

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

13^a REUNIÓN

(por videoconferencia)

16-20 de mayo de 2022

DOCUMENTO SAC-13 INF-K

ESTANDARIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE ABUNDANCIA DE CERCO Y COMPOSICIONES POR TALLA ASOCIADAS PARA EL ATÚN BARRILETE EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL

Haikun Xu y Cleridy E. Lennert-Cody

RESUMEN

El personal está usando actualmente una evaluación provisional de la población para evaluar la condición del atún barrilete (SKJ) en el Océano Pacífico oriental (OPO). Esta evaluación requiere índices de abundancia y composiciones por talla del SKJ capturado por la pesquería de cerco. El SKJ en el OPO es capturado principalmente por dos tipos de lances de cerco: lances sobre atunes asociados con objetos flotantes (OBJ) y lances sobre atunes no asociados (NOA). Se ajustaron dos modelos espaciotemporales por separado a los datos de captura y esfuerzo de los lances OBJ y NOA para proporcionar índices de abundancia estandarizados OBJ y NOA para la evaluación provisional de la población. Los modelos espaciotemporales utilizan un enfoque de ponderación por área para calcular los índices de abundancia. Pueden estimar correlaciones espaciales y utilizar esa información para imputar la abundancia de peces en lugares sin pesca según los datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) adyacentes. Además, pueden modelar las diferencias de eficacia pesquera entre los buques de cerco (efectos de buque) y eliminar esta fuente de variabilidad del índice de abundancia estandarizado. También se proporcionan las estimaciones de composición por talla asociadas a los dos índices de abundancia estandarizados. Éstas se calculan ajustando las distribuciones de frecuencia de talla de la muestra utilizando la CPUE estandarizada predicha por los modelos espaciotemporales. Las estimaciones de los índices de abundancia y composiciones por talla se basan en los datos de CPUE y de frecuencia de talla recolectados en el OPO, por lo que representan la tendencia de abundancia y composición por talla de la población de SKJ del OPO entero.

1. ANTECEDENTES

Los índices de abundancia relativa son insumos clave para un modelo de evaluación de poblaciones, ya que informan directamente al modelo sobre cómo cambia la abundancia de la población a lo largo del tiempo (Francis 2011). El SKJ en el OPO es capturado principalmente por dos tipos de lances de cerco: lances sobre atunes asociados con objetos flotantes (OBJ) y lances sobre atunes no asociados (NOA) ([SAC-12-03](#)). En el modelo de evaluación de poblaciones se suele suponer que los índices de abundancia relativa son proporcionales a la abundancia de la población (Maunder y Punt 2004). Idealmente, los índices de abundancia deberían ser calculados usando datos de estudios independientes de las pesquerías, que tienen un diseño de muestreo aleatorio o fijo en el espacio y son recolectados usando el mismo arte y modo de pesca (características operacionales) a través del tiempo para asegurar una capturabilidad y selectividad constantes. Sin embargo, sin embargo, no se dispone de datos de estudios independientes

de las pesquerías para el SKJ en el OPO debido al alto costo y a las dificultades logísticas de implementar un estudio independiente de la pesca en un área tan grande como el OPO. Por lo tanto, los índices de abundancia OBJ y NOA para el SKJ dependen únicamente de los datos de CPUE dependientes de la pesca.

No se dispone de una medida de esfuerzo ideal para utilizar en los índices de abundancia relativa basados en la CPUE para el SKJ en la pesquería cerquera. Los buques que capturan SKJ suelen utilizar ambos tipos de lance y la proporción de cada tipo de lance utilizado puede diferir entre buques y entre años para un buque determinado. En evaluaciones anteriores de SKJ se ha utilizado la captura por día de pesca, pero repartir proporcionalmente los días de pesca a cada tipo de lance se considera poco fiable y, por lo tanto, ya no se realiza. En este análisis, se utiliza el número de lances como medida de esfuerzo. Esto supone que el tamaño de la captura en un lance (por ejemplo, el tamaño del cardumen) cambia en proporción a la abundancia.

