

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

14ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

15-19 de mayo de 2023

DOCUMENTO SAC-14 INF-D Corr.

POSIBLE SESGO EN LAS ESTIMACIONES DE LA CAPTURA DE ATUNES TROPICALES
DE 2020 Y 2021 COMO RESULTADO DE LA PANDEMIA DE COVID-19:
ACTUALIZACIÓN

Anandamayee Majumdar, Cleridy E. Lennert-Cody y Mark N. Maunder

ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Antecedentes	2
3. Análisis exploratorio de los datos	5
4. Modelado espaciotemporal estadístico	5
5. Resultados.....	6
6. Discusión	8
7. Conclusión.....	9
8. Referencias	10
Anexo A: Estimaciones y medidas de desempeño.....	11

1. RESUMEN

Los datos de muestreo en puerto de la CIAT se utilizan para determinar la composición por especie y talla de la captura de atunes tropicales y, por ende, desempeñan un papel sumamente importante en la metodología que se emplea actualmente para determinar la Mejor Estimación Científica (BSE, por sus siglas en inglés) de la captura. La pandemia de COVID-19 limitó de manera general la capacidad de los muestreadores en puerto de la CIAT para recolectar datos en 2020 y 2021, pero el impacto sobre la recolección de datos fue mayor en algunos puertos que en otros, lo cual pudo haber provocado un sesgo en la BSE de la composición de la captura en 2020-2021 debido a que algunos segmentos de la flota suelen descargar en puertos específicos. El aumento en la BSE de 2020 para el atún patudo (BET) en lances sobre objetos flotantes (OBJ) en 2020 respecto del año anterior ([SAC-13-03](#)), pese a una disminución en el número de lances OBJ ([SAC-13-06](#)), así como la notable disparidad entre la BSE de 2020 y las capturas notificadas por los observadores y en las bitácoras para 2020, contribuyeron a una preocupación sobre el sesgo potencial en la BSE en la 12ª Reunión del Comité Científico Asesor. Un estudio reciente en el que se aplicó la metodología BSE a datos de 2010 a 2019, tras simular una reducción sistemática en los datos de muestreo en puerto acorde con la reducción que se produjo en 2020, mostró que un sesgo era posible pero que podía producir tanto una sobreestimación como una subestimación ([SAC-13 INF-L](#)). Por lo tanto, para abordar el efecto de la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto en 2020 y 2021 sobre la

BSE, se desarrolló un modelo espaciotemporal para estimar la composición de la captura correspondiente al muestreo en puerto a partir de datos de observadores (de bitácora) para la estimación de la captura de los estratos para los que no se disponía de datos de muestreo en puerto ([SAC-13-05](#)). Análisis exploratorios demostraron que se podían utilizar datos de observadores (complementados por datos de bitácora, cuando fuera necesario) para predecir exitosamente la composición por especie del muestreo en puerto y que se lograba mejorar la predicción cuando se incluían covariables espaciales y temporales en el modelo. El modelo espaciotemporal funcionó bien en términos de porcentaje de varianza explicada y error de predicción normalizado y las estimaciones de captura arrojadas por el modelo mostraron un alto grado de correlación con las BSE de 2010 a 2019, años en los que no se produjeron pérdidas sistemáticas de datos. A través de la simulación, se determinó que el modelo espaciotemporal era robusto ante el tipo de pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto que se produjo en 2020. Esto podría deberse a que se incorporó información histórica de largo plazo al modelo espaciotemporal a través de un proceso autorregresivo. Este modelo espaciotemporal se utilizó para estimar la captura por especie en la pesquería OBJ para 2020 y 2021 y los resultados indican que la captura de BET fue sobreestimada por la metodología BSE en un 12% y 18.2% aproximadamente en 2020 y 2021, respectivamente. Los resultados para 2021 eran preliminares en [SAC-13-05](#) ya que las estimaciones de 2021 se basaron en datos de 2020, un año que también se vio afectado por la pandemia y quizás de una manera distinta al impacto que se vivió en 2021. El presente documento actualiza el documento [SAC-13-05](#) con los análisis realizados para determinar la robustez de las estimaciones de 2021.

2. ANTECEDENTES

Debido a la pandemia de COVID-19, en 2020-2021 no fue posible recolectar algunos de los datos utilizados para estimar la composición por especie y talla de la captura de atunes tropicales (aleta amarilla, patudo y barrilete) para la flota cerquera. Específicamente, no se recolectaron los datos que se recolectan en puerto (es decir, los datos de muestreo en puerto) durante parte de ese periodo de dos años en algunos de los principales puertos donde se descarga la captura de atún patudo (BET). En consecuencia, se teme que pueda existir sesgo en las Mejores Estimaciones Científicas (BSE) de la composición por especie y talla de la captura en esos dos años, particularmente para el atún patudo ([SAC-13 INF-L](#)). El hecho de que haya aumentado la BSE de 2020 para la captura de BET en lances sobre objetos flotantes (OBJ), respecto de la estimación de 2019 ([SAC-13-03](#)), mientras que el número de lances OBJ en 2020 disminuyó respecto de la cifra de 2019 ([SAC-13-06](#)), ha contribuido a la preocupación sobre el sesgo. Por lo tanto, para 2020-2021, probablemente resulte necesario modificar la metodología estadística utilizada para estimar la composición de la captura de atunes tropicales, para dar mayor importancia a otras fuentes de datos, distintas a los datos de muestreo en puerto, en la metodología de la estimación.

2.1 Fuentes de datos disponibles para estimar la composición de las capturas

Existen cuatro fuentes de datos primarias con las que se puede estimar la composición por especie de la captura cerquera de atunes tropicales en el Océano Pacífico oriental (OPO): (i) datos de observadores, (ii) datos de bitácora, (iii) datos de enlatadoras y (iv) datos de muestreo en puerto. Estas fuentes de datos difieren en su cobertura, métodos de recolección, tamaños de muestra y sesgos potenciales (tanto en las cantidades de las capturas como en la identificación de especies) y en los efectos de COVID sobre la recolección de datos. Se describen con mayor detalle estas fuentes de datos en el Anexo B.

