 6+ \quad [10]$$

$$N_{6+,y} = [N_{5,y-1} - \hat{C}_{5,y-1} * \gamma(M)_{y-1} * \exp(M)] * \exp(-M) \quad \text{Si } t = 6+ \\ + [N_{6+,y-1} - \hat{C}_{6+,y-1} * \gamma(M)_{y-1} * \exp(M)] * \exp(-M)$$

donde $\gamma(M)_y$ es un parámetro anual de estacionalidad, considerado constante para todos los grupos de edad e incorporado como dato de ingreso de la misma forma que la tasa M .

Los valores teóricos de desembarques anuales por edad [11], en millones de individuos, fueron:

$$\hat{C}_{t,y} = N_{t,y} * [\exp(-M) - \exp(-M - F_y * S_t)] / \gamma(M)_y \quad [11]$$

Las estimaciones de las componentes anuales F_y de la tasa de mortalidad por pesca se limitaron al rango de 0,001 a 0,09, y se efectuaron en la primera fase de minimización de la función objetivo; para calcular los elementos edad – específicos (S_t) del patrón de explotación de 1990 a 2023 se procedió de la siguiente manera: (a) se limitó al intervalo entre 0,5 y 4 años la estimación del parámetro t_{50} , la edad cuyo factor de explotación sería la mitad del correspondiente al grupo totalmente reclutado a la pesquería; (b) se limitó al intervalo 0,5 – 2,5 años la estimación de la diferencia $t_{95} - t_{50}$; y (c) se consideró al grupo de edad 5 como totalmente reclutado (es decir, $S_5 = 1$). El factor correspondiente a la edad 6+ (S_{6+}) se estimó como parámetro independiente, con límites en 0,01 y 1,00, lo que permite que la curva de explotación tenga un aspecto acampanado o asintótico (SEDAR 2013). Así, entre las edades 1 y 4 se ajustó una función logística equivalente a la empleada por Arteaga y Cubillos (2008):

$$S_t = \frac{1}{\{1 + \exp[-\ln(19) * (t - t_{50})]\}} \quad [12]$$

Las proporciones teóricas por edad [13] se obtuvieron a partir de las predicciones de los desembarques anuales en millones de ejemplares por grupo de edad, calculadas según la ecuación 10.

$$\hat{p}_{t,y} = \frac{\hat{C}_{t,y}}{\sum_{t=1}^{6+} \hat{C}_{t,y}} \quad [13]$$

Además, la suma producto de las predicciones mencionadas con los pesos medios observados por edad en los desembarques comerciales $\bar{w}_{t,y}^c$, permitió obtener los valores de los desembarques totales en toneladas:

$$\hat{Y}_y = \sum_{t=1}^{6+} (\hat{C}_{t,y} * \bar{W}_{t,y}^c) \quad [14]$$

Otros valores estimados

Además, se estimaron: a) la biomasa poblacional total a inicios del último año con pesca (\hat{B}_{2023}^0), porque se utilizó luego como punto de partida para realizar las proyecciones y analizar los riesgos asociados a distintas intensidades de explotación [15]; y b) la biomasa al 15 de octubre de cada año (\hat{B}_t), porque su comparación con estimaciones acústicas integró la función objetivo [16]. En el cálculo de



estos valores, intervinieron las cantidades teóricas de ejemplares por edad en el mar y sus pesos medios en el *stock* en los correspondientes momentos del año:

$$\hat{B}_{2023}^0 = \sum_{t=1}^{6+} (\bar{W}_{t,2022}^0 * N_{t,2023}) \quad [15]$$

$$\hat{B}_y = \sum_{t=1}^{6+} (\bar{W}'_{t,y} * N'_{t,y}) \quad [16]$$

donde $\bar{W}'_{t,y}$ corresponde a los pesos a mediados de octubre, y $N'_{t,y}$ a los ejemplares sobrevivientes al 15 de octubre de cada año, que se predijeron mediante un procedimiento análogo al de Pope (1972): los desembarques teóricos por edad $\hat{C}_{i,t,y}$ durante los dos primeros cuatrimestres se asumieron cobrados instantáneamente a mediados de los mismos; en cambio, se asumió que, a un mes y medio del comienzo del último tercio del año (esto es, al 15 de octubre), sólo se habría extraído la mitad de los desembarques predichos para ese cuatrimestre y que durante los periodos previos a cada pulso de remoción, habría actuado exclusivamente la mortalidad natural. Para la obtención de esos números de interés se aplicó la siguiente expresión:

$$N'_{t,y} = \left\{ \left[N_{t,y} * \exp\left(-M * \frac{2}{12}\right) - \hat{C}_{1,t,y} \right] * \exp\left(-M * \frac{4}{12}\right) - \hat{C}_{2,t,y} \right\} * \exp\left(-M * \frac{3,5}{12}\right) - \frac{\hat{C}_{3,t,y}}{2} \quad [17]$$

los valores $\hat{C}_{i,t,y}$ se obtuvieron de multiplicar las predicciones de desembarques anuales por edad (ecuación [11]) por las proporciones de las mismas observadas en cada cuatrimestre (Tabla 2).

Otra estimación de interés, puesto que su comparación con observaciones de campañas efectuadas mediante el método de producción diaria de huevos (MPDH) también integró la función objetivo, fue la abundancia anual de reproductores en el pico de la actividad sexual (15 de octubre, \widehat{BR}_y). La biomasa se logró multiplicando cada término del segundo miembro de la ecuación [16] por la proporción (m_t), constante entre años, de ejemplares maduros por grupo de edad:

$$\widehat{BR}_y = \sum_{t=1}^{6+} (\bar{W}'_{t,y} * N'_{t,y} * m_t) \quad [18]$$

C. Funciones de verosimilitud

El modelo se ajustó con la información de los rendimientos totales anuales, la composición por edad de la pesca comercial (proporciones de ejemplares de los distintos grupos de edad desembarcados cada año), y las estimaciones directas de biomasa, definiendo una función objetivo, a ser minimizada por el ADMB, que fue la suma de cinco términos: L1 a L5. Según el modelo, los errores de la captura desembarcada respondieron a una distribución normal, mientras que la distribución de la composición por edades ajustada de los datos de pesca se asumió multinomial. A su vez, se supuso que las distribuciones de las estimaciones de biomasa total y de reproductores fuera log-normal.