Se utiliza un modelo espaciotemporal para estandarizar los datos de CPUE dependientes de la pesca. Los datos de CPUE dependientes de la pesca no se distribuyen aleatoriamente en el espacio. Tienden a concentrarse en áreas donde la abundancia de peces es elevada o las operaciones de pesca son fáciles de realizar (este fenómeno se denomina muestreo preferencial). Por ello, no es raro que los datos de CPUE dependientes de la pesca en un trimestre o incluso en un año no cubran todo el dominio espacial de interés. Partiendo del supuesto de que la CPUE de áreas adyacentes es más similar que la CPUE de áreas separadas por grandes distancias, los modelos espaciotemporales pueden utilizar correlaciones espaciales estimadas para imputar la abundancia de peces en lugares sin pesca tomando prestados datos de CPUE adyacentes (Thorson *et al.* 2020). También se utiliza el modelo espaciotemporal para eliminar el impacto de factores distintos de la abundancia poblacional (por ejemplo, las diferencias de eficacia pesquera por buque) en la CPUE, de modo que los índices de abundancia estandarizados puedan considerarse aproximadamente proporcionales a la abundancia de la población. El presente documento describe la metodología usada para estimar los índices de abundancia OBJ y NOA y las composiciones por talla asociadas para el SKJ en el OPO que se usan en la evaluación provisional de la población (SAC-13-07).

2. DATOS

2.1. Índices de abundancia

Se usan datos por tipo de lance por buque sobre la captura (en toneladas métricas) y el esfuerzo (en número de lances) de buques cerqueros para estimar índices de abundancia estandarizados OBJ y NOA para SKJ en el OPO. Este conjunto de datos abarca el periodo 2000-2021 y tiene una resolución espacial y temporal de 1° x 1° cuadrado y 1 día, respectivamente. Además de la ubicación y el tiempo, el conjunto de datos incluye también un identificador único de buque para cada lance de cerco. Los datos utilizados en este análisis fueron recolectados por observadores del programa de observadores del Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de los Delfines (APICD) o fueron obtenidos de bitácoras de buques. La cobertura por observadores de la pesquería de cerco se ha limitado en gran medida a los buques de clase 6 (capacidad de acarreo > 363 t) y ha sido de, o cerca de, el 100% durante 2000-2021 (Joseph 1994; Scott *et al.* 2016). Se utilizaron datos de bitácora para los viajes de los buques cerqueros grandes para los que no se disponía de datos de observadores y para los viajes de la mayoría de los buques cerqueros de clases 1-5 (≤ 363 t de capacidad de acarreo).

Para la estandarización de la CPUE, se ajustó el modelo espaciotemporal a los datos de captura y esfuerzo de los buques de cerco de clase 6 únicamente. Las principales razones para restringir la fuente de datos a los buques de cerco grandes son: 1) los buques cerqueros de clase 6 tienen una cobertura por observadores más alta que los buques cerqueros de clases 1-5, que no son muestreados por un programa formal de observadores en toda la flota; 2) los buques cerqueros de clase 6 operan en todo el OPO tropical mientras que los buques cerqueros de clases 1-5 operan principalmente en la región costera del OPO

(SAC-08-06a); y, 3) es probable que los buques cerqueros de clase 6 tengan estrategias de pesca diferentes que los buques cerqueros de clases 1-5 (SAC-10 INF-K). También se limitó el dominio espacial de los datos de captura y esfuerzo a solamente el caladero "central" de SKJ (Figura 1), que se define para las pesquerías OBJ y NOA como todos los cuadrados de $1^\circ \times 1^\circ$ en el OPO con al menos 11 y 6 años de datos de CPUE entre 2000-2021, respectivamente.

2.2. Composiciones por talla

Se usan datos por tipo de lance por buque sobre la composición por talla del SKJ capturado por buques de cerco, en combinación con la CPUE estandarizada de VAST, para proporcionar estimaciones de la composición por talla OBJ y NOA asociadas a los índices de abundancia. Los datos de frecuencia de talla abarcan el periodo 2000-2021 y tienen una resolución espacial, temporal y de talla de $5^\circ \times 5^\circ$ cuadrados, 1 mes y 1 cm, respectivamente. Los datos fueron recolectados por el programa de muestreo en puerto de la CIAT. La recolección de datos de muestreo en puerto en 2020 se vio gravemente afectada por la pandemia de COVID-19, particularmente en varios puertos donde se suele descargar gran parte de la captura de patudo (SAC-13 INF-L). La recolección de datos de muestreo en puerto en 2021 también se vio afectada, aunque aún no se ha completado un análisis de la pérdida de datos de muestreo en puerto en 2021.