De las cuatro fuentes de datos, los datos de observadores y bitácora son los más extensos en términos de cobertura espacial y temporal de la pesquería. Se dispone de datos de bitácora para todas las clases de tamaño de buques cerqueros. Los datos de bitácora incluyen detalles sobre el esfuerzo de pesca y las estimaciones de la captura de especies objetivo, pero no informan sobre la talla de los peces y se depende

de los pescadores para proporcionar información. Los datos de observadores ofrecen efectivamente un 100% de cobertura para los buques cerqueros grandes (clase 6 de la CIAT; > 363 mt de capacidad de acarreo) y contienen información adicional (por ejemplo, captura incidental, descartes de atún), pero solamente se cuenta con estos datos para una pequeña fracción de los buques cerqueros pequeños. Los datos de observadores proporcionan estimaciones de las cantidades de capturas de atún por especie en tres categorías de peso (“pequeños”: peces con un peso total < 2.5 kg; “medianos”: peces con un peso total de entre 2.5 kg y 15 kg; “grandes”: peces con un peso total > 15 kg), pero no dan medidas reales de la talla o peso de peces individuales.

Los datos de enlatadoras consisten principalmente en estimaciones de la cantidad de capturas de especies objetivo por viaje, comunicadas al personal de la CIAT por las enlatadoras de atún. No proporcionan información sobre las fechas y lugares exactos de pesca, ni sobre características operacionales (por ejemplo, el tipo de lance cerquero), aunque sí se proporciona información sobre las zonas de pesca y las fechas de salida y llegada de los viajes. No se dispone actualmente de información sobre la talla en la base de datos; algunas enlatadoras sí proporcionan estimaciones de captura por categorías de peso, pero las categorías difieren entre las enlatadoras, por lo que resulta problemático utilizar la información sobre la talla en las estimaciones de la composición de las capturas. El personal de la CIAT no dispone de datos de enlatadoras para todos los viajes, ni para todas las enlatadoras. Los datos de muestreo en puerto son recolectados por el personal de las oficinas regionales de la CIAT cuando los buques cerqueros descargan su captura en puerto y consisten principalmente en muestras de tallas y composición por especie de la captura almacenada en las bodegas de buques individuales. Los datos incluyen medidas de longitud al mm más cercano de una muestra de peces y conteos de especies de otra muestra independiente de peces (ver anexo en [Suter \(2010\)](#) para conocer los detalles del protocolo de muestreo). También incluyen datos sobre el mes, el área y el tipo de lance asociado a la captura en la bodega muestreada. A pesar de que el protocolo de recolección de datos de muestreo en puerto se basa en 13 áreas de muestreo, desde 2000 se dispone tanto del área de muestreo como del área de 5° para cada muestra. El programa de muestreo en puerto no muestrea todos los viajes y la cobertura de los viajes difiere según la clase de tamaño de los buques. En términos de porcentaje de bodegas muestreadas o porcentaje de las capturas muestreadas, la cobertura es baja.

2.2 Metodología actual para estimar la composición de las capturas

Ninguna de las cuatro fuentes de datos primarias proporciona información completa y precisa sobre la composición por especie y talla de la captura de la flota. Por lo tanto, es necesario combinar estas fuentes de datos para producir la BSE. En el Anexo C del documento [SAC-13-05](#), así como en el material citado en dicho anexo, se puede consultar más información sobre la metodología estadística de la BSE que se emplea desde 2000 para estimar la composición de las capturas cerqueras para las tres especies objetivo de atún. La metodología consiste en un enfoque hacia la estimación de captura basado en diseño, a diferencia de un enfoque basado en modelos. La metodología emplea los datos de muestreo en puerto para estimar la composición por especie y talla de la captura total de atunes tropicales por estratos que se definen por área y mes de pesca, tipo de lance cerquero y clase de tamaño de buque. La estimación de la captura cerquera total de atunes tropicales (la suma de las capturas de aleta amarilla, patudo y barrilete) se basa en las capturas de los datos de enlatadoras, en caso de estar disponibles; de lo contrario, se utilizan datos de observadores o datos de bitácora. Esta captura total de atunes tropicales se distribuye en estratos a partir de los datos de observadores y de bitácora.

Debido a que siempre existen estratos con captura pero no sin datos de muestreo en puerto ([SAC-13 INF-L](#)), en algunos estratos la composición por especie y talla se basa en los datos de muestreo en puerto de estratos “vecinos”. El “mejor” estrato vecino se determina a través de un conjunto de reglas jerárquicas. En general, se da prioridad al tipo de lance y luego al área o al mes, según los programas utilizados, y

finalmente a la clase de tamaño de los buques. Este procedimiento puede introducir sesgo si la verdadera composición por especie y talla de los estratos vecinos, para los que sí existen datos de muestreo en puerto, difiere lo suficiente de la del estrato para el que no existen datos de muestreo en puerto. Siempre existe la posibilidad de sesgo, pero es mucho más probable cuando el nivel general de muestreo en puerto es muy bajo o cuando se deja de muestrear la captura descargada en algunos puertos por un periodo de tiempo prolongado, como claramente sucedió en 2020 y 2021 ([SAC-13 INF-L](#)).

2.3 Información general sobre el enfoque estadístico adoptado en este estudio

El enfoque general adoptado en el presente estudio consistió en desarrollar una metodología estadística que utilizara los datos de muestreo en puerto para “ajustar”, de manera estadística, las estimaciones de composición de capturas obtenidas a partir de los datos de observadores y de bitácora. Eso se debe a dos razones. Primero, la recolección de datos de observadores y de bitácora no se vio tan afectada por la pandemia como la recolección de datos de muestreo en puerto. En segundo lugar, como ya se ha señalado, los datos de observadores y de bitácora también son más extensos en su cobertura espacial y temporal de la pesquería, en comparación con los datos de muestreo en puerto. Por ende, nos propusimos desarrollar un modelo estadístico integrado que pudiera dar cabida a múltiples fuentes de variación inherentes en los datos, de modo que pudieran utilizarse los datos de observadores y de bitácora para predecir la composición de la captura de muestreo en puerto por estrato (por ejemplo, por año y tipo de lance para unidades espaciales específicas), para los estratos para los que no se disponía de datos de muestreo en puerto.