L1: Rendimientos totales anuales

$$-L1 = \frac{\sum_{y=1990}^{2023} \left(\frac{Y_y - \hat{Y}_y}{\hat{Y}_y} \right)^2}{2 * \sigma_Y^2} \quad [19]$$



L2: Composición por edad de los desembarques

$$-L2 = \sum_{y=1990}^{2023} \sum_{t=1}^{6+} p_{t,y} * \ln \left(\frac{\hat{p}_{t,y}}{p_{t,y}} \right) \quad [20]$$

L3: Biomosas totales estimadas por métodos acústicos

$$-L3 = \frac{\sum_{y=1990}^{2023} [\ln(B_y) - \ln(\hat{B}_y)]^2}{2 * \sigma_B^2} \quad [21]$$

L4: Biomosas de reproductores estimadas por el método de producción diaria de huevos

$$-L4 = \frac{\sum_{y=1990}^{2023} [\ln(BR_y) - \ln(\hat{BR}_y)]^2}{2 * \sigma_{BR}^2} \quad [22]$$

L5: Parámetro τ ("tau")

$$-L5 = \frac{(\hat{\tau} - 0,77)^2}{2 * \sigma_{\tau}^2} \quad [23]$$

L1: como aproximación de la desviación estándar σ_Y (ecuación [19]), se usó el coeficiente de variabilidad de los valores observados de rendimiento (Tabla 1, $CV_Y = 0,592$).

L2: Dado que las observaciones de edad a partir del año 2001 merecen mayor confianza que las anteriores (Orlando et al., 2016), las diferencias anuales entre las proporciones de captura desembarcada por edad fueron ponderadas por un factor g_y calculado como:

$$g_y = Y * \frac{g'_y}{\sum_{y=1990}^{2023} g'_y} \quad \begin{array}{l} g'_y = 1 \text{ para } y = 1990, 1991, \dots, 2000; \\ g'_y = 9 \text{ para } y = 2001, 2002, \dots, 2023; \\ y = 34 \text{ (número de años)} \end{array} \quad [24]$$

L3 y L4: los coeficientes de variabilidad aritméticos, tanto de las estimaciones acústicas de biomasa (Tabla 5, $CV_B = 0,469$) como de las estimaciones por el MPDH (Tabla 5, $CV_{BR} = 0,460$), se tomaron como base para aproximar la desviación estándar σ_B en escala logarítmica [25] (Sampson y Yin, 1998):

$$\sigma_B = \sqrt{\ln(1 + CV_B^2)} \quad [25]$$



D. Confiabilidad de las estimaciones

Se generaron, para algunos de los parámetros del modelo, perfiles de verosimilitud de las estimaciones y se aproximaron las distribuciones posteriores bayesianas, usando el procedimiento de cadenas de Markov mediante la técnica de Montecarlo (MCMC). Fueron efectuadas 2,5 millones de simulaciones, almacenándose una de cada 200 para evaluar la trayectoria de las estimaciones. Los parámetros de estos procedimientos fueron: α y β de la función *stock* – recluta, la edad t_{50} del factor de explotación y la biomasa del último año con pesca.

E. Puntos Biológicos de Referencia

Fueron determinados puntos biológicos de referencia formales sobre la base de la biomasa de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores (BR_{2+}). Con este fin se realizó un análisis de biomasa reproductiva por recluta BR/R (Goodyear 1993), en el cual las proporciones de sobrevivientes de los grupos de edad superiores a 1 al comienzo de cada año se calcularon con la fórmula [9]; las capturas desembarcadas por edad con la [10]; y el aporte de cada grupo a la biomasa reproductiva en octubre con las ecuaciones [16] y [17]. Se ingresaron las medias históricas de dichas cantidades en las expresiones que involucraron los reclutamientos, el parámetro $\gamma(M)$ y o las proporciones por cuatrimestre en las capturas desembarcadas.

Se obtuvieron, a partir de magnitudes crecientes de la tasa de mortalidad pesquera, valores de:

- Biomasa por recluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores, igual a 66% de la generada en ausencia de pesca $[BR_{2+}/R]_{F66}$, que resulta de aplicar una tasa $F_{ref}=F_{66}$, tal que $[BR/R]_{F_{ref}}/[BR/R]_{F=0} = 0,66$.
- Biomasa por recluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores igual a 40% de la generada en ausencia de pesca. Este valor, designado como $[BR_{2+}/R]_{F40}$, surgiría de aplicar una $F_{ref}=F_{40}$, tal que $[BR/R]_{F_{ref}}/[BR/R]_{F=0} = 0,40$.
- Biomasa absoluta de reproductores de los grupos de edad 2 y mayores (BR_{2+}) asumiendo que se aplica la tasa F_{66} , puede denominarse simplemente BR_{66} , y se escogió como **Punto de Referencia Objetivo** para esta población.
- Biomasa absoluta de reproductores BR_{2+} , si se asume que se aplica la tasa F_{40} . Dicho nivel de *stock* parental, BR_{40} , se adoptó como **Punto de Referencia Límite**.
- Biomasa absoluta de reproductores BR_{2+} generada por la tasa F_{75} , tal que $[BR/R]_{F_{ref}}/[BR/R]_{F=0} = 0,75$. Este valor, que ha sido sugerido por el Marine Stewardship Council (Agnew et al. 2014) como punto de referencia objetivo para las especies clave de bajo nivel trófico como lo es la anchoíta, será implementado en los próximos años en los estándares a ser cumplidos para la certificación de estas especies (Atcheson y Takada, 2021).

Se considera la biomasa de reproductores sólo de las edades de 2 años y mayores porque el factor de explotación del grupo de edad 1 se estima en un valor muy bajo. Si este grupo se incluyera en el análisis, aun aplicando tasas de mortalidad pesquera muy grandes, la BR/R no se reduciría a menos del 50% del valor virginal.

Proyecciones

Luego del diagnóstico del *stock*, y una vez establecidos los Puntos Biológicos de Referencia, se realizaron simulaciones en las que la evolución poblacional a futuro resultó de experimentar magnitudes crecientes de mortalidad por pesca, $F=0$ y los valores F_{75} , F_{66} y F_{40} determinados mediante el análisis de biomasa reproductiva por recluta. Los valores de F se mantuvieron constantes durante un periodo de proyección de 16 años (2024-2040), modelándose una pesquería estacional a partir de las estimaciones



del modelo estadístico referidas a comienzos del año 2023: número de ejemplares por edad $N_{t,2023}$ ($t = 1, 2, \dots, 6+$) y sus coeficientes de variación; y la biomasa total y su desviación estándar. Se promediaron, para cada valor de F probado, los resultados anuales de 10.000 simulaciones (j) de las cantidades de interés que se enumeran a continuación: rendimiento, abundancia de reproductores (BR_{2+}) y el riesgo de que esta fuera inferior al nivel límite, BR_{40} .

En cada simulación se procedió de la manera siguiente:

1) De una distribución normal con media = \hat{B}_{2023}^0 y desvío = $S_{\hat{B}_{2023}^0}$ se extrajo un valor aleatorio de biomasa inicial ($B_{aleat,j}$).

2) La fuerza relativa de las distintas clases anuales presentes a inicios del año 2023 se estimó generando, para cada grupo de edad, un número aleatorio $N_{t,j}$ de distribución log-normal. Esta tuvo a $\ln(N_{t,2023})$ como media, y a σ_t como desvío en escala logarítmica, que fue aproximado a partir de los valores $CV_{N_{t,2023}}$ y una expresión equivalente a la ecuación [25].