Las composiciones por talla para los índices de abundancia deben ser ajustados por la CPUE para reflejar las composiciones por talla de la población (Maunder *et al.* 2020). Para la evaluación provisional de la población, se calculan para cada año-trimestre ajustando los datos de frecuencia de talla sin procesar por la CPUE estandarizada en el mismo estrato espaciotemporal para el mismo tipo de lance. El ajuste requiere la conversión de la unidad de captura de peso a número de peces. Esta conversión se aproxima dividiendo la cantidad total de captura entre el peso corporal promedio estimado para el mismo estrato espaciotemporal, que no se observa directamente, sino que se calcula a partir de observaciones de frecuencia de talla sin procesar y de la relación talla-peso utilizada en la evaluación provisional de la población ($peso(kg) = 5.53 \times 10^{-6} \times talla(cm)^{3.336}$). A fin de ser consistentes con los criterios de selección de datos para los índices de abundancia, también se limitó la fuente de datos de composición por talla a los buques de cerco de clase 6 únicamente. Además, en el análisis solo se utilizan las celdas del caladero "central" definido para las que se dispone de datos de composición por talla (es decir, no se utiliza un modelo espaciotemporal para rellenar las áreas sin muestras). El tamaño de la muestra de entrada de los datos de composición por talla se define como el número total de bodegas muestreadas en un año-trimestre.

3. MODELOS ESPACIOTEMPORALES

3.1. Índices de abundancia

Los índices de abundancia para el SKJ en el OPO son estandarizados por un modelo espacial delta generalizado lineal mixto (Thorson y Barnett 2017), que modela por separado la probabilidad de encuentro y la tasa de captura positiva para tratar los datos de tasa de captura con cero inflado. El modelo utiliza las funciones de enlace *logit* y *log* para los predictores lineales de probabilidad de encuentro y tasa de captura positiva, respectivamente. Las formulaciones de los modelos de probabilidad de encuentro y de tasa de captura positiva en VAST incluyen un término de intersección (efecto año-trimestre), un término espacial, un término espaciotemporal y un término de efecto de buque. Los términos espaciales y espaciotemporales se formulan como efectos aleatorios. Se utilizaron 100 (para los lances OBJ) y 50 (para los lances NOA) nudos espaciales para representar los efectos aleatorios espaciales y espaciotemporales, que se supone que están autocorrelacionados en el espacio siguiendo la función de Matérn. El modelo tiene en cuenta las diferencias de eficacia pesquera por buque mediante la inclusión de un término de efecto de buque (estimado en VAST como un efecto aleatorio), que luego se elimina al

predecir la CPUE estandarizada. VAST utiliza un enfoque de ponderación por área para calcular los índices de abundancia estandarizados (ver Xu *et al.* 2019 para más detalles).

La evaluación provisional de la población utiliza el enfoque de "trimestres como años" y considera el periodo comprendido entre 2000 y 2021 (la evaluación comenzó en el último trimestre de 2005). A fin de ser consistentes, los dos modelos espaciotemporales tratan los cuatro trimestres por igual y tienen un intervalo temporal trimestral desde el primer trimestre de 2000 (año 1 del modelo) hasta el último trimestre de 2021 (año 88 del modelo).

4. RESULTADOS

4.1. Índices de abundancia

Los dos índices de abundancia tienen variaciones interanuales similares, pero difieren en las tendencias a largo plazo. El índice de abundancia OBJ para el barrilete no tiene una tendencia notable a largo plazo desde 2000, mientras que el índice de abundancia NOA para el SKJ tiene una tendencia positiva a largo plazo durante ese periodo (Figura 2; Tabla 1).

Según la pesquería OBJ en el OPO, la densidad de SKJ tiene un patrón estacional claro (Figura 3). En el primer trimestre, la mayor densidad de SKJ se encuentra en el área tropical de alta mar (al oeste de 120°O) y en el área costera del sur. En el segundo trimestre, este patrón se mantiene, pero la densidad de SKJ es generalmente menor en todo el OPO. En el tercer trimestre, la densidad de SKJ aumenta en el área tropical costera, pero disminuye en el área sur hasta el nivel más bajo en un año. En el cuarto trimestre, la densidad de SKJ aumenta en gran medida en el área tropical costera, superando a la del resto del OPO. En general, la variabilidad interanual de la densidad de SKJ es mayor en el área costera que en el área de alta mar.