En este estudio se utilizaron modelos espaciotemporales condicionalmente autorregresivos (CAR; Besag *et al.*, 1991) como tipo de modelo estadístico integrado. Estos modelos son capaces de aprovechar la estructura de correlación espacial y temporal innata en los datos y por lo tanto tienen mayores probabilidades de ofrecer estimaciones fiables cuando faltan sistemáticamente grandes cantidades de datos (por ejemplo, para ciertos puertos durante muchos meses). El trabajo realizado hasta la fecha se centra en la estimación de la composición por especie de las capturas en lances OBJ porque BET se pesca principalmente en lances OBJ ([SAC-13-03](#)) y porque la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto provocada por la pandemia probablemente haya producido un sesgo en la BSE de la captura de BET en lances OBJ ([SAC-13 INF-L](#)).

Debido a que se desconoce la verdadera composición por especie de las capturas, en este estudio supusimos que el objetivo consiste en desarrollar un método capaz de producir estimaciones de captura lo más congruentes posible con las producidas por la metodología BSE antes de la pandemia (es decir, antes de 2020). Por lo tanto, no solamente se emplearon medidas estándar de desempeño de modelos para desarrollar el mejor modelo CAR, tales como el porcentaje de varianza explicada por el modelo y el error de predicción, sino que también se evaluó la nueva metodología en términos de su capacidad para igualar las BSE para 2000-2019, comunicadas en el *Informe de la Situación de la Pesquería* de la CIAT (por ejemplo, Tabla A-7 de [SAC-13-03](#)).

En este documento, presentamos trabajo sobre una nueva metodología para estimar la composición por especie de la captura de atunes tropicales, centrándonos en los lances OBJ. En primer lugar, describimos los análisis exploratorios empleados para investigar la relación entre las estimaciones de composición por especie provenientes del muestreo en puerto y las realizadas por observadores. Después, describimos la nueva metodología estadística integrada que fue desarrollada para estimar la composición por especie de las capturas a partir de datos de observadores (bitácora) y datos de muestreo en puerto en 2020 y 2021. Posteriormente, estimamos el posible sesgo causado por la reducción del muestreo en puerto en 2020 y 2021 suponiendo una pérdida de datos similar en años anteriores. Concluimos con estimaciones revisadas de la captura por especie para 2020 y 2021.

3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

Se realizaron diversos tipos de análisis exploratorios, centrados en los datos correspondientes a los buques de clase 6 de la CIAT, para investigar la relación entre las estimaciones de composición por especie de los datos de muestreo en puerto y las de los datos de observadores. Primero, se evaluó la magnitud de las diferencias en la composición por especie de las capturas entre los datos de observadores y los datos de muestreo en puerto, por estrato, mediante técnicas gráficas (Figuras 1 y 2). Luego, se llevaron a cabo análisis de regresión múltiple con el fin de (i) entender la fuerza y la naturaleza de la relación entre las estimaciones de composición por especie de observadores y del muestreo en puerto y de (ii) identificar cualquier estructura espacial y temporal que pudiera estar presente en las estimaciones de composición por especie del muestreo en puerto. El documento [SAC-13-05](#) contiene más detalles al respecto.

4. MODELADO ESPACIOTEMPORAL ESTADÍSTICO

En la Sección 4 del documento [SAC-13-05](#), se describe el modelo espaciotemporal CAR (Besag *et al.*, 1991) implementado en el presente estudio. Esta sección describe los aspectos clave del modelado estadístico que resultaron necesarios para tratar las características de los datos identificadas en los análisis exploratorios. Los detalles y el “mejor” modelo CAR espaciotemporal y los resultados relacionados con el ajuste del modelo y su desempeño de predicción, así como las estimaciones de la composición por especie de la captura, mismas que se comparan con las BSE presentadas en [SAC-13-03](#), pueden consultarse en la Sección 4 del documento [SAC-13-05](#).

Los aspectos clave del modelado estadístico que fueron necesarios para tratar las características de los datos son los siguientes:

1. El modelo estadístico tiene que ofrecer flexibilidad para que el patrón espacial (la media en cada lugar espacial) y la variación espacial (la varianza en cada lugar espacial) de los datos puedan cambiar de un año a otro, en un único modelo integrado. La presencia de un patrón espacial significa que las observaciones de unidades más cercanas guardan más similitud que aquéllas de unidades más alejadas. Si no existe un patrón espacial y la varianza espacial también es constante, por ejemplo, se puede suponer que los datos se distribuyen en el espacio de manera aleatoria. Sin embargo, en los análisis exploratorios, se encontró que las proporciones de especies BET mostraban un patrón espacial y variación espacial que cambiaban a lo largo de los años. En concreto, las gráficas de caja y bigote de la Figura 5 tienen medianas diferentes y rangos intercuartiles diferentes y estos valores dependen de la longitud, lo cual sugiere la posible existencia de un patrón espacial y variación espacial residuales después de la regresión de las proporciones de muestreo en puerto sobre las proporciones de observadores.
2. El modelo estadístico debe atender la escasez de datos en el espacio y en el tiempo. La escasez de datos es una función de la resolución espaciotemporal de los datos utilizados para ajustar el modelo. A pesar de que los modelos estadísticos pueden ajustarse a datos de resolución relativamente fina (por ejemplo, datos mensuales por área de 5°), la escasez de los datos de muestreo en puerto en el espacio y en el tiempo, en comparación con la extensión espaciotemporal de los datos de captura (de observadores, de bitácora), dificultó este tipo de modelado de las proporciones de especies de muestreo en puerto en los análisis preliminares. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la escasez de datos espaciales en los datos mensuales por área de 5°. Una manera de abordar este problema consiste en agrupar los datos en el espacio y en el tiempo para compensar los bajos tamaños de muestra en determinadas áreas del OPO, especialmente en algunos años en los que los datos eran particularmente escasos espacialmente. Sin embargo, aún existe escasez en los datos anuales, tal como lo muestran las Figuras 3 y 4. Otra forma de hacer frente a la escasez de datos consiste en aprovechar la estructura de correlación

dentro de los datos, ya sea en el espacio en el mismo punto temporal, o a través del tiempo, mediante la incorporación de datos de varios años en un solo modelo. Así, el modelo puede aprovechar el patrón espacial que evoluciona de manera correlacionada a través del tiempo para ayudar a mitigar el problema de la escasez de datos.