3) Se estimó la biomasa teórica ($B_{2023,j}^*$) de esta población al 1° de enero de 2023 efectuando:

$$B_{2023,j}^* = \sum_{t=1}^{6+} N_{t,j}^* * \bar{w}_{t,2023}^0 \quad [26]$$

4) Con estos valores se generaron nuevas cantidades de ejemplares al inicio del último año con pesca ($N_{t,2023,j}$), expandiendo por edad la proporción en peso de los números aleatoriamente generados al valor de la biomasa simulada por azar e independientemente:

$$N_{t,2023,j} = \frac{N_{t,j}^* * B_{aleat,j}}{B_{2023,j}^*} \quad [27]$$

5) Se calculó la tasa de mortalidad $F_{2023,j}$ que habría rendido, a partir de estos números por edad, las capturas desembarcadas que efectivamente se registraron ese año.

6) Se generaron reclutamientos ($N_{1,y,j}$) para los años 2024 a 2040 asumiendo una distribución log-normal con los siguientes parámetros: media igual al promedio de los logaritmos de los reclutamientos de los últimos once años por el modelo estadístico, y desviación estándar de dichos logaritmos, esto es:

$$\overline{\ln \hat{N}_1} = \frac{\sum_{y=2013}^{2023} \ln(N_{1,y})}{11} \quad [28]$$

$$\sigma_{\ln N1} = \sqrt{\frac{(\sum \ln N_{1,y} - \overline{\ln N1})^2}{11 - 1}} \quad \text{para } y = 2013, 2012, \dots, 2023 \quad [29]$$

7) De la misma manera, se generaron valores anuales aleatorios, normalmente distribuidos, del parámetro $\gamma((M = 1,01)_{y,j})$, sobre la base de la media y desviación estándar observadas en todo el periodo de diagnóstico. Las proporciones cuatrimestrales en los desembarques futuros se calcularon a partir de las relaciones registradas entre ambas variables durante el periodo.

8) Las cantidades restantes que describen la dinámica y la pesca del recurso (número de ejemplares de edad $t > 1$ al comienzo de cada año, biomasa total y de reproductores en octubre, y rendimientos) se calcularon empleando las ecuaciones equivalentes a las empleadas en el modelo de capturas por edad.

Resultados y Discusión

Diagnóstico

En el periodo 1990 – 2023 los rendimientos medios de anchoíta bonaerense fueron de aproximadamente 17.000 t, y representaron una fracción mínima de las estimaciones de abundancia disponibles. Los desembarques del último año del periodo alcanzaron unas 5.400 t. Como usualmente sucede, la pesca fue estacional, con máximos de capturas desembarcadas en el último tercio del año. El 77% de los desembarques ocurrieron en el tercer cuatrimestre del año, el 22% en el segundo cuatrimestre y el pequeño porcentaje restante tuvo lugar en el primero (Spath et al. 2024).

Hubo un buen ajuste del modelo estadístico a los rendimientos totales, que seguramente son las observaciones con mayor certidumbre acerca de la pesquería (Figura 2), ya que los estudios sobre el descarte son escasos (Garcarena 2022). Resultados de embarques de Asistentes de Investigación Pesquera del INIDEP a bordo de buques fresqueros que pescaron anchoíta en 2022 y 2023 dan cuenta que el descarte de la especie fue muy bajo, del 5 y 3% respectivamente (Garcarena 2024).

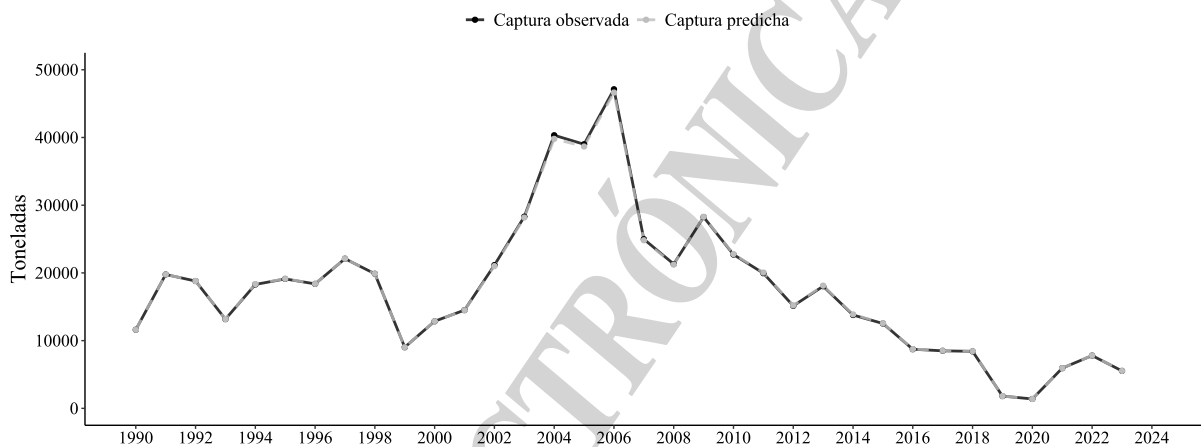
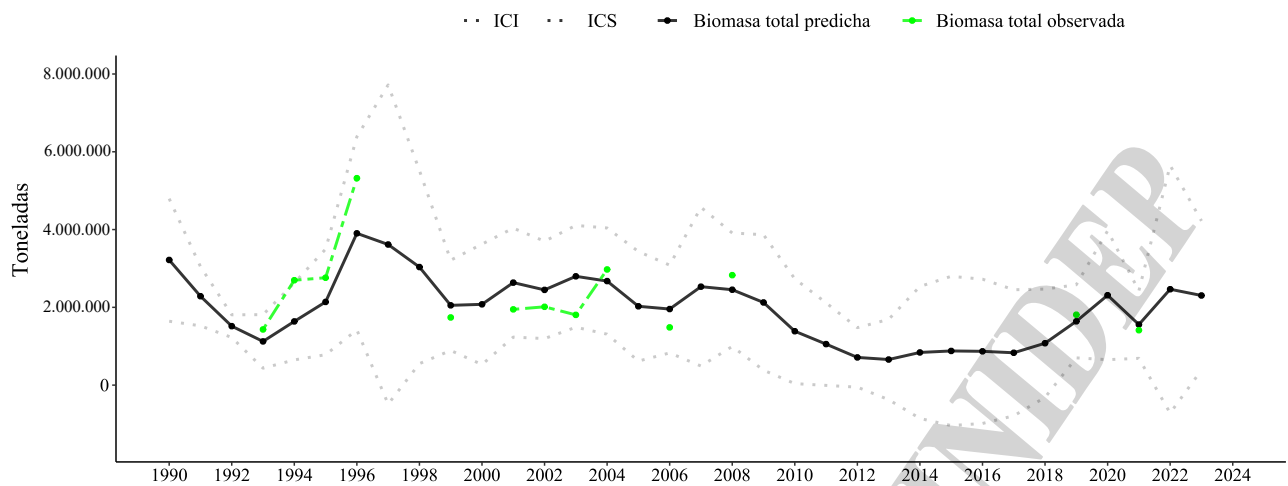


Figura 2. Capturas totales anuales de anchoíta bonaerense (líneas y círculos negros) y estimaciones de los mismos por el modelo estadístico ajustado (líneas y círculos grises).