Para la pesquería NOA en el OPO, la densidad de SKJ no parece tener una variación estacional pronunciada (Figura 4). A lo largo del año, la densidad de SKJ es mínima en el área costera al norte de 5°N, máxima en el área tropical de alta mar al oeste de 90°W, y relativamente homogénea en el resto del caladero NOA.

4.2. Composiciones por talla

Tanto los lances OBJ como los NOA capturan SKJ dentro del rango de talla de 25 cm a 75 cm (Figura 5). En comparación con los lances OBJ, los lances NOA capturan una mayor proporción de SKJ grande. Esto podría deberse, al menos en parte, a la diferencia en la distribución espacial de los dos tipos de lance. En general, el SKJ en el área de alta mar es más pequeño que el del área costera (SAC-13 INF-1). El caladero NOA está ubicado al este dentro del OPO, en comparación con el caladero OBJ que se extiende hasta el límite occidental del OPO (Figura 1). Por lo tanto, se espera que los lances NOA capturen proporcionalmente más SKJ grande que los lances OBJ. Los tamaños de muestra para las composiciones por talla OBJ y NOA, cuantificadas como el número de bodegas muestreadas, muestran grandes variaciones interanuales (Figura 6). En general, los tamaños de muestra para los lances OBJ son pronunciadamente mayores que los de los lances NOA, lo que puede deberse a varios factores, incluyendo el mayor número de lances OBJ realizados por la flota en comparación con los lances NOA ([SAC-13-03](#)), y el grado en que la captura NOA puede ser cargada en bodegas que contienen captura de otros tipos de lance (las bodegas con captura de múltiples tipos de lance no son muestreadas por el programa de muestreo en puerto; [Suter 2010](#)).

REFERENCIAS

- Francis, R.I.C.C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **68**(6): 1124-1138.
- Joseph, J. 1994. The tuna - dolphin controversy in the eastern pacific ocean: Biological, economic, and political impacts. *Ocean Development & International Law* **25**(1): 1-30.

Maunder, M.N., and Punt, A.E. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries research* **70**(2-3): 141-159.

Maunder, M.N., Thorson, J.T., Xu, H., Oliveros-Ramos, R., Hoyle, S.D., Tremblay-Boyer, L., Lee, H.H., Kai, M., Chang, S.-K., and Kitakado, T. 2020. The need for spatio-temporal modeling to determine catch-per-unit effort based indices of abundance and associated composition data for inclusion in stock assessment models. *Fisheries Research* **229**: 105594.

Scott, M.D., Lennert-Cody, C.E., Gerrodette, T., Skaug, H.J., Minte-Vera, C.V., Hofmeister, J., Barlow, J., Chivers, S.J., Danil, K., Duffy, L.M., Olson, R.J., Hohn, A.A., Fiedler, P.C., Ballance, L.T., and Forney, K.A. 2016. Data available for assessing dolphin population status

in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter-Amer.Trop. Tuna Comm., Workshop on Methods for Monitoring the Status of Eastern Tropical Pacific Ocean Dolphin Populations: DEK-01 (Available at www.iattc.org/Meetings/Meetings2016/DEL-01/PDFs/English/DEL-01_Data-Available-for-Assessing-Dolphin-Population-Status-in-the-Eastern-Tropical-Pacific-Ocean.pdf).

Thorson, J.T., and Barnett, L.A.K. 2017. Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES Journal of Marine Science* **74**(5): 1311-1321.

Xu, H., Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., and Minte-Vera, C.V. 2019. Spatiotemporal dynamics of the dolphin-associated purse-seine fishery for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Fisheries research* **213**: 121-131.