3. El modelo estadístico debe poder realizar predicciones para nuevas unidades de área para poder estimar las proporciones de especies para unidades de área donde faltaron datos de muestreo en puerto en 2020-2021.

Tras varios intentos de desarrollar modelos con datos de resolución más fina, por ejemplo datos mensuales y trimestres con una resolución espacial de 5°, lo cual arrojó modelos de desempeño deficiente (pero ver la sección de Discusión), se decidió agrupar los datos en el tiempo a una resolución anual, así como en el espacio, en las 13 áreas de muestreo (Figura 7) utilizadas en la metodología BSE para estimar la captura (Tomlinson, 2002). La agrupación espacial reduce bien la variabilidad de las proporciones, lo que produce modelos de mejor ajuste, presumiblemente porque existen más puntos de datos en estas regiones más grandes que en las “celdas” espaciales más pequeñas. Así, los modelos CAR espaciotemporales, que se describen en la Sección 4 del documento [SAC-13-05](#), se ajustaron a los datos agrupados para estimar p_{kt} .

4.1 Estimación de la captura

Una vez que se han obtenido los valores estimados para las proporciones de especies del muestreo en puerto, el siguiente paso consiste en estimar la captura total de una especie para lances OBJ para todo el OPO, por año. Para estimar la captura total, se obtuvieron estimaciones de las proporciones de especies, p_{ktm} , por región espacial (k), año (t) y categoría de tamaño de buque (m ; clases 1 a 5 y clase 6). Para los buques de clases 1 a 5, los modelos CAR utilizaron datos tanto de observadores como de bitácora para calcular q_{ktm} , mientras que para buques de clase 6, los valores de q_{ktm} se basaron únicamente en datos de observadores. Si la captura total de atunes tropicales en el OPO en el año t viene dada por U_t , entonces U_t se prorratea al área y a la categoría de tamaño de buque utilizando la proporción de captura de atunes tropicales dentro de cada estrato, según las estimaciones realizadas a partir de datos de observadores y de bitácora. Este procedimiento produce estimaciones a nivel de estrato de la captura total de atunes tropicales, U_{ktm} . Luego la captura estimada para dicho estrato y para alguna especie es $U_{ktm} p_{ktm}$ y la captura total de los lances OBJ se obtiene como la suma $C_t = \sum U_{ktm} p_{ktm}$ sobre los estratos correspondientes. Una vez que se han obtenido las estimaciones de la captura total de BET y SKJ de esta manera, obtenemos la estimación de la captura total para YFT al restar la suma de estos dos valores a la captura total OBJ de atunes tropicales del año correspondiente. Es decir, $C_{t_YFT} = U_t - C_{t_BET} - C_{t_SKJ}$.

5. RESULTADOS

5.1. Modelado espaciotemporal

a) Parámetros de modelos

Las estimaciones de parámetros para el mejor modelo CAR para cada año se presentan en el Anexo B del documento [SAC-13-05](#).

b) Estimaciones de captura

Las estimaciones de captura de cada especie para los lances OBJ, que se basan en el mejor modelo CAR para cada uno de los años de 2010 a 2019, se presentan en la Tabla 2 del documento [SAC-13-05](#), y las de 2020 y 2021 se muestran por separado en la Tabla 1.

c) Desempeño del modelo

Los resultados del desempeño de los modelos se resumen en las Tablas 4 y 5 del documento [SAC-13-05](#). La proporción de la varianza explicada por estos modelos oscila entre el 74% y el 100% y es mayoritariamente superior al 90%, lo cual indica que los modelos se ajustan bien a los datos. Los errores de predicción normalizados son en su mayoría pequeños (es decir, inferiores a 1), lo cual indica un buen desempeño de predicción general.

d) Sesgo estimado

Uno de los principales objetivos de este trabajo era investigar el sesgo en la BSE a consecuencia de la pérdida de datos de muestreo en puerto provocada por la pandemia en 2020 y 2021. Se determinó que los modelos CAR espaciotemporales que se desarrollaron para mantener congruencia con la BSE en los años sin pandemia de 2010 a 2019 tuvieron un desempeño similar (ver Sección 5.3, [SAC-13-05](#)) cuando se excluyeron, en los años anteriores a 2020, datos de muestreo en puerto correspondientes a algunos puertos para los que faltaron sistemáticamente datos 1) en 2020 y 2) tanto en 2020 como en 2021 ([SAC-13 INF-L](#)) (ver Sección 5.2). Esta robustez se interpretó como una indicación de que estos mejores modelos CAR espaciotemporales probablemente produzcan estimaciones fiables para 2020 y 2021. Dado todo lo anterior, el sesgo de la BSE para una especie determinada se definió como la diferencia entre la estimación BSE y la estimación CAR (Tabla 1). El sesgo estimado fue mayor para BET (11.9% y 19.3% para 2020 y 2021, respectivamente) y fue más bajo en el caso de SKJ (0.6% y -5.3% para 2020 y 2021, respectivamente).

5.2. Análisis retrospectivo del sesgo

Con el fin de evaluar el efecto de la pérdida de datos de muestreo en puerto, provocada por la pandemia, sobre la BSE de la captura de BET en lances OBJ en 2020, se ejecutó la metodología de estimación BSE para cada uno de los años de 2010 a 2019, utilizando todos los datos de enlatadoras, de observadores y de bitácora disponibles, pero con solo un subconjunto de los datos de muestreo en puerto; se pueden consultar los detalles de este análisis en [SAC-13 INF-L](#). Los resultados indican que la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto en 2020, asociada a la pandemia, en puertos donde se estima que se descarga gran parte del BET del OPO, pudo haber provocado un sesgo en la BSE de la captura de BET en lances OBJ. Aunque la diferencia mediana entre las estimaciones, con y sin la simulación de la pérdida de datos, fue cercana a 0, se observaron sesgos tanto negativos como positivos de un 20% aproximadamente durante el periodo de 2010 a 2019 (Figuras 10 y 11). Aún no se ha realizado un análisis similar para 2021.