Las biomásas estimadas en las campañas de investigación no fueron replicadas exactamente por el modelo de evaluación planteado a excepción de los dos últimos años (2019 y 2021), cuando los valores fueron muy similares (Figura 3A). La realización de las campañas de investigación en los años 2019 y 2021 posibilitó la actualización del índice de abundancia relativa, al cual ajustó de manera razonable el modelo. Los valores de biomasa de reproductores también registraron diferencias con las biomásas de reproductores resultantes del método de producción de huevos, aunque en menor medida (Figura 3B).



A



B

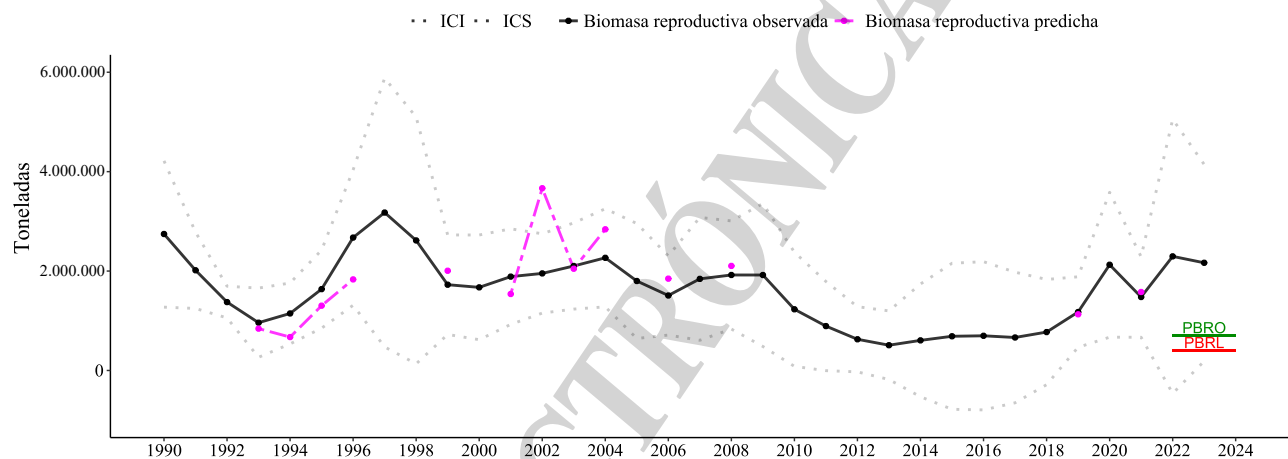


Figura 3. Estimaciones del modelo de A) la biomasa total en toneladas de anchoíta bonaerense a mediados de octubre, con sus intervalos de confianza, comparadas con las evaluaciones acústicas utilizadas en el ajuste, y B) de la biomasa de reproductores, con sus intervalos de confianza, cotejadas con las observaciones del método de producción diaria de huevos (MDPH).

Las discrepancias encontradas en las proporciones de captura desembarcada por edad (Figura 4) pueden considerarse relativamente modestas, además de esperables, porque a efectos de no sobreparametrizar el modelo, se consideró un patrón de explotación constante durante todo el periodo de análisis, que es un supuesto fuerte para la pesca estacional de un recurso como la anchoíta.

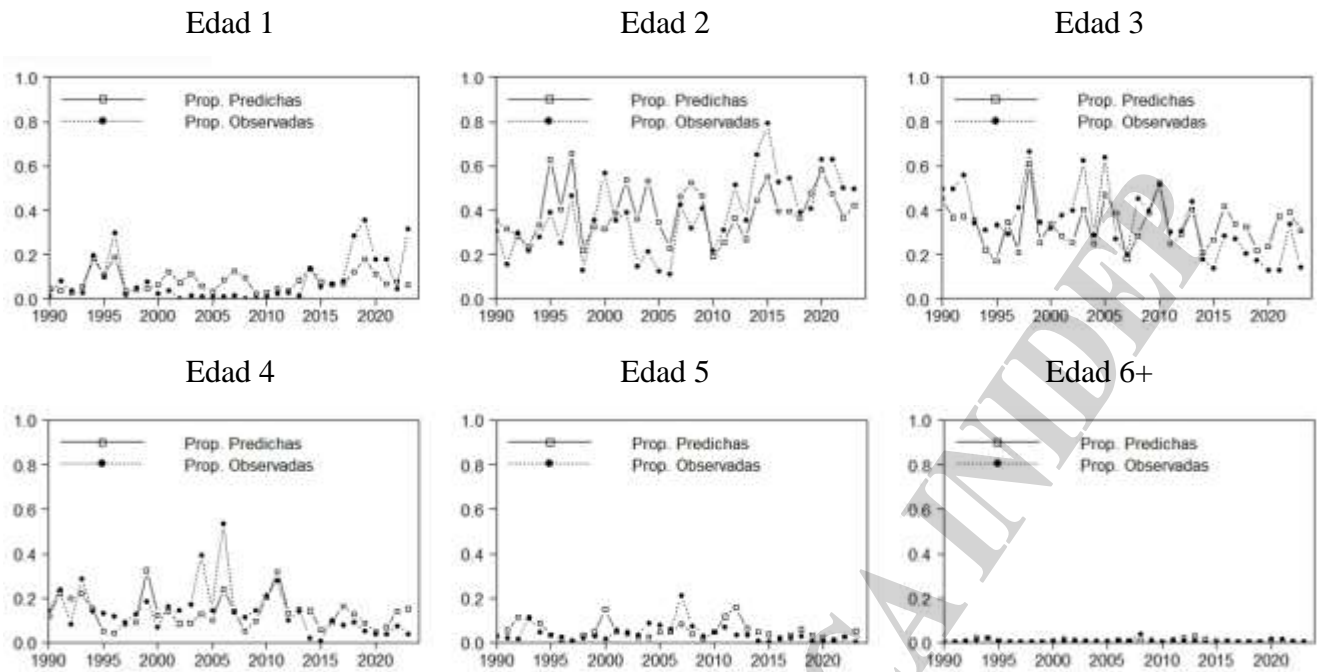


Figura 4. Capturas desembarcadas por edad, como proporciones de los totales anuales (línea punteada, círculos llenos) y estimaciones del modelo estadístico (línea oscura, cuadrados vacíos).

Los parámetros estimados de mayor relevancia y sus correspondientes desvíos estándar se pueden observar en la Tabla 6: la proporción τ (“tau”) relacionada con la curva *stock* - recluta; la biomasa total virgen (*BTV*); el número de reclutas de edad 1 en 1990 ($N_{1,1990} = Rv$); y las componentes anuales F_y de las tasas de mortalidad pesquera del periodo 1990 – 2023. Quizás los resultados más destacables sean las bajas magnitudes de F_y (promedio = 0,024), muy inferiores a la tasa $M = 1,01$, confirmando que el *stock* se encuentra sub-explotado.