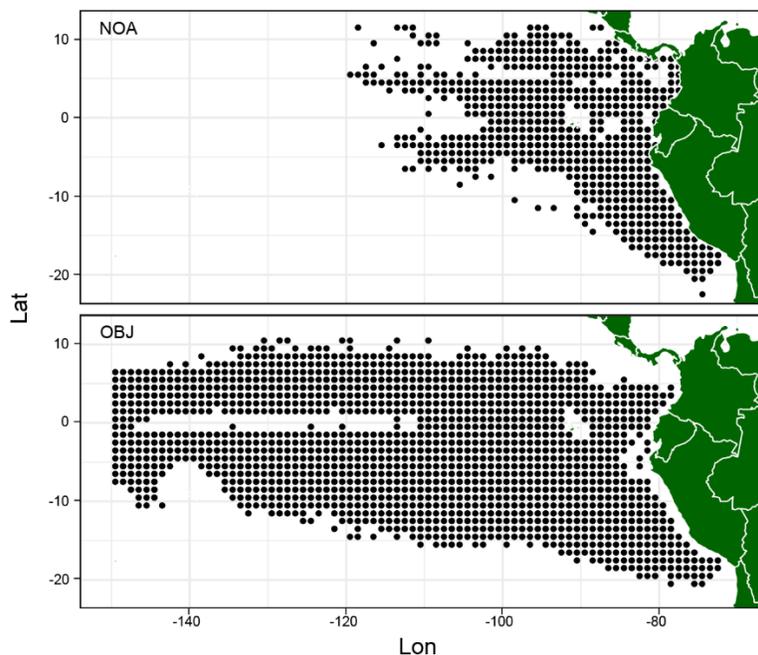


FIGURE 1. Spatial domains of catch and effort data used in the standardization of NOA (top) and OBJ (bottom) CPUE.

FIGURA 1. Dominios espaciales de los datos de captura y esfuerzo usados en la estandarización de la CPUE NOA (arriba) y OBJ (abajo).

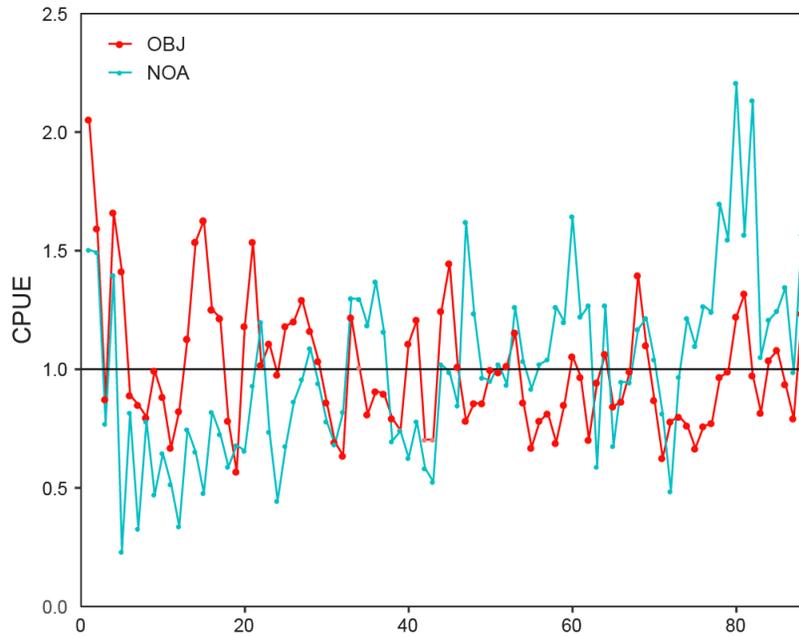


FIGURE 2. Time series of standardized OBJ and NOA indices of abundance for SKJ in the EPO.
FIGURA 2. Serie de tiempo de los índices de abundancia estandarizados OBJ y NOA para el SKJ en el OPO.