5.3. Análisis de sensibilidad del mejor modelo CAR en 2020

Con el fin de probar la sensibilidad de la metodología CAR a la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto en el año para el que se desean obtener estimaciones, se realizó un análisis de sensibilidad con datos de 2019 y años anteriores, imitando 1) la pérdida de datos de 2020 en el año de interés y 2) la pérdida de datos de 2021 en el año de interés y la pérdida de datos de 2020 en el año anterior al año de interés. Específicamente, en (1) se procedió a excluir los datos de muestreo en puerto provenientes de los puertos de Manta (abril-diciembre), Mazatlán (abril) y Posorja (abril-mayo) (ver [SAC-13 INF-L](#) para conocer las razones por las que se seleccionaron estos puertos y periodos de tiempo) para el año de interés y se reestimaron los totales de captura para dicho año utilizando el mismo mejor modelo CAR. En (2) los datos de muestreo en puerto de los puertos de Manta (abril-diciembre), Mazatlán (abril) y Posorja (abril-mayo) se excluyeron para el año anterior al año de interés y Manta (febrero-julio) y Guayaquil (enero-junio) se excluyeron para el año de interés (ver Figura 3 para conocer las razones por las que se seleccionaron estos puertos y periodos de tiempo) se excluyeron para el año de interés y se reestimaron los totales de captura para dicho año utilizando el mismo mejor modelo CAR. Se siguió el procedimiento anterior para cada uno de los años

de 2010 a 2019. La comparación de estas estimaciones con las BSE y con las estimaciones CAR basadas en los conjuntos de datos completos para 2010-2019 demuestra que incluso después de excluir algunos de los datos de muestreo en puerto, las estimaciones CAR parecen robustas ya que están próximas a las estimaciones obtenidas cuando los datos no se excluyeron (Figura 12 [SAC-13-05](#) y Figura 4).

Para demostrar todavía más la robustez de las estimaciones CAR, la Tabla 4 muestra los coeficientes de correlación de las estimaciones CAR para el mejor modelo con la BSE (i) cuando no se excluyeron datos de muestreo en puerto, (ii) cuando se excluyeron algunos datos de muestreo en puerto imitando la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto en 2020, y (iii) cuando se excluyeron algunos datos de muestreo en puerto imitando la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto en 2020 y 2021. Los coeficientes de correlación son muy similares para (i), (ii) y (iii).

6. DISCUSIÓN

Para hacer frente a la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto de algunos puertos durante 2020 y 2021, se desarrolló un modelo CAR espaciotemporal lognormal para obtener estimaciones anuales de la composición por especie de la captura en los lances OBJ. Este enfoque de modelado hace uso de los datos de observadores (de bitácora), así como de la estructura espacial y temporal inherente a los datos de muestreo en puerto disponibles, para predecir la composición por especie de las capturas para estratos de estimación para los que no se recolectaron datos de muestreo en puerto. La estructura de correlación espacial del modelo CAR fue diseñada específicamente para imitar las dependencias espaciales inherentes a la metodología BSE actual. Así, este modelo CAR se puede ver como una extensión de la metodología BSE actual, capaz de aprovechar otras fuentes de datos para mitigar la escasez normal de los datos de muestreo en puerto, un aspecto que se vio exacerbado por el impacto de la pandemia sobre la recolección de datos en 2020 y 2021. Este modelo CAR demostró un buen desempeño en términos de porcentaje de variación explicada y error de predicción normalizado y además las estimaciones anuales arrojadas por el modelo CAR presentaron una correlación razonablemente alta con las BSE de 2010 a 2019 para lances OBJ. Por otra parte, las estimaciones del modelo CAR fueron razonablemente congruentes con las estimaciones BSE, incluso cuando se excluyeron viajes sistemáticamente en los años anteriores a 2020 con el fin de simular la pérdida de datos provocada por la pandemia. Esto puede deberse quizás a que el modelo CAR incorporó información histórica de largo plazo de manera estructurada, lo cual puede ser un método fiable para corregir la pérdida sistemática de datos de corto plazo.

El modelo CAR se utilizó para estimar el “sesgo” potencial en la BSE para los lances OBJ para 2020 y 2021 y para cada una de las tres especies de atunes tropical. De estos resultados parece que la captura de BET pudo haber sido sobreestimada por la metodología BSE para los años 2020 y 2021 en un 11.9 y 19.3%, respectivamente. Este porcentaje de sesgo para BET fue mucho mayor que las diferencias entre las estimaciones BSE y CAR de 2010 a 2019, años en los que no se esperaba la presencia de sesgo en la BSE debido a que no hubo pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto. En cambio, los valores de “sesgo” para YFT y SKJ para 2020 y 2021 se encuentran dentro del rango de valores obtenidos para años anteriores, es decir de 2010 a 2019. Esto sugiere que, de las estimaciones de las tres especies para 2020 y 2021, las estimaciones de SKJ son las que tienen menos probabilidades de haberse visto afectadas por la pérdida de datos relacionada con la pandemia.

Parece que el impacto de la pandemia sobre la pesquería y el muestreo en 2021 fue menor que en 2020. El número de lances OBJ y la capacidad de pesca incrementaron en 2021 con respecto a 2020 ([SAC-13-06](#)), al igual que el número de bodegas muestreadas por el muestreo en puerto (se utilizaron 447 muestras de bodegas en el análisis de 2020 frente a 611 para el año 2021). Sin embargo, pese al aumento del esfuerzo de pesca, disminuyó la estimación BSE de la captura de atún patudo ([SAC-13-06](#)). Además, el

sesgo estimado en las estimaciones BSE para BET fue aproximadamente el mismo que en 2020 y 2021, pese al aumento en las bodegas muestreadas por el programa de muestreo en puerto. Diversas razones podrían explicar estos cambios inesperados. El análisis retrospectivo de las estimaciones BSE de la captura mostró que puede existir sesgo en las estimaciones BSE en caso de pérdida sistemática de datos, pero que puede haber tanto una sobreestimación como una subestimación de la captura en diferentes años. Además, el hecho de que el estimador CAR utilice series de tiempo significa que los datos de muestreo en puerto de 2020, que presentaban carencias significativas para algunos puertos, se utilizaron en la estimación de la composición de capturas de 2021 (aunque para compensar esto, se utilizó una serie de tiempo más larga). Otros factores, como la abundancia de atún patudo, también podrían afectar las estimaciones.