Tabla 6. Estimaciones de los parámetros y sus desvíos estándar.

Parámetro	Estimado	Desvío estándar	Parámetro	Estimado	Desvío estándar
$\ln \tau$ (“tau”)	-0,26	0,13	F_{2006}	0,0565	0,039
$\ln BTV$	14,9	0,15	F_{2007}	0,0326	0,023
$\ln N_{1,1990} (Rv)$	12,3	2,5	F_{2008}	0,0204	0,015
F_{1990}	0,0070	0,025	F_{2009}	0,0247	0,017
F_{1991}	0,0150	0,040	F_{2010}	0,0254	0,019
F_{1992}	0,0195	0,036	F_{2011}	0,0356	0,028
F_{1993}	0,0203	0,023	F_{2012}	0,0405	0,032
F_{1994}	0,0378	0,030	F_{2013}	0,0699	0,002
F_{1995}	0,0280	0,021	F_{2014}	0,0620	0,064
F_{1996}	0,0166	0,011	F_{2015}	0,0381	0,051
F_{1997}	0,0136	0,010	F_{2016}	0,0260	0,038
F_{1998}	0,0112	0,009	F_{2017}	0,0260	0,039
F_{1999}	0,0080	0,005	F_{2018}	0,0273	0,006
F_{2000}	0,0139	0,010	F_{2019}	0,0053	0,002
F_{2001}	0,0177	0,013	F_{2020}	0,0022	0,002



F_{2002}	0,0218	0,015	F_{2021}	0,0065	0,005
F_{2003}	0,0255	0,017	F_{2022}	0,0075	0,005
F_{2004}	0,0325	0,022	F_{2023}	0,0056	0,005
F_{2005}	0,0327	0,022			

Los resultados del presente diagnóstico estuvieron comprendidos en el rango de los obtenidos en estudios previos (Orlando et al 2020): la BT_{oct} varió entre 1,0 y 5 millones de toneladas (media = 1,96 millones); y la BR_{oct} durante esa estación fluctuó entre 0,78 y 3,68 millones de toneladas (media = 1,6 millones). Aplicando el patrón de explotación determinado por el modelo, la biomasa explotable estimada promedió unas 700 mil toneladas. La estimación de la $BT_{oct,2023}$, fue de 2.300.000 toneladas; mientras que la de la $BR_{oct,2023}$ fue de 2.100.000 toneladas.

La BRV , las constantes de la función *stock* – recluta, estuvieron también en el rango de los valores estimados años previos (Orlando et al 2020) y los factores de explotación específicos por edad. También se listan variables de interés calculadas a partir de la estimación de los parámetros como son la $BT_{oct,2023}$, la $BR_{oct,2023}$ y los números de ejemplares por grupo de edad al 1° de enero de 2023, utilizadas como punto de partida para las proyecciones (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros y variables de interés estimadas por el modelo.

Parámetro	Valor	D. est.	Parámetro	Valor	D. est.	Parámetro	Valor	D. est.
BRV	2.700.000	0,17	S_3	0,95	0,069	$N_{4,2023}$	13.403	0,56
$Alfa (\alpha)$	0,424	0,08	S_4	1,00	0,0043	$N_{5,2023}$	4.605	0,92
$Beta (\beta)$	6,93E-07	1,31E-07	$N_{1,2023}$	196.560	4,02	$N_{6,2023}$	1092	1,11
S_1	0,03	0,016	$N_{2,2023}$	88.706	0,83	$BT_{oct,2023}$	2.300.400	0,42
S_2	0,42	0,169	$N_{3,2023}$	28.678	0,71	$BR_{oct,2023}$	2.166.000	0,46

En 2019 y 2021 se realizaron las campañas de evaluación directa de la abundancia de anchoíta del efectivo norteño por el método hidroacústico (Buratti et al 2019 y 2021), que permitieron una mejor calibración del modelo de evaluación. El mismo posee, de este modo, dos puntos de ajuste hacia el final del periodo de evaluación, que reducen así la incertidumbre asociada a la falta de estimaciones puntuales de abundancia durante una década.

La dispersión de los reclutamientos estimados se observa en la Figura 5 A. Se evidencia que los últimos reclutamientos se encuentran dentro de los valores medios observados históricamente (Figura 5B).

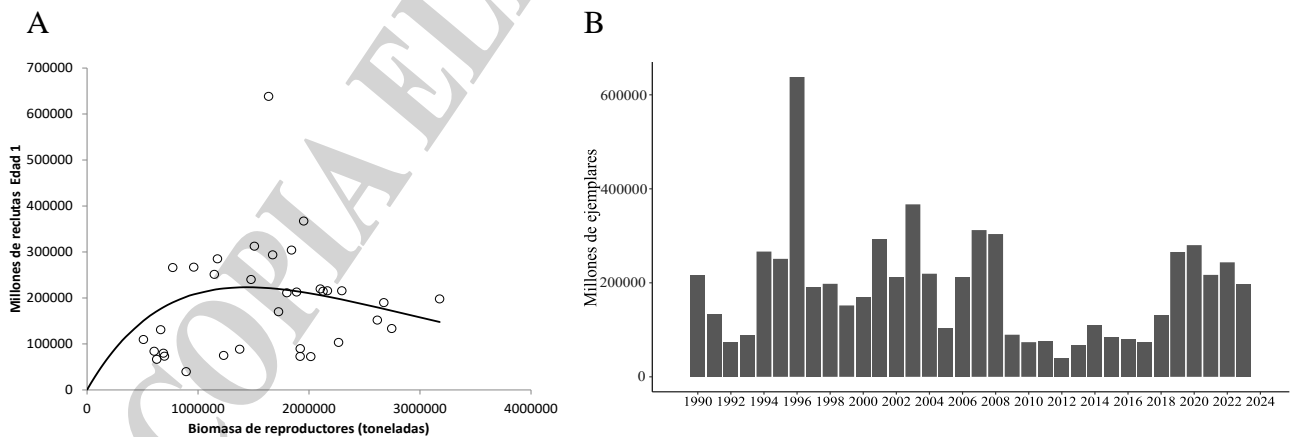


Figura 5. Reclutamiento anual a la edad 1 (en millones de ejemplares), estimado mediante el modelo estadístico, A) en relación con la biomasa de reproductores del año previo mostrando la curva de Ricker ajustada, y B) según el año de incorporación a la población.

Confiabilidad de las estimaciones

Los perfiles de verosimilitud, así como las aproximaciones normales de los parámetros: τ , α y β de la función *stock* – recluta y la edad t_{50} del factor de explotación del modelo, mostraron similitudes con las distribuciones posteriores aproximadas por el procedimiento MCMC (Figura 6). El caso contrario podría indicar que una u otra de las estimaciones fueran inadecuadas (Fournier 2011).