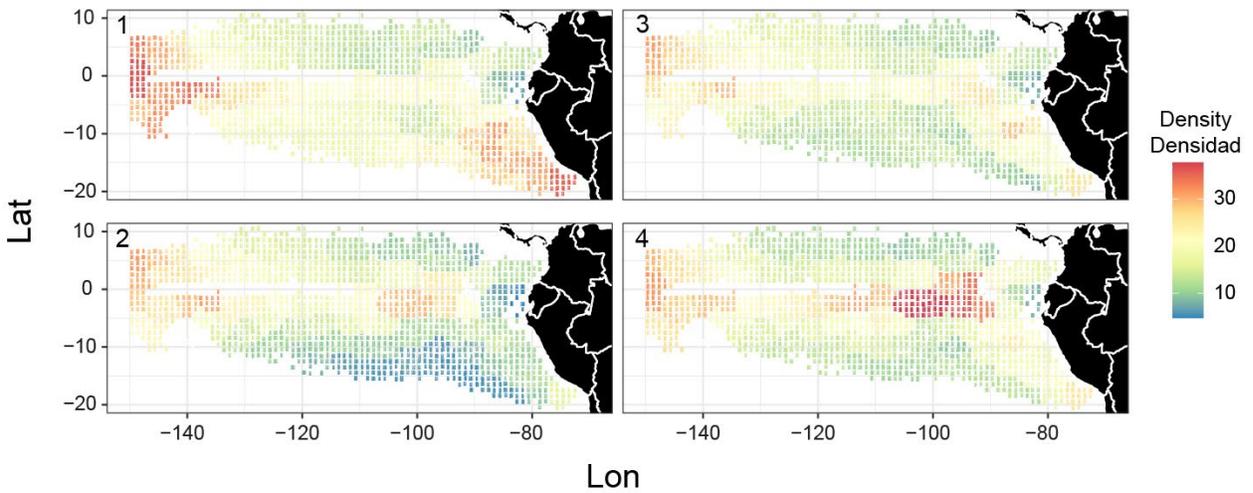


FIGURE 3. Quarterly spatial distribution of SKJ CPUE (tons per set) predicted by the spatiotemporal model fit to OBJ CPUE data.
FIGURA 3. Distribución espacial trimestral de la CPUE de SKJ (toneladas por lance) predicha por el modelo espaciotemporal ajustado a los datos de CPUE OBJ.

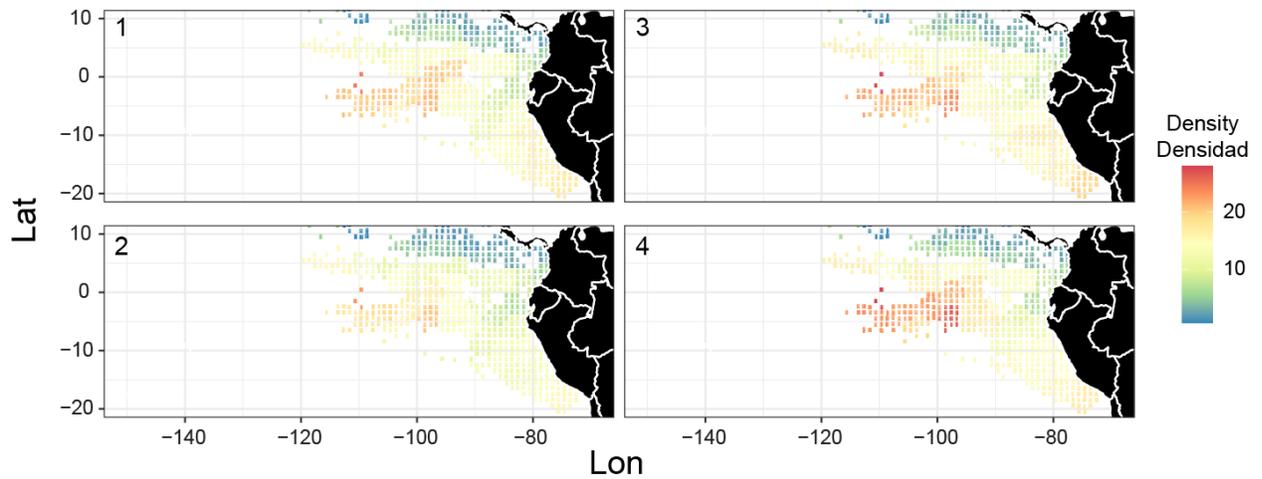


FIGURE 4. Quarterly spatial distribution of SKJ CPUE (tons per set) predicted by the spatiotemporal model fit to NOAA CPUE data.

FIGURA 4. Distribución espacial trimestral de la CPUE de SKJ (toneladas por lance) predicha por el modelo espaciotemporal ajustado a los datos de CPUE NOAA.