7. CONCLUSIÓN

- La pandemia de COVID-19 limitó la capacidad de los muestreadores en puerto para tomar muestras, lo que resultó en una reducción de las muestras de lances OBJ para 2020 y 2021 del 66% y el 35%, respectivamente, en comparación con 2019.
- Los datos de muestreo en puerto se utilizan para calcular la composición por especie y talla de la captura y, por consiguiente, desempeñan un papel muy importante en la metodología BSE actual de estimación de la captura.
- La recolección de datos de muestreo en puerto se vio interrumpida por la pandemia en algunos puertos más que en otros y es posible que esto resulte en un sesgo en las estimaciones de la captura por especie ya que ciertos segmentos de flota descargan de manera preferencial en puertos específicos.
- Aplicar la misma reducción sistemática de muestreo por puerto a los datos de años anteriores a 2020 mostró que podría haber sesgo, pero que éste podría ser una sobreestimación o una subestimación ([SAC-13 INF-L](#)).
- Análisis exploratorios demostraron que se podían utilizar datos de observadores (complementados con datos de bitácora, cuando fuera necesario) para predecir la composición por especie del muestreo en puerto y que se mejoró la predicción cuando se incluyeron covariables espaciales y temporales en el modelo.
- Se desarrolló un modelo espaciotemporal para estimar las proporciones de especies del muestreo en puerto a partir de datos de observadores (bitácora) en estratos de estimación de captura para los que no se disponía de datos de muestreo en puerto.
- El uso del modelo espaciotemporal para estimar la composición de la captura de años anteriores (2010-2019), tras simular la misma reducción sistemática en los datos de muestreo en puerto que se produjo en 1) 2020 y 2) tanto en 2020 como en 2021, mostró que las estimaciones de la composición de la captura del modelo espaciotemporal fueron robustas a la pérdida sistemática de datos de muestreo en puerto para el año para el que se desearon estimaciones de captura.
- El modelo espaciotemporal se utilizó para estimar la captura por especie en la pesquería OBJ para 2020 y 2021 y los resultados indicaron que la captura de BET estaba sobreestimada en un 12% y 18.2% en 2020 y 2021, respectivamente.

8. REFERENCIAS

Besag J, York J, Mollié A (1991). "Bayesian Image Restoration with Two Applications in Spatial Statistics." *Annals of the Institute of Statistics and Mathematics*, **43**, 1–59.

Lennert-Cody, C.E., Maunder, M. N., Majumdar, A. (2022). "The effect of pandemic-related port-sampling data loss on the purse-seine catch estimate of bigeye tuna in floating object sets." SAC-13 INF-L, IATTC Scientific Advisory Committee, 13th meeting.

Majumdar, A., Lennert-Cody, C. E., Maunder, M. N., Aires-da-Silva, A. (2022). "Investigation of potential bias on the tropical tuna catch estimates caused by the COVID-19 pandemic." SAC-13-05, IATTC Scientific Advisory Committee, 13th meeting.

Suter, J. M. (2010). "An evaluation of the area stratification used for sampling tunas in the eastern Pacific Ocean and implications for estimating total annual catches." Special Report 18, IATTC.

R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ANEXO A: ESTIMACIONES Y MEDIDAS DE DESEMPEÑO

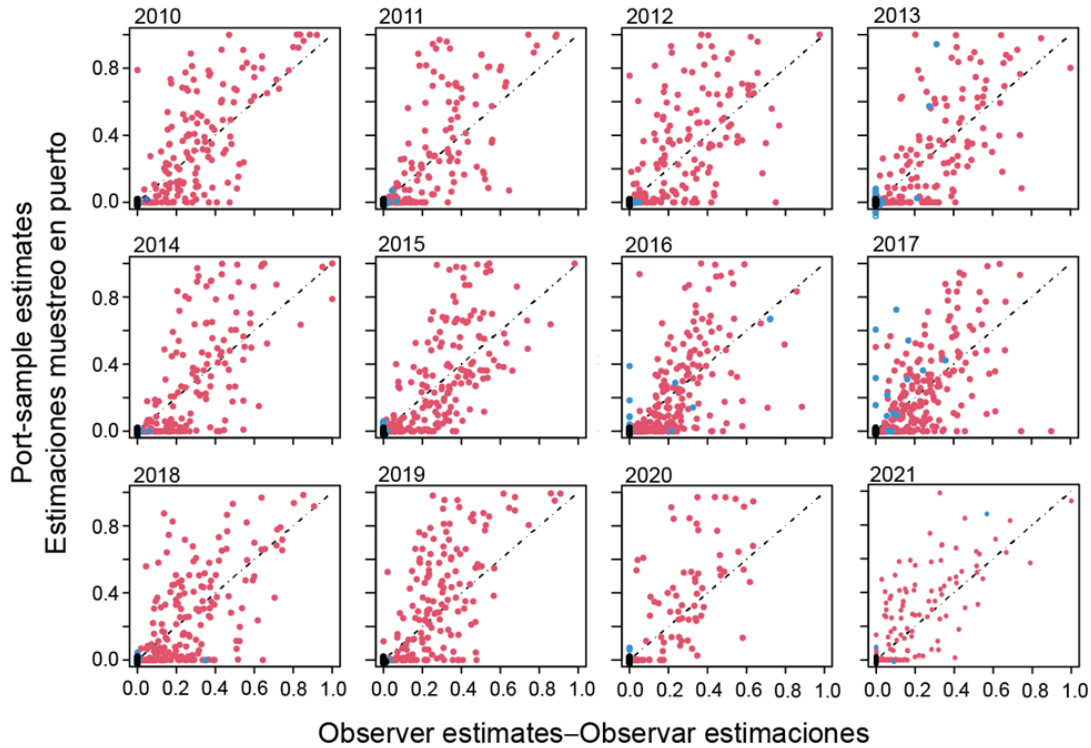


FIGURE 1. Scatter plots of the observer versus the port-sampling proportions for BET at a resolution of 5° area \times month, for 2010 – 2021, plotted for 'cells' that had both port-sampling and observer data. Red dots: OBJ sets; black dots: NOA sets; and blue dots: DEL sets.