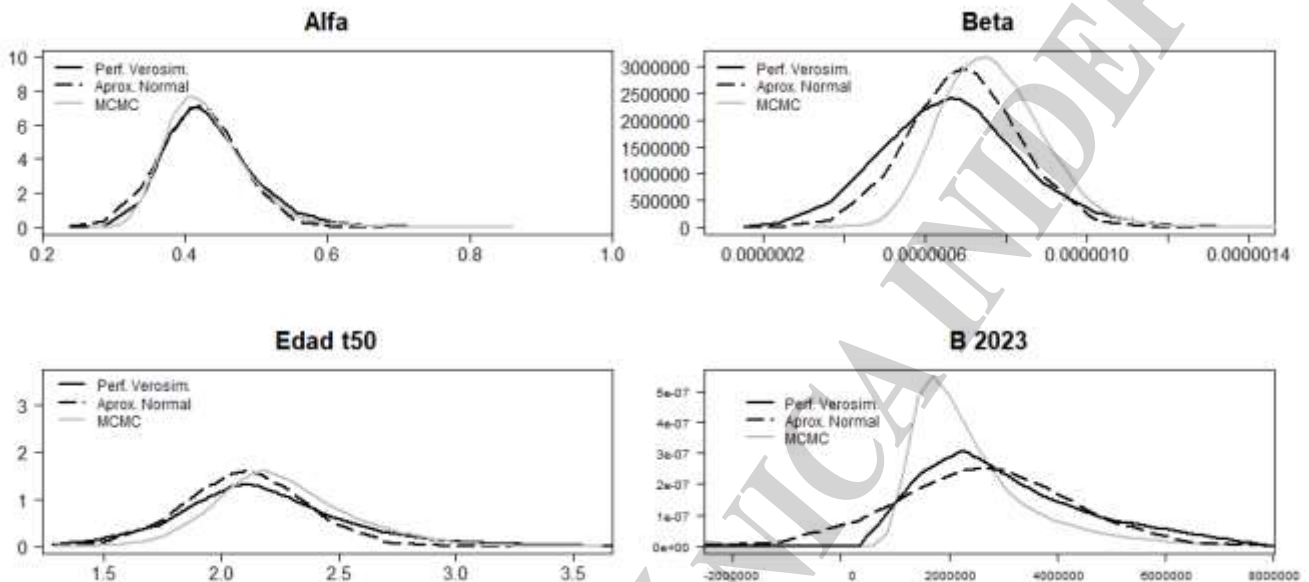


Figura 6. Perfiles de verosimilitud, aproximaciones normales y aproximaciones por MCMC a las distribuciones posteriores de las estimaciones de los parámetros del modelo: constantes de la función *stock*-recluta, edad (t_{50}) y la biomasa total presente a inicios del último año con pesca (2023).

Puntos biológicos de referencia y proyecciones

Mediante el análisis respectivo se estimó que, en ausencia de pesca, la BR_{2+} , generada por cada recluta a la edad 1, sería $[BR/R]_{F=0} = 5,99$ gr. El 66% de este valor sobreviviría al aplicarse la $F_{66} = 0,62$; y el 40% si la tasa fuera $F_{40} = 2$. La BR_{2+} asumiendo biomasa reproductiva por recluta sobreviviente a la tasa F_{66} y que el promedio actual de reclutamiento fuera igual a la estimación del modelo estadístico de los últimos diez años (189.000 millones de ejemplares), constituiría el Punto Biológico de Referencia Objetivo $BR_{66} = 746.000$ t deseable para esta población. En las mismas condiciones de reclutamientos, la biomasa que corresponde al Punto Biológico de Referencia Límite se calculó en 456.000 t. El valor de biomasa de reproductores correspondiente a aplicar la tasa F_{75} fue de 860.000 toneladas. La biomasa de reproductores de dos y más años en la última temporada reproductiva ($BR_{2+,2023}$) ha sido estimada en 930.000 t, lejos del nivel límite.

Los puntos de referencia indicados se analizaron en el contexto de una Regla de Control de Capturas similar a las empleadas en otras pesquerías (Berger et al. 2012, Giussi et al. 2017). La Regla de Control propuesta para la pesquería de anchoíta bonaerense (Hansen et al. 2012) consiste en determinar la máxima tasa de mortalidad pesquera para el año inmediato (F_{final}) en función de los valores obtenidos como Puntos Biológicos de Referencia, según los siguientes condicionales:



$$F_{Obj} = 0; \quad \text{si } BR_{actual} \leq BR_{40}$$

$$F_{Obj} = F_{66}; \quad \text{si } BR_{actual} \geq BR_{66}$$

$$F_{Obj} = F_{66} * [(BR_{actual} / BR_{40}) - 1]; \quad BR_{66} \geq BR_{actual} \geq BR_{40}$$

Adicionalmente, la Regla de Control de Capturas propone que la F_{Obj} resultante fuera adoptada sólo si causara un riesgo menor o igual al 10% de que la biomasa de reproductores (BR_{2+}) en el primer año proyectado fuera inferior al valor límite BR_{40} . De lo contrario, se determinaría la mayor tasa (F_{seg}) que no provocase ese efecto:

$$F_{final} = F_{Obj}; \quad \text{si } F_{Obj} \Rightarrow (\text{Riesgo } BR_{2+,y+1} < BR_{40}) \leq 0,10$$

$$F_{final} = F_{seg}; \quad \text{si } F_{Obj} \Rightarrow (\text{Riesgo } BR_{2+,y+1} < BR_{40}) > 0,10$$

En definitiva, la recomendación biológica de la captura biológicamente aceptable sería el rendimiento predicho al actuar esa tasa final sobre el *stock* presente a inicios del año al cual se refiere la recomendación, esto es: $CBA_{y+1} = Y[(F_{final}; B_{y+1})]$.

Dado que la biomasa de reproductores de dos y más años en la última temporada reproductiva ($BR_{2+,2023}$) se situó por encima del nivel objetivo, podría aceptarse $F_{Obj} = F_{66} = 0,62$. Los resultados de las proyecciones en que se incorporó incertidumbre (acerca de la biomasa actual, de su composición por grupos de edad, de los reclutamientos futuros y de la estacionalidad de la explotación), sugirieron que aplicando esa tasa se podrían capturar unas 255.000 t durante el año próximo, con un riesgo igual al 10% de que la biomasa reproductiva en el año próximo ($BR_{2+,y+1}$) se sitúe por debajo del nivel límite $BR_{40} = 456.000$ t (Figura 7).