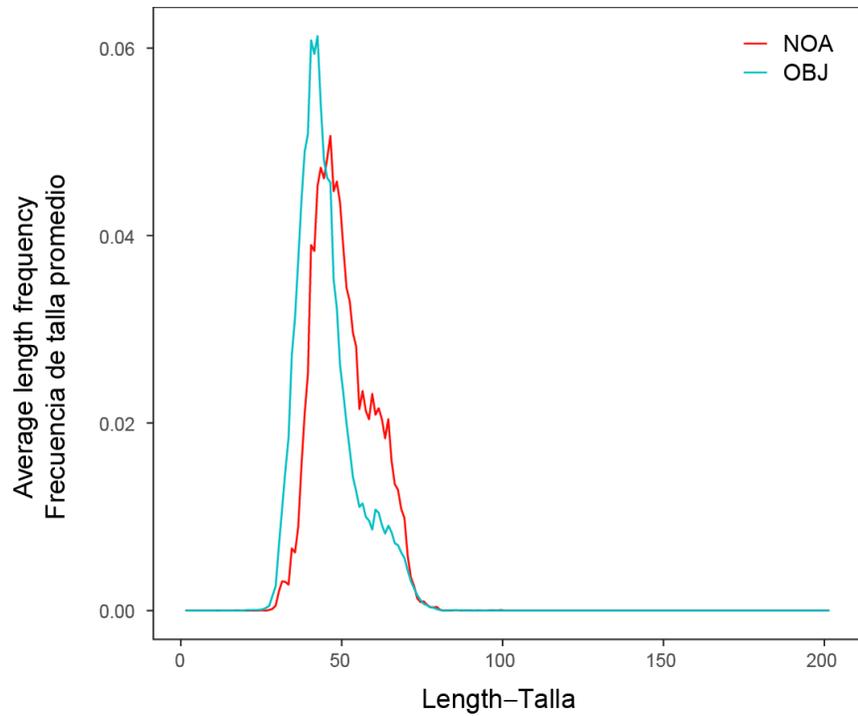


FIGURE 5. Average length frequency of SKJ caught by the OBJ and NOA sets in the EPO between 2000-2021.

FIGURA 5. Frecuencia de talla promedio de SKJ capturado en lances OBJ y NOA en el OPO durante 2000-2021.

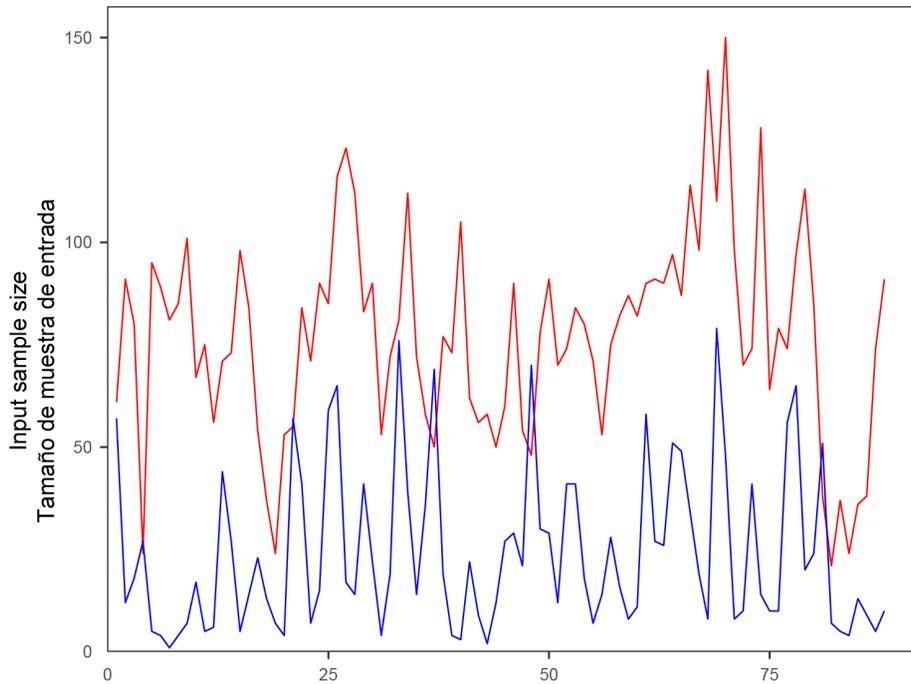


FIGURE 6. The input sample size of OBJ (red) and NOA (blue) length compositions for SKJ in the EPO.

FIGURA 6. Tamaño de muestra de entrada de las composiciones por talla OBJ (rojo) y NOA (azul) para el SKJ en el OPO.

TABLE 1. Standardized OBJ and NOA indices of abundance and the associated coefficients of variation (CV) for SKJ in the EPO.

TABLA 1. Índices de abundancia estandarizados OBJ y NOA y los coeficientes de variación (CV) asociados para el SKJ en el OPO.

Año	Trimestre	Índice (OBJ)	CV (OBJ)	NOA (OBJ)	CV (OBJ)
2000	1	2.053	0.077	1.504	0.140
2000	2	1.596	0.099	1.493	0.184
2000	3	0.873	0.104	0.769	0.199
2000	4	1.661	0.130	1.396	0.163
2001	1	1.412	0.076	0.232	0.236
2001	2	0.891	0.093	0.816	0.194
2001	3	0.851	0.089	0.328	0.256
2001	4	0.799	0.082	0.782	0.298
2002	1	0.994	0.082	0.471	0.252
2002	2	0.883	0.071	0.645	0.184
2002	3	0.669	0.070	0.517	0.210
2002	4	0.825	0.091	0.336	0.242
2003	1	1.129	0.067	0.748	0.182
2003	2	1.538	0.077	0.651	0.166
2003	3	1.628	0.076	0.478	0.209
2003	4	1.253	0.065	0.821	0.126
2004	1	1.216	0.063	0.728	0.161
2004	2	0.782	0.081	0.588	0.173
2004	3	0.569	0.077	0.680	0.192
2004	4	1.184	0.080	0.657	0.146
2005	1	1.536	0.064	0.931	0.149
2005	2	1.019	0.076	1.200	0.124
2005	3	1.108	0.076	0.738	0.230
2005	4	0.979	0.054	0.446	0.147
2006	1	1.182	0.058	0.676	0.127
2006	2	1.203	0.056	0.864	0.143
2006	3	1.293	0.053	0.956	0.177
2006	4	1.161	0.061	1.089	0.144
2007	1	1.036	0.059	0.941	0.143
2007	2	0.861	0.056	0.780	0.156
2007	3	0.692	0.065	0.683	0.217
2007	4	0.637	0.075	0.820	0.163
2008	1	1.221	0.061	1.299	0.119
2008	2	1.007	0.050	1.296	0.129
2008	3	0.811	0.056	1.185	0.178
2008	4	0.908	0.069	1.372	0.148
2009	1	0.898	0.060	1.158	0.124
2009	2	0.793	0.050	0.698	0.180
2009	3	0.742	0.055	0.740	0.205
2009	4	1.109	0.062	0.626	0.221
2010	1	1.208	0.054	0.780	0.167
2010	2	0.703	0.048	0.583	0.204

2010	3	0.704	0.058	0.526	0.224
2010	4	1.247	0.064	1.020	0.189
2011	1	1.448	0.067	0.988	0.167
2011	2	1.010	0.044	0.849	0.114
2011	3	0.782	0.051	1.622	0.168
2011	4	0.858	0.075	1.235	0.168
2012	1	0.856	0.076	0.965	0.135
2012	2	0.997	0.048	0.951	0.108
2012	3	0.989	0.055	1.022	0.195
2012	4	1.015	0.064	0.936	0.196
2013	1	1.155	0.056	1.262	0.139
2013	2	0.862	0.043	1.034	0.118
2013	3	0.670	0.055	0.919	0.188
2013	4	0.782	0.070	1.021	0.190
2014	1	0.815	0.057	1.042	0.126
2014	2	0.691	0.047	1.264	0.159
2014	3	0.851	0.056	1.199	0.171
2014	4	1.055	0.061	1.645	0.146
2015	1	0.969	0.051	1.221	0.129
2015	2	0.704	0.045	1.271	0.137
2015	3	0.945	0.057	0.590	0.219
2015	4	1.065	0.071	1.271	0.146
2016	1	0.843	0.055	0.678	0.173
2016	2	0.866	0.042	0.947	0.158
2016	3	0.991	0.051	0.945	0.202
2016	4	1.398	0.064	1.169	0.215
2017	1	1.103	0.046	1.216	0.150
2017	2	0.869	0.039	1.041	0.143
2017	3	0.626	0.048	0.814	0.196
2017	4	0.781	0.057	0.486	0.225
2018	1	0.802	0.047	0.968	0.132
2018	2	0.764	0.038	1.214	0.111
2018	3	0.667	0.049	1.100	0.180
2018	4	0.760	0.056	1.268	0.168
2019	1	0.772	0.046	1.241	0.137
2019	2	0.967	0.043	1.697	0.124
2019	3	0.990	0.058	1.548	0.154
2019	4	1.221	0.058	2.209	0.140
2020	1	1.319	0.042	1.568	0.116
2020	2	0.975	0.044	2.133	0.127
2020	3	0.818	0.051	1.053	0.182
2020	4	1.040	0.069	1.208	0.156
2021	1	1.080	0.049	1.247	0.120
2021	2	0.937	0.046	1.346	0.124
2021	3	0.793	0.046	0.987	0.167
2021	4	1.237	0.053	1.568	0.148