FIGURA 1. Diagramas de dispersión de las proporciones de observadores frente a las proporciones de muestreo en puerto para BET en una resolución de área de 5° por mes, para 2010–2021, trazados para "celdas" que tenían datos de muestreo en puerto y de observadores. Puntos rojos: lances OBJ; puntos negros: lances NOA; puntos azules: lances DEL.

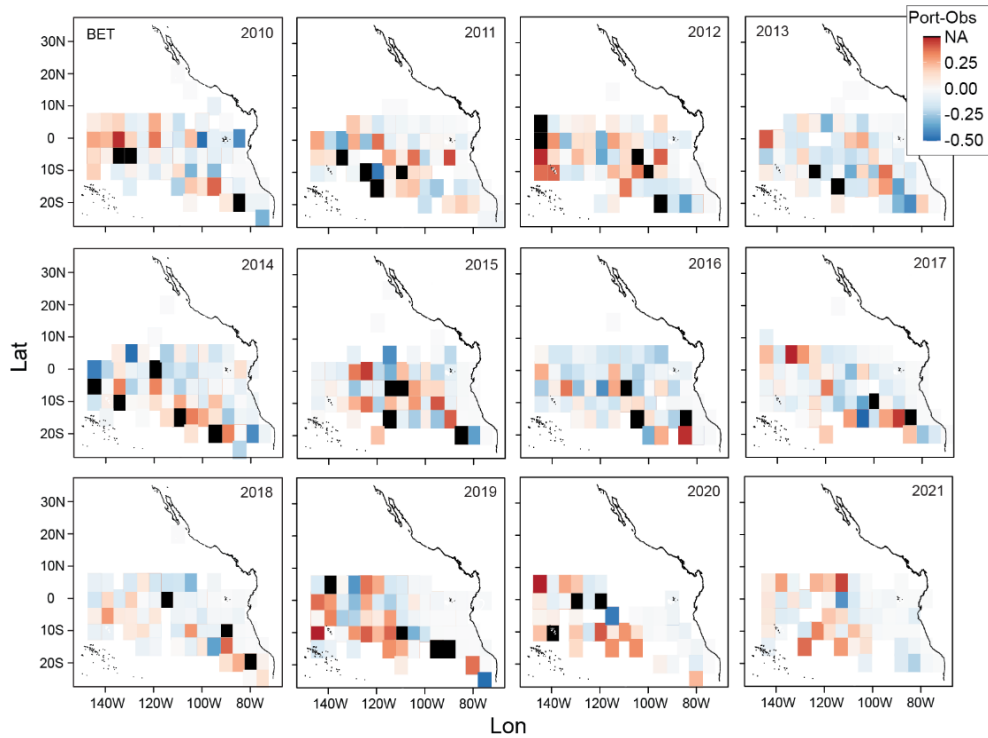


FIGURE 2. Annual maps of differences between port-sampling and observer proportions ($p_{kt} - q_{kt}$) for BET (Class-6 OBJ), at a 5° resolution. The black color indicates 5° areas for which port-sampling data were unavailable.

FIGURA 2. Mapas anuales de las diferencias entre las proporciones de muestreo en puerto y las proporciones de observadores ($p_{kt} - q_{kt}$) para BET (OBJ clase 6), en una resolución de 5°. El color negro indica áreas de 5° para las que no se disponía de datos de muestreo en puerto.

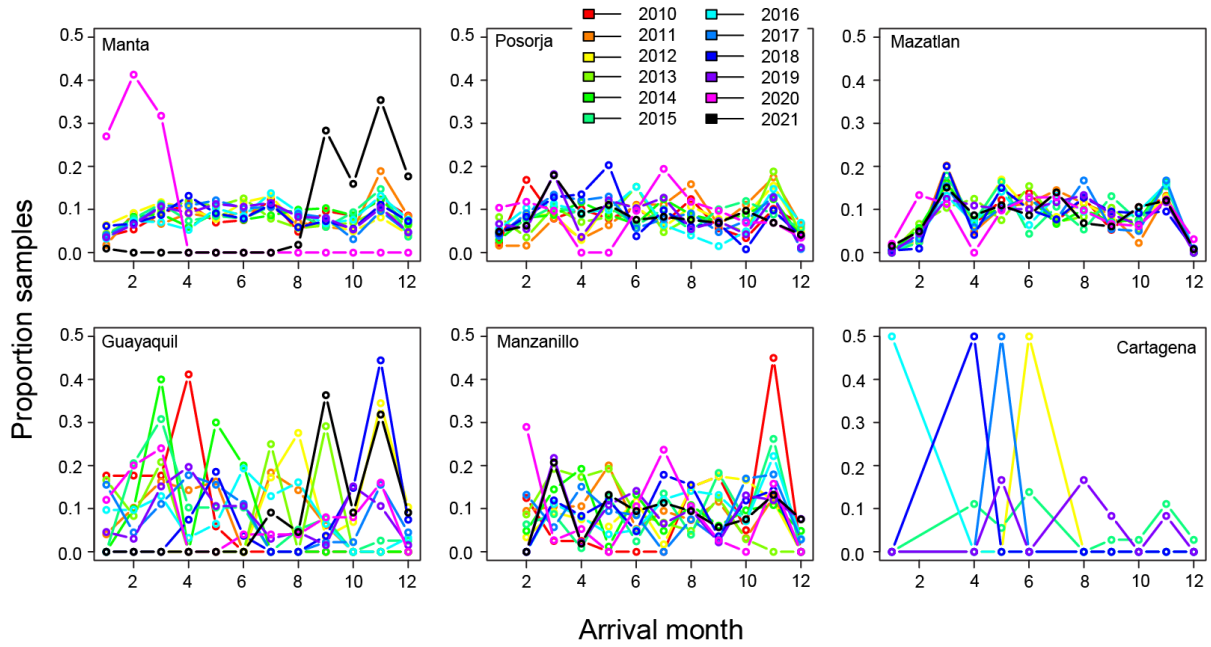


FIGURE 3. Port-sampling proportions of BET OBJ (monthly) for years 2010-2021 for various ports. The black line stands for 2021 port-sampling proportions BET OBJ.

FIGURA 3. Proporciones de muestreo en puerto de BET en lances OBJ (mensual) para los años 2010-2021 para varios puertos. La línea negra representa las proporciones de muestreo en puerto de BET en lances OBJ en 2021.

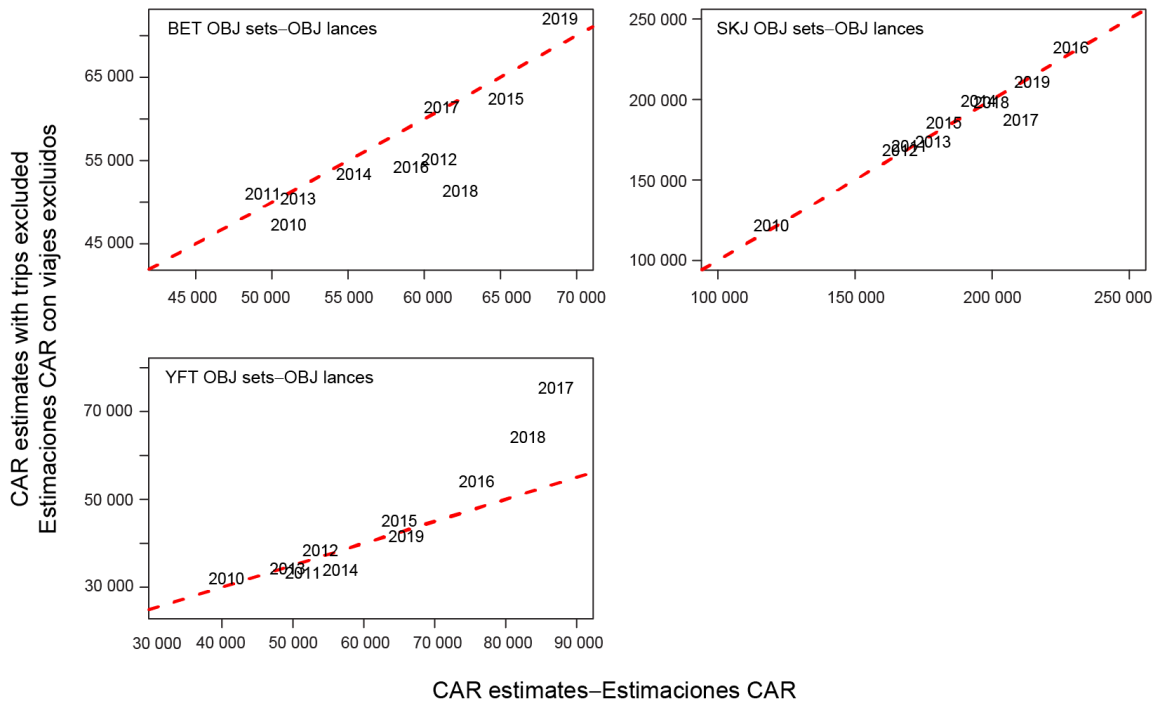


FIGURE 4. The CAR estimates with no port-sampling data excluded (on the x-axis) *versus* the CAR estimates for 2010-2019 with some data excluded: (a) BET (upper left panel); (b) SKJ (upper right panel); and, (c) YFT (lower left panel).

FIGURA 4. Las estimaciones CAR sin datos de muestreo en puerto excluidos (en el eje 'x') *versus* las estimaciones CAR para 2010-2019 con algunos datos excluidos: (a) BET (panel superior izquierdo); (b) SKJ (panel superior derecho); y, (c) YFT (panel inferior izquierdo).

TABLE 1. OBJ catch estimates of BET, YFT, SKJ (metric tons) for 2020-2021 based on the 'best' CAR model. The BSE values were taken from Table A-7 of SAC-14-03.

TABLA 1. Estimaciones de captura de BET, YFT, SKJ en lances OBJ (toneladas métricas) para 2020-2021 basadas en el 'mejor' modelo CAR. Los valores BSE se tomaron de la Tabla A-7 del documento SAC-14-03.

Estimated values	2020 CAR	2020 BSE	2021 CAR	2021 BSE
BET	69,901	78,208	48,087	57,391
SKJ	190,243	191,399	239,692	227,028
YFT	53,924	44,461	60,701	66,542

TABLE 2. Absolute (in metric tons) and percent bias of the BSE in 2020-2021 as estimated from the best CAR model. Bias is defined as the BSE minus the CAR estimate.

TABLA 2. Sesgo absoluto (en toneladas métricas) y porcentual de la BSE en 2020-2021 según la estimación del mejor modelo CAR. El sesgo se define como la estimación BSE menos la estimación CAR.

Bias	2020	2021
BET	8,307 (11.9%)	9,304 (19.3%)
SKJ	1,156 (0.6%)	-12,664 (-5.3%)
YFT	-9,463 (-17.5%)	5,841 (9.6%)

TABLE 3. OBJ estimates for BSE program divided by CAR model, for 2020-2021 for the three species of tuna.

TABLA 3. Estimaciones OBJ del programa BSE divididas por el modelo CAR, para 2020-2021, para las tres especies de atunes.

Ratio	2020	2021
BET	1.12	1.19
SKJ	1.01	0.95
YFT	0.82	1.1

TABLE 4. Correlation of BSE with the best CAR models for the three tuna species in 2010-2019.

TABLA 4. Correlación de la BSE con los mejores modelos CAR para las tres especies de atunes en 2010-2019.

Coeficientes de correlación	2010-2019 BET	2010-2019 SKJ	2010-2019 YFT
Mejor modelo CAR	0.78	0.98	0.95
Mejor modelo CAR con viajes excluidos que imita la situación de pérdida de datos de 2020	0.73	0.98	0.92
Mejor modelo CAR con viajes excluidos que imita la situación de pérdida de datos de 2020 y 2021	0.68	0.95	0.91