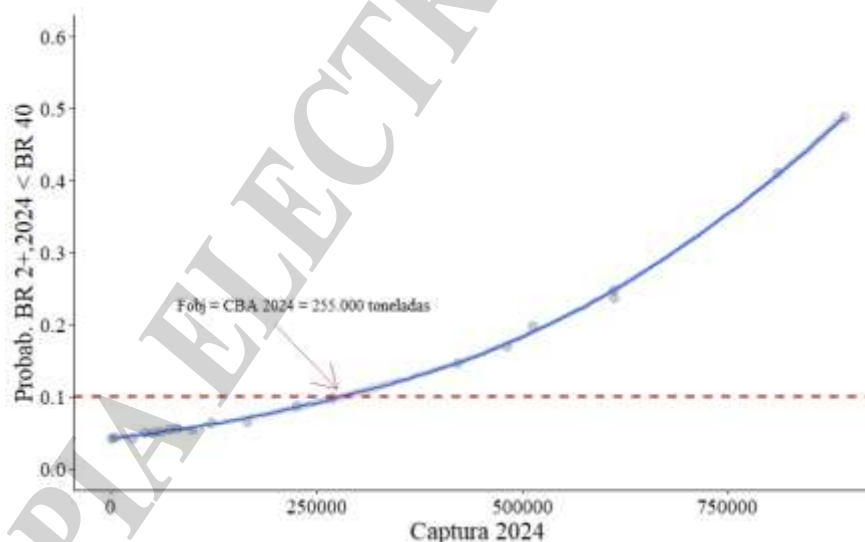


Figura 7. Proyecciones: curva de riesgo en función de las capturas en el año 2024 (señaladas sobre abscisas) resultantes de aplicar distintas tasas de mortalidad pesquera. El riesgo es la probabilidad de que la Biomasa de Reproductores en el año ($BR_{2+,2024}$) sea menor que el valor límite BR_{40} . La curva indica los rendimientos teóricos de la tasa F_{66} , causando, en el rango presentado, un riesgo inferior a 10%, motivo por el que pudiera considerarse como tasa F_{final} para recomendar un máximo de captura anual.

Se puede concluir que el efectivo bonaerense de anchoíta se encuentra explotado por debajo de su potencial pesquero (Figura 8), y que puede ser considerada como un recurso excedentario.

Entre los años 2009 y 2018 no se efectuaron campañas de evaluación del efectivo norteño de anchoíta que permitiesen obtener índices de abundancia relativa que permitan un mejor ajuste del modelo de evaluación. Por ello, en el diagrama de Kobe o de fases (Figura 8), puede observarse que la evolución del *stock* tiende hacia el área de sobreexplotación sin sobrepesca.

Como ha sido expuesto en evaluaciones previas, la anchoíta del *stock* norteño o bonaerense constituye un recurso con un potencial de explotación elevado. Sin embargo, dado el importante rol ecológico que desempeña en las tramas tróficas de la región, se sugiere un desarrollo gradual en su explotación en caso de un mayor desarrollo de la actividad pesquera. Por esto, resulta conveniente continuar aplicando un criterio precautorio y mantener la recomendación de captura de anchoíta bonaerense de 120.000 toneladas.

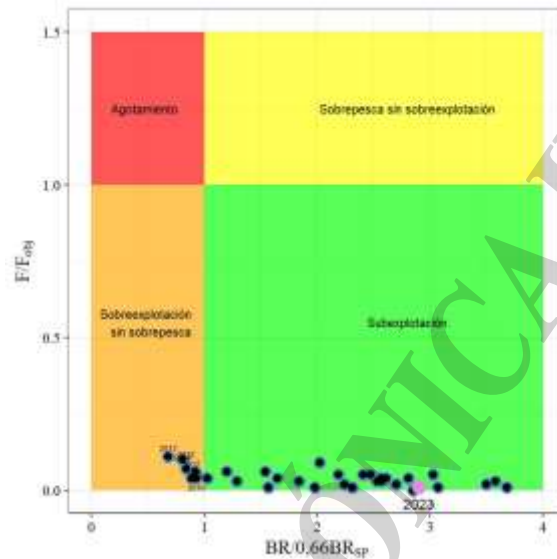


Figura 8. Diagrama de fases que evidencia el estado actual del efectivo norteño de anchoíta en relación al Punto Biológico de Referencia Objetivo, que corresponde al 66% de la *BR*. El punto violeta indica la situación de 2023.

Bibliografía

- Agnew DJ, Gutiérrez NL, Stern-Pirlot A y Hoggarth DD. 2014. The MSC experience: developing an operational certification standard and a market incentive to improve fishery sustainability. *ICES J. of Mari. Sci.* 71(2): 216–225.
- Angelescu V. 1982. Ecología trófica de la anchoíta del Mar Argentino (*Engraulidae*, *Engraulis anchoita*). Parte II. Alimentación, comportamiento y relaciones tróficas en el ecosistema. *Contrib. Inst. Nac. Inves. Desarr. Pesq. (Mar del Plata)*, N° 409, 83 pp.
- Atcheson M. y Takada M. 2021. Key Low Trophic Level Stocks Review Project. Impact Assessment Report. Published by the Marine Stewardship Council [www.msc.org], 8 pages.
- Berger AM, Harley SJ, Pilling GM, Davies N y Hampton J. 2012. Introduction to harvest control rules for WCPO Tuna Fisheries. Conference: Eighth Scientific Committee Meeting for the WCPFC. [\(PDF\) Introduction to harvest control rules for WCPO tuna fisheries \(researchgate.net\)](#)
- Brandhorst W, Castello JP, Cousseau MB y Capezzani DA. 1974. Evaluación de los recursos anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. VIII. Desove, crecimiento, mortalidad y estructura de la población. *Physis, Buenos Aires, Secc. A*, 33(86): 37-58.



- Buratti CC, Orlando P, Castro Machado FJ, Temperoni B, Silva RI, Ascurra M, Cubiella A. 2019. Evaluación del *stock* bonaerense de anchoíta en la primavera de 2019. Inf Camp INIDEP N° 31/2019. 29 p.
- Buratti CC, Orlando P, Menna BV, Castro Machado F, Temperoni B, do Souto Marina, Leonarduzzi E, Padovani LN, Silva RI, Cubiella A y Tolaba CA. 2021. Campaña para la evaluación conjunta argentino – uruguaya del efectivo norteño de anchoíta en la primavera de 2021. Inf Camp INIDEP N° 22/2021. 26 p.
- Ciancio, J.E., Yorio, P., Buratti, C.C., Colombo, G.A., Frere, E., 2021. Isotopic niche plasticity in a marine top predator as indicator of a large marine ecosystem food web status. Ecol. Ind. 126, 107687.
- Ciechomski JD de y Sánchez RP. 1986. Problemática del estudio de huevos y larvas de anchoíta (*Engraulis anchoita*), en relación con la evaluación de sus efectivos pesqueros. Reseña de veinte años de investigación. Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Marít., Montevideo, 1(1): 93 -109.
- Cubillos L. 1994. Estimating the parameters of the stock – recruitment model of Ricker from a yield - per - recruit model in data – limited situations. Fish. Res. 20, 229 - 242.
- Cubillos LA, Hernández A, Sepúlveda y Arcos DF. 2002. Equilibrium yield – curve analysis through an analytic age-structured production model: A sensitivity study for the Chilean jack mackerel fishery. Fish. Res. 54, 395 - 407.
- Czerner M. 2011. Aspectos tecnológicos de la maduración de anchoíta (*Engraulis anchoita*) salada. Efecto de la composición química y otras variables tecnológicas. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata. 248 pp.
- Fournier D. 2011. An Introduction to AD Model Builder for Use in Nonlinear Modeling and Statistics Version 10.0. <http://www.admb-project.org/documentation/manuals>.
- Garciarena AD. 2022. Acerca de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) y la caballa (*Scomber colias*), su descarte y *by-catch*. Inf. de Ases. y Trans. INIDEP N° 29/22, 21 pp.
- Garciarena AD. 2024. Resultados del embarque de asistentes de investigación pesquera a borde de buques fresqueros que pescaron anchoíta (*Engraulis anchoita*) en 2022 y 2023. Inf de Inv. INIDEP N° 026/24, 10 pp.
- Garciarena AD y Buratti CC. 2013. Pesca comercial de anchoíta bonaerense (*Engraulis anchoita*) entre 1993 y 2011. Rev Invest Desarr Pes. 23:87-106.
- Giussi AR, Zavateri A y Orlando P. 2017. Regla de Control de Captura en la Pesquería de Merluza de Cola (*Macruronus magellanicus*) del Atlántico Sudoccidental. Una propuesta. Inf. Investigación INIDEP N° 23/17, 24 pp
- Goodyear CP. 1993. Spawning *stock* biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use. In: S. J. Smith, J. J. Hunt and D. Rivard (ed.) Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 120: 67-81.
- Hansen JE. 1994. Diferencias entre parámetros vitales de las poblaciones bonaerense y patagónica de anchoíta argentina. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 9, 11-24.
- Hansen JE. 2011. Parámetros biológicos relevantes para las pesquerías de anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*). Estimaciones resultantes de reunir datos de campañas de investigación (años 1993 a 2008) y de muestras de capturas comerciales (1986 a 2009). Serie INIDEP Inf. Téc., 82, 18 pp.
- Hansen JE, Garciarena AD y Buratti CC. 2012. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre los años 1990 y 2011, de acuerdo con un modelo estadístico de capturas por edad. Inf. Téc. Of. INIDEP N° 14, 28 pp.



- Hansen JE, Garciarena AD y Buratti CC. 2013. Modelo estadístico de capturas por edad ajustado a datos sobre anchoíta bonaerense entre 1990 y 2012. Inf. Téc. Of. INIDEP N° 15, 29 pp.
- Hansen JE, Garciarena AD, Buratti CC y Orlando P. 2014. Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2013. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2014. Inf. Téc. Of. INIDEP 6, 32 pp.
- Hansen JE, Garciarena AD, Buratti CC y Orlando P. 2015. Dinámica de la población y pesca comercial de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2014. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2015. Inf. Téc. Of. INIDEP 7, 31 pp.
- Hansen JE, Gru DL y Cousseau MB. 1984. Características poblacionales de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) del Mar Argentino. Parte I. El largo medio al primer año de vida, crecimiento y mortalidad. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero 4: 21 - 48.
- Leonarduzzi E, Macchi G, Brown D, Estrada M y Brachetta H. 2023. Estimación de la biomasa reproductiva de anchoíta (*Engraulis anchoita*) patagónica y bonaerense mediante la aplicación del método de producción diaria de huevos, años 2021 y 2021. Inf. Investigación INIDEP N° 061/23, 17 pp.
- Madirolas A, Cabreira A y Hansen JE. 2013. Revisión y síntesis de las estimaciones acústicas de abundancia de anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*) efectuadas entre los años 1993 y 2008. Rev. Invest. y Des. Pesq., Mar del Plata, 23: 35 -48.
- Marinao, C.J., Yorio, P., 2011. Fishery discards and incidental mortality of seabirds attending coastal shrimp trawlers at Isla Escondida, Patagonia, Argentina. Wilson J. Ornith. 123, 4, 709-719.
- Maunder MN y Deriso RB. 2003. Estimation of recruitment in catch-at-age models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 1204–1216.
- Mertz G. y Myers RA. 1996. An extended cohort analysis: incorporating the effect of seasonal catches. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53, 159-163.
- Orlando P, Buratti CC y Garciarena AD. 2016. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2015. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2016. Inf. Téc. Of. INIDEP 19, 29 pp.
- Orlando P, Buratti CC y Garciarena AD. 2017. Anchoíta bonaerense: dinámica poblacional entre 1990 y 2016. Recomendación de captura máxima en el año 2017. Inf. Téc. Of. INIDEP 26, 28 pp.
- Orlando P, Buratti CC y Garciarena AD. 2018. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2017. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2018. Inf. Téc. Of. INIDEP 29, 30 pp.
- Orlando P, Buratti CC y Garciarena AD. 2019. Diagnóstico de la población de anchoíta bonaerense (*Engraulis anchoita*), y estimación de captura biológicamente aceptable durante el año 2019. Inf. Téc. Of. INIDEP 24, 29 pp.
- Pájaro M, Leonarduzzi E, Hansen JE y Macchi GJ. 2011. Analysis of the reproductive potential of two stocks of *Engraulis anchoita* in the Argentine Sea. Ciencias Marinas, 37(4B), 603-618.
- Pájaro M, Hansen JE, y Leonarduzzi E. 2013. Applying the nonparametric bootstrap technique to assess the accuracy of biomass estimations of the Northern stock (34° - 41°S) of Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) by the Daily Egg Production Method. Period 1993-2008. Rev. Invest. y Des. Pesq., Mar del Plata, 23: 69 -86.
- Pope JG. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. 9: 65–74.



- Ratti MM. 1986. Estudio comparativo de caracteres merísticos y morfométricos de la anchoíta (*Engraulis anchoita*). Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 5, 169-182.
- Ricker WE. 1954. Stock and recruitment. J. Fish.Res.Bd. Can., 11: 559-623.
- Sampson DB. y Yin Y. 1998. A Monte Carlo evaluation of the stock synthesis assessment program. *Fishery stock assessment models*, 315-318.
- Spath MC, Garciarena AD, Buratti GE, Orlando P, Buratti CC, Escati Peñaloza G y Verón L. 2024. La pesca de anchoíta (*Engraulis anchoita*) en Argentina y análisis biológico de sus muestras durante 2023. Inf Investigación INIDEP N° XXX/XX, xx pp.
- SEDAR 2013. SEDAR 36 – South Atlantic Snowy Grouper Stock Assessment Report. SEDAR, North Charleston SC. 145 pp.
- Suarez AA., Sanfelice D, Cassini MH, Cappozzo HL. 2005. Composition and seasonal variation in the diet of the South American sea lion (*Otaria flavescens*) from Quequén, Argentina. Lat. J. Aq. Mammals 4(2) 163-174.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP