

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

16ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

02-06 de junio de 2025

DOCUMENTO SAC-16 INF-J

EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO PROPUESTO DE MUESTREO PROBABILÍSTICO DEL PMIP PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE MUESTREO EN PUERTO DE LA PESQUERÍA CERQUERA

Cleridy E. Lennert-Cody, Mark N. Maunder, Cristina De La Cadena, Luis Chompoy y Alexandre Aires-da-Silva

RESUMEN

Se realizó un estudio de simulación utilizando datos de observadores de 2022-2023 para evaluar el desempeño del protocolo propuesto de muestreo en puerto del Programa de Muestreo Integrado en Puerto (PMIP) para la flota de buques cerqueros de clase 6 ([SAC-16-05](#)). El protocolo propuesto de muestreo del PMIP implica muestrear 450 viajes y 1,350 bodegas al año. Para 2022-2023, en promedio, este nivel de muestreo habría producido 71% de cobertura de viajes muestreables y 18% de cobertura de bodegas muestreables. Los resultados de la simulación indicaron que para cerca del 50% o más de las pesquerías de evaluación de poblaciones para los dos tipos dominantes de lances, los lances sobre atunes asociados a delfines (DEL) y los lances sobre atunes asociados a objetos flotantes (OBJ), se habrían muestreado 10 o más bodegas con el protocolo de muestreo del PMIP, y para más del 80% de las pesquerías para esos dos tipos de lances se habrían muestreado al menos 2 o más bodegas. Para las pesquerías de evaluación de poblaciones para lances sobre cardúmenes de atunes no asociados (NOA), en promedio, para el 13% de las pesquerías se habrían muestreado 10 o más bodegas, y la cobertura aumentaría a cerca del 50% o el 60% si se muestrearan 2 o más bodegas por pesquería.

En la simulación, se calcularon, por pesquerías de evaluación de poblaciones, el sesgo relativo y el coeficiente de variación (CV) en las estimaciones de captura de especies a nivel de flota para las principales especies de atunes tropicales capturadas en lances OBJ y NOA, para el protocolo de muestreo del PMIP¹. (No se hicieron simulaciones para estimar el sesgo relativo y los CV para la pesquería DEL, que genera una captura casi exclusivamente de atún aleta amarilla, ni para atún patudo en la pesquería NOA porque constituye solo una fracción muy pequeña de la captura cerquera total de patudo). Para las pesquerías OBJ con al menos 10 bodegas muestreadas, y para especies relativamente comunes en la captura (proporción verdadera de especies > 0.1), la mediana de los valores de sesgo relativo tendió a estar centrada en o cerca de cero, y el 50% de los valores caían dentro de +/-5% o menos de la proporción verdadera de especies. Para especies menos comunes, el sesgo relativo fue mayor. En términos de CV, el desempeño del protocolo de muestreo del PMIP propuesto para las pesquerías OBJ fue mejor para SKJ, ya que casi todos los valores de CV fueron inferiores a 0.20. Para YFT, alrededor del 75% de los valores de CV

¹ El componente de muestreo dentro de la bodega se adaptó al formato de los datos de observadores.

tendieron a ser iguales o inferiores a 0.3, siempre que la proporción verdadera de YFT en la pesquería fuera > 0.1 . Para BET, en dos de las tres áreas de pesquerías OBJ que han generado la mayor parte de la captura de BET en los últimos años, el 75% de los valores de CV fueron iguales o inferiores a 0.30, y para la tercer área, la mediana de los valores de CV fue de aproximadamente 0.30. Para las dos áreas OBJ más costeras, donde la proporción verdadera de BET en la simulación fue de alrededor de 0.05, los CV fueron considerablemente más altos. En general, para la pesquería OBJ, estos resultados sugieren que el BET debería ser la especie que determine la cobertura dentro de la bodega del protocolo de muestreo del PMIP para las bodegas de lances OBJ.

Para SKJ y YFT (proporción verdadera de especies > 0.1) en las pocas pesquerías NOA que tenían al menos 10 bodegas muestreadas, la mediana de los valores de sesgo relativo tendió a estar centrada en o cerca de cero, y el 50% de los valores se situaron dentro de un margen de $\pm 5\%$ o menos de la proporción verdadera de especies. En términos de CV para SKJ, el 75% de los valores de CV estuvieron muy por debajo de 0.3 en 2022 y por debajo de 0.4 en 2023. Para YFT, la mediana de los valores de CV estuvo por debajo de 0.3 en el área donde la proporción de especies fue > 0.1 , pero considerablemente más alta en el área donde la proporción verdadera de especies fue < 0.05 .

Para BET en pesquerías OBJ, se realizaron simulaciones adicionales con protocolos alternativos que tenían una mayor cobertura de muestreo de viajes y bodegas que el protocolo del PMIP propuesto, pero una menor cobertura de muestreo dentro de la bodega. En términos de CV, esos protocolos alternativos no tuvieron, en general, un desempeño tan bueno como el protocolo de muestreo del PMIP simulado. Esto sugiere que la mayor cobertura de muestreo dentro de la bodega de bodegas de lances OBJ propuesta para el protocolo de muestreo del PMIP es beneficiosa. (El protocolo de muestreo del PMIP propuesto tiene una menor cobertura dentro de la bodega para bodegas de lances DEL y NOA, en comparación con la de bodegas de lances OBJ).

Con base en los resultados del estudio de simulación, se concluye que se esperaría que el protocolo de muestreo del PMIP propuesto para los buques de clase 6:

- a) Proporcionar datos suficientes con los cuales hacer estimaciones confiables basadas en el diseño sobre la captura de especies y sus varianzas, para especies relativamente comunes en las pesquerías dominantes de evaluación de poblaciones para OBJ y NOA. Aunque no se puso a prueba en la simulación, se espera lo mismo para DEL, que es en gran medida monoespecífica, dado el porcentaje de pesquerías de evaluación de poblaciones DEL en que se muestrean al menos 10 bodegas usando el protocolo de muestreo simulado del PMIP.
- b) Generar datos mejorados de muestreo en puerto que se puedan utilizar como parte de los métodos de estimación basados en modelos para la captura de especies a nivel de flota, utilizando múltiples fuentes de datos.
- c) Proporcionar un marco de muestreo que se pueda adaptar, si es necesario, para: abordar necesidades específicas de datos para métodos de estimación basados en modelos, como los que podrían ser beneficiosos para las bodegas de lances NOA; y, abordar cualquier otra necesidad de datos para estimar la composición por talla de la captura.

ANTECEDENTES

Muestreo tradicional en puerto para la composición por especies y las distribuciones de frecuencia de tallas de las capturas cerqueras de atunes

Desde el año 2000, los datos de muestreo tradicional en puerto (MTP) de la CIAT han desempeñado un papel crucial en la metodología utilizada para estimar la captura cerquera de especies de atunes a nivel

de flota. Esa metodología², que se basa en un enfoque de estimador de razón, se aplica a los datos del MTP para estimar la composición por especies y tallas de la captura total de atunes tropicales³ (suma de las capturas de atún aleta amarilla (YFT), atún patudo (BET) y atún barrilete (SKJ)), por área (Figura 1), mes de pesca, tipo de lance cerquero y categoría de clase de tamaño de los buques de la CIAT (clases 1-5, clase 6). Para las capturas de atunes tropicales relacionadas con combinaciones de estos factores para las cuales no hay datos de muestreo en puerto, las estimaciones de composición por especies y tallas se basan en datos del MTP de un área 'vecina', mes y/o categoría de clase de tamaño de buque, donde el vecino 'óptimo' se determina a través de un conjunto de reglas jerárquicas ad hoc que se establecieron en gran medida antes de la adopción del MTP actual en 2000 ([Tomlinson et al. 1992](#); [Suter 2010](#); [SAC-13 INF-L](#)).

Los datos del MTP son recolectados por el personal de las oficinas de campo de la CIAT cuando los buques descargan su captura en puerto. El muestreo siempre ha seguido un protocolo de múltiples etapas, donde primero se selecciona un viaje de pesca y luego una bodega (o varias bodegas) de ese viaje para el muestreo, y por último se seleccionan los peces dentro de la bodega. La selección de viajes y bodegas para muestrear, entre las bodegas de un viaje que cumplen con los mismos criterios de área/mes/tipo de lance, es en gran medida oportunista debido a restricciones logísticas. El muestreo de peces dentro de una bodega se asemeja a una muestra de un solo conglomerado, pero no se inicia desde un punto de partida aleatorio. Los datos recolectados incluyen mediciones de talla de una muestra de peces y, por separado de los peces medidos, conteos de especies de otra muestra de peces. El protocolo requiere que los muestreadores alternen entre medir y contar peces (generalmente en grupos de 25 peces para las mediciones y de 50 a varios cientos de peces para los conteos) (ver más detalles en el Anexo de [Suter 2010](#)). Este procedimiento extiende cada tipo de muestreo a una mayor fracción de la descarga, tal como lo recomienda Wild ([1994](#)), que lo que ocurriría si los conteos y las mediciones se recolectaran de un número contiguo de peces. El número total de peces de una muestra depende del tipo de lance y de la cantidad de especies que se cree que están en la captura de la bodega, según lo determinado por datos de observadores o bitácoras justo antes del muestreo. Por ejemplo, para una bodega con captura de lances sobre atunes asociados a objetos flotantes (lances OBJ) que se pensaba que contenía captura de las tres especies de atunes, la muestra generalmente consistiría en unos 550 peces (150 mediciones de talla, 50 para cada especie y conteos de especies de 400 peces); si una de las especies es poco frecuente en la captura, la muestra constaría de hasta 750 peces (150 mediciones de talla, 50 para cada especie, y conteos de especies de 600 peces).

Características de la cobertura de datos del MTP, componente de flota de clase 6

Definir la cobertura de muestreo usando el protocolo de muestreo del MTP requiere información sobre las características operativas relacionadas con la captura de cada bodega, para que se pueda determinar el número de bodegas que se habrían considerado "muestreables" según el protocolo. Para el protocolo de muestreo del MTP, "muestreables" se refiere a las bodegas que contenían captura de la misma área de medición de mercado (Figura 1), del mismo mes y tipo de lance, y que fueron descargadas en un puerto donde se realizó muestreo en algún momento durante el año (se proporcionan detalles adicionales en el Anexo).

² En varios documentos se puede encontrar una descripción de la metodología estadística utilizada desde 2000 para estimar la composición de la captura de atunes en las pesquerías de cerco para las tres especies objetivo de atún: empezando en la página 339 de [Informe de Evaluación de Stocks 2](#), empezando en la página 311 de [Informe de Evaluación de Stocks 4](#) y, para ambos períodos (1975-1999 y de 2000 en adelante), en el [documento BET-02-06](#).

³ Con base en capturas reportadas por las enlatadoras (también llamadas 'procesadoras'), observadores y en bitácoras.

Para los buques de clase 6 de la CIAT durante 2015-2023, excluyendo los años de pandemia de 2020-2021⁴, en promedio, aproximadamente el 68% de todos los viajes muestreables (los que tenían al menos una bodega muestreable) y el 15% de todas las bodegas muestreables, fueron muestreados por el MTP (Tabla 1). Casi todo el muestreo ocurrió en los puertos de Ecuador (ECU) y México (MEX)⁵. El nivel de actividad de descarga difirió entre los puertos de ECU y MEX, siendo típicamente muchos más los viajes (y bodegas) descargados en los puertos de ECU (Figura 2). En promedio, una o más bodegas se muestrearon en aproximadamente el 87% de los buques que tuvieron al menos un viaje muestreable (Tabla 2).

A nivel de bodega, típicamente se muestrearon de 1 a 2 bodegas por viaje para los viajes que descargaban en los puertos de ECU y de 1 a 3 bodegas por viaje para los viajes que descargaban en los puertos de MEX (Figura 3). La mayoría de los viajes muestreables que descargaban en esos puertos tuvieron más de 3 bodegas muestreables por viaje (Figura 3). En promedio, aproximadamente el 76% de las muestras provenían de la mitad superior de la bodega y aproximadamente el 6% de la cuarta parte inferior de la bodega, con distribuciones similares para los puertos de ECU y MEX (Tabla 3). Las bodegas muestreables con captura de lances sobre atunes asociados a delfines (DEL) y bodegas de captura de lances OBJ típicamente contenían captura de más de un lance, mientras que, en algunos años, las bodegas muestreables con captura de cardúmenes de atunes no asociados (NOA) tenían una probabilidad algo mayor de contener captura de un solo lance (Figura 4).

En promedio, aproximadamente el 48%-59% de la captura de atunes tropicales ocurrió en bodegas muestreables, dependiendo del tipo de lance (Tabla 4). Esos valores aumentaron en aproximadamente un 7% a un 11%, en promedio, cuando se consideraron todos los puertos, no solo los puertos donde se recopilaban datos del MTP.

Potencial para mejorar la recolección de datos y la estimación de capturas de especies

La investigación científica relacionada con el desarrollo del protocolo de muestreo a nivel de viaje utilizado por el Programa Reforzado de Monitoreo (PRM) de la CIAT identificó algunas áreas potenciales de mejora pertinentes para la estimación de captura a nivel de flota. Estas mejoras incluyeron minimizar los aspectos oportunistas del protocolo de muestreo del MTP, al mismo tiempo que se aumenta la flexibilidad en la selección de viajes y bodegas y se aumenta la cobertura dentro de la bodega para las bodegas de lances OBJ. Estos puntos se abordan con más detalle a continuación.

a) Minimización de aspectos oportunistas

Actualmente, existen aspectos oportunistas en la recolección de datos que surgen porque el momento del muestreo está determinado por los horarios de trabajo del personal de las oficinas de campo, debido a sus otras tareas (por ejemplo, colocación y entrevistas a observadores) y sus horarios laborales programados ([SAC-16-05](#)). Adoptar un protocolo de muestreo probabilístico para la recolección de datos de muestreo en puerto a fin de estimar la captura a nivel de flota minimizaría los aspectos oportunistas del protocolo de muestreo del MTP, con varios beneficios potenciales. Primero, con un protocolo de muestreo probabilístico, los viajes, las bodegas y las secciones de una bodega que se debe muestrear se escogerían al azar, utilizando procedimientos estadísticos específicos. Esto minimizaría la posibilidad de que se introdujera inadvertidamente sesgo en el proceso de recolección de datos. Segundo, con un protocolo de muestreo probabilístico, se conoce la probabilidad de que se incluyan viajes, bodegas y peces en una muestra y, por lo tanto, se puede usar para mejorar la ponderación de la muestra en la metodología

⁴ En algunos puertos ([SAC-13 INF-L](#); [SAC-14 INF-D](#)) se limitó la recolección de muestras en puerto durante los años de la pandemia.

⁵ En los puertos de Colombia, Costa Rica, Guatemala, Panamá, Perú y Venezuela ocurrió ocasionalmente un muestreo muy limitado. Por lo general, en cualquiera de estos puertos se muestrearon solo unas cuantas bodegas por año, y el muestreo no ocurrió en todos los años en la totalidad de estos países.

de estimación de captura de especies, por ejemplo, al usar un estimador basado en diseño. Esto reduciría la posibilidad de que la subrepresentación de algunos viajes (buques) en los datos de la muestra, en relación con la población de buques de clase 6 (por ejemplo, Figura 2), tenga un impacto negativo en la estimación de la captura (por ejemplo, como se ilustra en [SAC-15 INF-J](#)). Finalmente, adoptar un protocolo de muestreo probabilístico permitiría estimar la varianza de la captura de especies estimada para los estimadores basados en el diseño, con base en las probabilidades de muestreo, lo cual no es posible con el protocolo de muestreo del MTP.

b) Aumento de la flexibilidad en la selección de viajes y bodegas

Resulta importante incrementar la flexibilidad en la selección de bodegas y viajes en el protocolo de muestreo a fin de asegurar que el protocolo no restrinja innecesariamente las definiciones de las pesquerías utilizadas en las evaluaciones de poblaciones y las estimaciones de captura para esas pesquerías. Con el protocolo de muestreo del MTP, las bodega de un viaje solo pueden considerarse para muestreo si toda la captura en la bodega proviene del mismo mes, tipo de lance y área de medición de mercado (Figura 1) (Anexo de [Suter 2010](#)). Las áreas de medición de mercado ya no se utilizan en las evaluaciones de poblaciones de atunes y, por lo tanto, el protocolo de muestreo del MTP impone una estructura en la recolección de datos que ya no es útil para la estimación de la captura de especies. Eliminar la restricción de área, así como la restricción de mes, en la selección de bodegas aumentaría la cantidad de bodegas considerados como muestreables. En algunas pesquerías cerqueras atuneras ya se utilizan protocolos de muestreo menos restrictivos, tanto en relación con el espacio como en relación con el tiempo (Duparc et al. 2018, 2020).

c) Aumento de la cobertura dentro de la bodega para las bodegas de lances OBJ

Aumentar el alcance del muestreo dentro de la bodega para las bodegas con captura resultante de lances OBJ, con el fin de muestrear toda la captura de la bodega, conducirá a estimaciones de la composición por especies a nivel de flota con menor varianza estimada. El protocolo del MTP limita el alcance del muestreo dentro de la bodega a través del número de peces que se deben contar o medir en una muestra y su estructura compacta, en relación con la duración de la descarga; los datos casi siempre se recolectan dentro de una sola cuarta parte de la bodega (Tabla 3). Dado que la captura de varios lances OBJ generalmente se carga en la misma bodega (Figura 4), y que los lances OBJ capturan las tres especies ([Informe de la Situación de la Pesquería](#), Tabla A-7), las diferencias en la composición por especies entre lances pueden conducir a estimaciones poco representativas de la composición por especies en una bodega si solo se recolecta una submuestra de la captura total de la bodega. Esto se demostró para el patudo en la bodegas de lances OBJ mediante el estudio piloto del Programa Reforzado de Monitoreo, donde se identificaron tendencias en la composición por especies de patudo durante la carga de bodegas individuales con lances OBJ ([SAC-14-10](#); Lennert-Cody et al. 2024). Además, para un nivel fijo de cobertura de viajes y bodegas, el submuestreo de la captura de bodegas de lances OBJ generó una mayor varianza estimada en las estimaciones a nivel de flota de la captura de patudo en la pesquería de lances OBJ, en comparación con las estimaciones basadas en datos de bodegas donde se muestreó toda la captura de la bodega (Lennert-Cody et al. 2024).

Propósito de este documento

Este documento busca evaluar el protocolo de muestreo del PMIP propuesto para la recolección de datos de muestreo en puerto de la pesquería de cerco. El personal de la CIAT recomienda la implementación del PMIP como reemplazo de la recolección de datos del MTP y del PRM. El PMIP se enfocará principalmente en la recolección de datos para la investigación científica, mientras mantiene algunas de las funciones anteriormente proporcionadas por el PRM ([SAC-16-05](#)). La evaluación presentada en este documento se concentra en el componente de la flota de clase 6 de la CIAT. A fin de evaluar el desempeño del protocolo,

se realizaron estudios de simulación utilizando datos de observadores de 2022-2023. Se calculó la cobertura prevista de las pesquerías de evaluación de poblaciones con el protocolo de muestreo del PMIP propuesto. Se calcularon y compararon el sesgo relativo y el coeficiente de variación (CV) para varios niveles de cobertura de viajes, bodegas por viaje y tamaño de muestra dentro de la bodega. Aunque el protocolo de muestreo del PMIP propuesto es para la recolección de datos de muestreo en puerto, los datos de observadores a nivel de bodega se consideraron como la mejor fuente de datos para evaluar el desempeño del protocolo, debido a la cobertura por observadores del 100% en la flota de clase 6.

PROTOCOLO DE MUESTREO EN PUERTO DEL PMIP

Supuestos y propósito

El protocolo de muestreo del PMIP se desarrolló con base en los siguientes supuestos:

- 1) La prioridad para la estimación de la captura anual de especies a nivel de flota se basa en las pesquerías de evaluación de poblaciones. Además, se espera que la definición de las pesquerías de evaluación de poblaciones, en particular su estructura espacial, evolucione con el tiempo a medida que se disponga de nuevos datos y conocimientos científicos. (Esta es la razón por la que el protocolo de muestreo del PMIP propuesto adopta un enfoque dinámico, en contraste con la estructura estática del protocolo de muestreo del MTP, que ha estado en vigor desde 2000).
- 2) El protocolo de muestreo debe minimizar cualquier interferencia con la descarga de la captura (como se requería para la recolección de datos por parte del MTP y el PRM).
- 3) Antes del muestreo, la información de la base de datos sobre las características de captura a nivel de bodega que son pertinentes para las decisiones de muestreo se limitará a los informes semanales en alta mar realizados por los observadores del APICD, con datos más detallados, es decir, datos del Resumen de Lances del observador, que solo están disponibles en papel, unos días antes de que un buque llegue al puerto.
- 4) La cantidad anual de actividad pesquera, por tipo de lance, mes y área, no se conoce con anticipación al muestreo, y las posibles combinaciones de estos factores (por ejemplo, 3 tipos de lance x 12 meses x número de áreas), que en adelante se denominarán 'dominios' de evaluación de poblaciones, serán demasiado grandes para hacer un diseño de muestreo estratificado que sea logísticamente factible.
- 5) Otras fuentes de datos existentes (es decir, observadores, bitácoras, enlatadoras) no están disponibles en todas partes y/o su composición por especies no es lo suficientemente confiable como para usarla como la única fuente de información sobre la composición por especies para la estimación de captura de especies.

El protocolo de muestreo del PMIP es un protocolo de muestreo probabilístico que busca:

- 1) Minimizar la necesidad de toma de decisiones subjetivas (es decir, minimizar el sesgo de selección) durante la recolección de datos.
- 2) Generar datos con los cuales se pueda calcular la varianza de las estimaciones de composición por especies utilizando el protocolo de muestreo, es decir, con base en la probabilidad de selección relacionada con cada bodega de la muestra. (Esto no es posible con el protocolo de muestreo del MTP porque no es un protocolo de muestreo probabilístico.)
- 3) Generar datos de muestreo en puerto que produzcan estimaciones no sesgadas de la composición por especies a nivel de bodega, de modo que los datos puedan ser utilizados, en combinación con otras fuentes de datos a nivel de bodega (por ejemplo, datos de observadores), para desarrollar métodos de estimación de la captura de especies a nivel de flota usando enfoques basados en

modelos. (Para las bodegas de lances OBJ, el protocolo del MTP puede generar estimaciones sesgadas para el patudo a nivel de bodega).

Protocolo de muestreo en puerto del PMIP

El protocolo de muestreo en puerto del PMIP se aplicará a toda la flota de buques cerqueros de clase 6 de la CIAT. Los detalles logísticos se proporcionan en el documento [SAC-16-05](#). A continuación se describen las tres etapas del protocolo propuesto, que generará datos de aproximadamente 1,350 bodegas en 450 viajes cada año.

- 1) *Viajes*. Para que el muestreo aleatorio de viajes sea logísticamente factible, se seleccionan grupos de viajes mediante un protocolo de muestreo por conglomerados, en vez de escoger viajes individuales mediante muestreo aleatorio simple (SRS, por sus siglas en inglés). Para implementar el protocolo de muestreo del PMIP, los viajes se agruparán en conglomerados del mismo número de viajes, donde los viajes en cada conglomerado forman una secuencia ordenada temporalmente. El orden de los viajes se determinará por la fecha de llegada aproximada al puerto. De esta manera, cada conglomerado incluirá viajes de todo el año, desde el inicio hasta el final.

A continuación, un ejemplo para ilustrar cómo se formarían los conglomerados de viajes. Supongamos que se espera un total de 600 viajes muestreables⁶ en el año, y que se elige un tamaño de conglomerado de 100 viajes. Entonces, habrá un total de 6 muestras de conglomerados de viajes muestreables para el año ($600/100 = 6$). La siguiente tabla muestra una lista de esas 6 muestras de conglomerados, donde los números de la tabla representan el orden en que llegan los viajes al puerto. La fila superior muestra los primeros 6 viajes en llegar a puerto, de izquierda a derecha; la segunda fila, los siguientes 6 viajes, y así sucesivamente. La tabla es estática en el sentido de que, una vez que se tenga un mecanismo para ordenar los viajes y se haya determinado el número total de conglomerados, cada viaje que ocurra puede asignarse a un conglomerado (a una columna de la tabla) usando la información sobre cuándo llegará al puerto, es decir, con base en su posición en la secuencia de llegadas de todos los viajes muestreables en el mar. Esto no requiere que se conozcan todas las fechas de llegada del año al inicio del mismo, sino que se mantenga y actualice continuamente una lista de llegadas consecutivas en tiempo casi real. Para los buques cerqueros de clase 6, esto puede hacerse posible mediante el uso de datos contenidos en los informes de los observadores en el mar.

Conglomerado 1	Conglomerado 2	Conglomerado 3	Conglomerado 4	Conglomerado 5	Conglomerado 6
1°	2°	3°	4°	5°	6°
7°	8°	9°	10°	11°	12°
13°	14°	15°	16°	17°	18°
....					
589°	590°	591°	592°	593°	594°
595°	596°	597°	598°	599°	600°

⁶ Para ser muestreable con el protocolo de muestreo del PMIP, un viaje debe tener: a) captura de atunes tropicales en el OPO, b) estar descargando en uno de los cuatro puertos donde se realizará el muestreo (Manta, Manzanillo, Mazatlán, Posorja) y c) tener al menos una bodega con captura completamente del año de interés y de un solo tipo de lance cerquero (es decir, tener al menos una bodega muestreable).

Ahora, supongamos que queremos muestrear tres conglomerados de viajes durante un año. Al principio del año, seleccionaríamos al azar tres de los 6 posibles conglomerados de viajes, mediante la selección aleatoria (sin reemplazo) de tres números de la secuencia: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Supongamos que los números seleccionados al azar fueron: 1, 3, 4. Entonces, las tres muestras de conglomerados, cada una de 100 viajes, serían: el Conglomerado 1, con los viajes 1, 7, 13, ..., 595, el Conglomerado 3, con los viajes 3, 9, 15, ..., 597 y el Conglomerado 4, con los viajes 4, 10, 16, ..., 598. En el muestreo por conglomerados, son los conglomerados los que se seleccionan al azar, no los viajes individuales. Una vez que se selecciona un conglomerado, se muestrearían todos los viajes de ese conglomerado. Crear conglomerados ordenando los viajes por la fecha en que llegan al puerto es una forma de generar conglomerados que abarquen todo el año de pesca. Seleccionar al menos dos conglomerados de viajes para el muestreo permitirá estimar la variación en la composición por especies entre viajes.

Para el protocolo de muestreo del PMIP, la siguiente información llevó a los detalles específicos del muestreo por conglomerados de viajes. Primero, con base en datos de observadores para 2022 y 2023, se anticipó que el componente de flota de clase 6 haría al menos 600 viajes muestreables por año. Segundo, con el presupuesto operativo del PMIP ([SAC-16-05](#)), se espera que se pueda muestrear anualmente un total de unos 450 viajes. Por último, a fin de estimar la variación entre viajes en la composición por especies y captar la estacionalidad de la actividad de la flota en cada conglomerado de viajes, se decidió muestrear tres conglomerados de 150 viajes muestreables cada uno. Con estos parámetros, y suponiendo un total de 600 viajes muestreables, se dispondría de un total de 4 conglomerados posibles ($600/150 = 4$). Al igual que en el ejemplo anterior, para formar los conglomerados de viajes, estos se ordenarían del primero al último con base en su fecha estimada de llegada al puerto, lo que permite crear una tabla similar a la anterior. La diferencia respecto a la tabla previa es que cada conglomerado de viajes contiene 150 viajes, en vez de 100. Con 150 viajes por conglomerado, si estos se distribuyeran uniformemente a lo largo del año, se muestrearían aproximadamente 12-13 viajes por mes, y unos 2-3 por semana.

En la práctica, vale la pena mencionar dos consideraciones importantes. Primero, no se conocerá con anticipación el número total de viajes muestreables en el año, pero aun así se pueden crear los conglomerados de viajes. Si el total de viajes fuera menor de lo esperado, las conglomerados reales contendrían menos viajes al final del año (es decir, no se usarían las últimas filas de la tabla). Si en cambio hubiera más viajes de los previstos, entonces se podría ampliar el número de viajes muestreados por conglomerado, siempre que los recursos lo permitieran (es decir, se podrían agregar más filas a la tabla). Los ajustes al protocolo, en términos del número de conglomerados y de viajes por conglomerado, se podrán hacer de un año a otro, con base en la actividad registrada de pesca del año anterior (o de los años anteriores), y considerando los recursos disponibles. Si hay más viajes de los esperados y no se puede aumentar la cantidad de viajes muestreados por conglomerado para cubrir el exceso, los viajes no muestreados por conglomerado probablemente no ocurrirán de forma aleatoria. La mejor opción para considerar esto en la estimación de captura de especies se discutirá en la Revisión Externa planificada del protocolo de muestreo del PMIP (ver la sección de Discusión). Segundo, no se conocerá de antemano la fecha exacta de llegada de cada viaje. No obstante, se puede obtener una aproximación de la fecha de llegada a partir de los datos de los informes de los observadores en el mar (Informes Desde el Mar o IDM), que son enviados semanalmente por los observadores. Con esos datos, se puede estimar cuánta captura tiene un buque a bordo en relación con su capacidad (es decir, el porcentaje de ocupación), y se pueden ordenar los viajes según la fecha en que se estimó que estaban “casi” llenos (por ejemplo, por encima de un umbral del 90% de ocupación).

Es importante señalar que la definición de muestreable con el protocolo de muestreo del PMIP propuesto es diferente de la definición con el protocolo de muestreo del MTP. Para ser muestreable con el protocolo de muestreo del PMIP, un viaje debe tener: a) captura de atunes tropicales del OPO, b) descargar en uno de los cuatro puertos donde se realizará el muestreo (Manta, Manzanillo, Mazatlán, Posorja) y c) tener al menos una bodega con captura completamente del año de interés y de un solo tipo de lance de cerco (es decir, tener al menos una bodega muestreable).

- 2) *Bodegas*. Seleccionar 3 bodegas por viaje de cada viaje seleccionado en (1), por muestreo aleatorio simple, sin reposición, para un total por año de 1,350 bodegas (3 conglomerados de viajes x 150 viajes por conglomerado x 3 bodegas/viaje = 1,350 bodegas).
- 3) *Peces*. Recoger 1 muestra de conglomerado o una submuestra de ‘unidades’ de peces de cada bodega seleccionada en (2). Este componente dentro de la bodega del protocolo de muestreo del PMIP difiere según el tipo de lance. Para todas las bodegas de lances OBJ, una unidad se refiere a un recipiente de peces⁷. La muestra de conglomerado, que será un grupo secuencial de contenedores de peces, cubrirá toda la descarga de la bodega (es decir, idéntica al protocolo de muestreo dentro de la bodega del Programa Reforzado de Monitoreo, [SAC-14 INF-I](#)). Para todas las bodegas de lances DEL, se recogerá una submuestra de una sola muestra de conglomerado. En el caso de las bodegas de lances DEL, una ‘unidad’ se refiere a un pez individual, y una sola muestra de conglomerado es un grupo secuencial de peces individuales, que se crea al muestrear uno de cada 10 peces descargados de la bodega (en el caso de una captura dominada por peces pequeños, el intervalo puede ser uno de cada 30 peces). Por lo tanto, una submuestra de una sola muestra de conglomerado es una submuestra de este grupo secuencial de peces individuales. En la práctica, se utilizarán cuartas partes de la bodega para definir las submuestras; es decir, habrá 4 submuestras posibles que se podrían recolectar de una sola bodega. Se seleccionará al azar una cuarta parte de la bodega, y la parte de la muestra de conglomerado (completa) que corresponde a esa cuarta parte de la bodega será la submuestra que se recolectará. Para todas las bodegas de lances NOA, una unidad se referirá a un recipiente de peces (idéntico a las bodega de lances OBJ). Sin embargo, solo se recogerá una submuestra de la muestra de conglomerado único de contenedores de peces. La submuestra será el grupo secuencial de contenedores de peces que se descargaron de una cuarta parte seleccionada aleatoriamente de la bodega.

La recolección de datos de cada unidad de la muestra de conglomerado único, o submuestra, de peces de la bodega será como sigue. Todos los peces de cada unidad se identificarán por especie (patudo, aleta amarilla, barrilete, otro). Para la captura de lances OBJ y NOA, todos los atunes tropicales de cada unidad se pesarán individualmente hasta la cifra más cercana a 0.02 kg, o, para los peces más grandes⁸, se medirán hasta el milímetro (mm) más cercano. Para la captura de lances DEL, en lugar de recolectar datos de peso, cada atún tropical se medirá por talla hasta el milímetro (mm) más cercano. Las tallas se pueden convertir en peso utilizando relaciones de talla-peso que se desarrollarán a partir del muestreo morfométrico que realizará el Programa Reforzado de Monitoreo en 2025 ([SAC-15 INF-H](#)).

EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO DE MUESTREO EN PUERTO DEL PMIP

⁷ En caso de que no se utilicen contenedores físicos durante la descarga, se crearán contenedores virtuales de peces, donde un contenedor virtual se refiere a un grupo contiguo de 50 peces. Esto es idéntico al protocolo de muestreo dentro de la bodega del Programa Reforzado de Monitoreo. En [SAC-14 INF-I](#) se brindan más detalles.

⁸ Debido a la limitación de peso superior de las balanzas portátiles, que era de 30 kg, las especies de atunes que superaban los 28 kg se medían por talla ([SAC-14 INF-I](#)).

Datos

En el presente estudio, se utilizaron datos del Resumen de Lances (RDL)⁹ recolectados por observadores del APICD para viajes de buques de clase 6 ya que contienen información sobre la composición por especies a nivel de lance, por bodega, para todos los viajes y buques de clase 6 gracias al 100% de cobertura del programa de observadores del APICD. Se utilizaron datos de los años más recientes, 2022-2023. Fue necesario reconstruir los datos del RDL a partir de diferentes tablas de datos de observadores¹⁰ debido a que, si bien todos los observadores del APICD registran datos del RDL en los formularios de datos, estos formularios son digitados solamente para algunos viajes.¹¹ Para reconstruir el conjunto de datos del RDL para toda la flota de buques de clase 6, se asociaron diferentes tipos de datos de observadores por medio de números de viaje y posiciones y fechas de pesca (no se disponía de números de lance en todas las tablas de datos requeridas). Alrededor del 2% de las bodegas no se pudieron asociar a lances específicos y se excluyeron de la simulación los datos correspondientes a dichas bodegas. Los datos del RDL contienen información sobre el tipo de lance, la posición y fecha de pesca y las cantidades de captura, por especie, para la captura de cada lance cargado en cada bodega de un viaje.

Métodos

En la presente sección, se resume el estudio de simulación realizado para evaluar el rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP propuesto. Para la simulación, se tuvo que realizar una modificación al protocolo de muestreo del PMIP presentado líneas arriba para adaptarlo al formato de los datos del RDL. Concretamente, la tercera etapa del protocolo de muestreo de la simulación se formuló en términos del muestreo de lances de la bodega y no de unidades de peces descargadas de la bodega. Esto fue necesario debido a que los datos del RDL no cuentan con una resolución de escala fina dentro de la bodega. Bajo el protocolo de muestreo del PMIP propuesto, se muestrearía un número determinado de unidades de peces de la captura de cada lance de una bodega y, por ende, los datos realmente generados por el protocolo de muestreo del PMIP serán más detallados, a nivel de bodega, que los datos del RDL. En la práctica, cabe señalar que logísticamente sería muy difícil seleccionar capturas de diferentes lances en la bodega, ya que se desconocen los límites físicos entre las capturas de diferentes lances en la bodega y es poco probable que estén definidos.

Definición espacial de dominios y combinaciones de parámetros de muestreo utilizadas en la simulación

Debido a que se utilizan diferentes áreas en las evaluaciones de cada una de las tres especies de atunes tropicales, la simulación se ejecutó por tipo de lance x especie, para aquellos tipos de lance que contribuyeron significativamente a la captura de especies en el OPO (Figura 5). Para BET, se utilizaron las definiciones espaciales de pesquerías de lances OBJ de la evaluación de referencia de BET de 2024 ([SAC-15-02](#)). La simulación no se ejecutó para BET en bodegas de lances NOA ni en bodegas de lances DEL debido a que son los lances OBJ los que producen la inmensa mayoría de la captura cerquera de BET en el OPO ([Informe de la Situación de la Pesquería](#) 2023). Para YFT, se ejecutaron simulaciones distintas para bodegas de lances OBJ y bodegas de lances NOA, utilizando las áreas específicas por tipo de lance de la evaluación de referencia de YFT de 2025 ([SAC-16-03](#)). Solamente se ejecutaron los aspectos de la simulación relacionados con la cobertura del muestreo para YFT en bodegas de lances DEL porque los lances DEL producen casi exclusivamente YFT ([Informe de la Situación de la Pesquería](#) 2023); sin embargo, en investigaciones futuras, se evaluará el protocolo de muestreo del PMIP con respecto a la estimación de la composición por talla. Para SKJ, se ejecutaron simulaciones para bodegas de lances OBJ y bodegas de

⁹ Este tipo de datos de observadores también se conoce como datos de “plano de bodega” de observadores.

¹⁰ La base de datos de observadores permanente y la base de datos de Registros de Seguimiento de Atún (RSA).

¹¹ Los datos del RDL se consideran una fuente de datos preliminar y se sustituyen después por datos de observadores plenamente editados una vez disponibles.

lances NOA, utilizando las definiciones espaciales de pesquería específicas por tipo de lance de la evaluación de referencia de SKJ de 2024 ([SAC-15-04](#)).

En la simulación se consideraron tres combinaciones de parámetros de muestreo, que representan tres protocolos de muestreo diferentes. La primera combinación de parámetros se aproxima al protocolo de muestreo del PMIP propuesto. Las otras dos combinaciones de parámetros se ejecutaron para evaluar el efecto de un mayor esfuerzo de muestreo, en términos de bodegas y viajes, sobre el rendimiento de las dos opciones de muestreo dentro de la bodega (que se describen a continuación). Las tres combinaciones de parámetros –es decir, los tres protocolos de muestreo simulados– fueron:

- 1) El protocolo del PMIP: 3 bodegas/viaje; 3 conglomerados de 150 viajes cada uno, lo que da un total anual de 450 viajes y 1,350 bodegas;
- 2) La duplicación del número de bodegas muestreadas por viaje: 6 bodegas/viaje; 3 conglomerados de 150 viajes cada uno, lo que da un total de 450 viajes y 2,700 bodegas;
- 3) El muestreo de casi todos los viajes: 3 bodegas/viaje; 3 conglomerados de 206 viajes (2022) o 217 viajes (2023) cada uno, lo que da un total de 618 viajes y 1,854 bodegas para 2022 y 651 viajes y 1,953 bodegas para 2023.

Cabe señalar que, dado que existían más de 600 viajes muestreables tanto en 2022 como en 2023, el protocolo de muestreo simulado (1) que se presenta arriba constituye una aproximación a la implementación del protocolo del PMIP propuesto, en la práctica, en términos de la cobertura del muestreo. Por ejemplo, el número total de viajes muestreables para 2022, en el conjunto de datos de la simulación, fue de 619. El número de viajes por conglomerado, para 4 conglomerados, sería de 154 ($= 619/4$, redondeado al número entero inferior). Así, en la práctica, si los recursos lo permitieran, el PMIP podría haber muestreado 3 conglomerados de 154 viajes cada uno. En la simulación, esta forma de proceder habría arrojado tamaños de muestra diferentes en 2022 y 2023 ya que el número de viajes muestreables difería entre los años (existía un total de 653 viajes muestreables en el conjunto de datos de 2023). Para la simulación, se tomó la decisión de fijar los tamaños de muestra en 150 viajes por conglomerado para los protocolos de muestreo simulados (1) y (2), a pesar de las diferencias en la cobertura que se producirían en la simulación, ya que, en la práctica, la ampliación del muestreo más allá de 150 viajes por conglomerado dependerá de la disponibilidad de recursos (ver también la sección de Discusión). Las diferencias relativamente pequeñas en la cobertura entre los dos años pueden contribuir a diferencias en el rendimiento entre los dos años en la simulación.

Procedimiento de la simulación

La simulación, que se programó con el software estadístico gratuito R (R Core Team 2024), constaba de los siguientes pasos:

- i. Creación de conjuntos completos de datos sintéticos.
 - a. Se generaron 100 conjuntos de datos sintéticos mediante el remuestreo de viajes muestreables, con reposición, a partir de los datos originales, hasta el número total de viajes muestreables en los datos originales.
 - b. Se ordenaron los viajes en cada conjunto de datos sintéticos por fecha de descarga (primera bodega); los viajes que presentaban la misma fecha de descarga se ordenaron de manera aleatoria.
- ii. Generación de muestras a partir de cada conjunto completo de datos sintéticos.

- a. Para cada conjunto completo de datos sintéticos, se generaron 30 conjuntos de datos de muestra diferentes, como sigue:
 - i. Se seleccionaron tres muestras de conglomerados de viajes. Dado el número de viajes por conglomerado en los protocolos simulados (1) y (2) (es decir, 150 viajes) y el número total de viajes muestreables de cada población (619 para 2022, 653 para 2023), se supuso que existía un total de 4 conglomerados posibles en cada población bajo los protocolos de muestreo simulados (1) y (2). De estos 4 conglomerados, las muestras de 3 conglomerados que se podían extraer eran (1,2,3), (1,3,4), (1,2,4) y (2,3,4). Para el protocolo de muestreo simulado (3), se aumentó el número de viajes por conglomerado a un tercio, aproximadamente, del número total de viajes muestreables y, por lo tanto, solamente existían tres posibles muestras de conglomerados en la población. Es decir, bajo el protocolo de muestreo simulado (3), se muestrearon todos los conglomerados y casi todos los viajes posibles. Por otro lado, bajo los protocolos de muestreo simulados (1) y (2), se muestrearon 450 viajes de un total supuesto de 600 viajes. No obstante, para los tres protocolos de muestreo simulados, se evaluó el rendimiento en función de los valores de la población (ver abajo), que estaban basados en el número total de viajes en el conjunto completo de datos sintéticos.
 - ii. Para cada viaje de un conglomerado, se extrajeron 3 bodegas muestreables por viaje, por muestreo aleatorio simple (SRS) sin reposición, de entre todas las bodegas muestreables del viaje, para los protocolos de muestreo simulados (1) y (3), y 6 bodegas por viaje para el protocolo de muestreo simulado (2).
 - iii. Para cada bodega seleccionada, se utilizaron dos opciones de selección de lances:
 - 1) “todos los lances”: toda la captura de todos los lances en la bodega, es decir, un censo de la captura de la bodega; y 2) “1 lance al azar”: toda la captura de uno de los lances de la bodega, seleccionado aleatoriamente de entre los lances existentes en la bodega. Las dos opciones pretenden ser una aproximación de los dos tipos de muestreo dentro de la bodega bajo el protocolo de muestreo del PMIP propuesto: el muestreo completo de la captura de la bodega, es decir, el protocolo de muestreo dentro de la bodega del PMIP para bodegas de lances OBJ, el cual se aproxima en la simulación mediante la opción “todos los lances”; y, por otra parte, el submuestreo de la captura de la bodega, es decir, el protocolo de muestreo dentro de la bodega del PMIP para bodegas de lances DEL y lances NOA, el cual se aproxima en la simulación mediante la opción “1 lance al azar”. Para las bodegas seleccionadas que contienen captura de un solo lance, ambas opciones de selección de lances producirán en la simulación el mismo resultado a nivel de bodega. Nótese que las cantidades de captura del RDL se expresan en peso de peces (y no en número de peces).
- iii. Estimación de las proporciones de especies por dominio (es decir, por una combinación específica de tipo de lance x mes x área de pesquería de la evaluación de poblaciones) para cada una de las 30 muestras de un conjunto completo de datos sintéticos.
 - a. Para la post-estratificación de los datos de las muestras en dominios, las bodegas muestreadas fueron asignadas a tipo de lance x mes x área, con base en la información asociada con los lances a partir de los cuales se cargó la captura en la bodega. Para las bodegas que presentaban captura de más de un lance, y cuyos lances eran de meses y/o áreas diferentes, se asignó a la bodega el mes y área del lance correspondiente a la mayor

parte de la captura de la bodega. (Todos los lances de la bodega eran del mismo tipo, tal como lo exigían los criterios utilizados para seleccionar bodegas muestreables.)

- b. Se estimaron las proporciones de especies, por dominio, de acuerdo con la ecuación 4 que se presenta a continuación, para los dominios representados por un mínimo de 10 bodegas muestreadas.
 - c. Lo anterior arrojó hasta 30 estimaciones de proporciones de especies para cada dominio con información suficiente, para cada uno de los 100 conjuntos completos de datos sintéticos.
- iv. Cálculo de métricas de rendimiento para diferentes combinaciones de parámetros para cada conjunto completo de datos sintéticos.
- a. La cobertura de los dominios, que se calculó únicamente a partir de los resultados de salida de la simulación para el primer conjunto de datos sintéticos, se resumió con el número (y porcentaje) de dominios asociados con un tipo de lance determinado que tenían 2 o más bodegas muestreadas, o 10 o más bodegas muestreadas.
 - b. El rendimiento de una opción de parámetro para un dominio y especie se resumió con:

$$i. \text{ Sesgo relativo} = \frac{(\overline{\hat{p}_{d_spp}} - p^*_{d_spp})}{p^*_{d_spp}}$$

$$ii. CV = \frac{\sqrt{\text{Varianza}}}{p^*_{d_spp}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{(\text{número de muestras}-1)}\right) \sum \text{muestras} (\hat{p}_{d_spp} - \overline{\hat{p}_{d_spp}})^2}}{p^*_{d_spp}}$$

donde $\hat{p}_{d_spp}$ es la proporción estimada de especies a nivel de flota correspondiente al dominio, basada en una única muestra del conjunto completo de datos sintéticos, de acuerdo con la ecuación 4 que se presenta a continuación; $\overline{\hat{p}_{d_spp}}$ es el promedio de las estimaciones de las muestras para ese conjunto completo de datos sintéticos en particular; y $p^*_{d_spp}$ es la proporción verdadera de especies a nivel de flota correspondiente al dominio del conjunto completo de datos sintéticos (calculada como la suma de toda la captura de la especie dividida por la suma de toda la captura de los atunes tropicales, del mismo conjunto completo de datos).

- c. Se resumieron las estimaciones de CV y de sesgo relativo de los 100 conjuntos completos de datos sintéticos, para una combinación determinada de parámetros de muestreo, por área y tipo de lance, mediante gráficas de caja y bigotes. Nótese que la variabilidad que muestran estas gráficas de caja y bigotes para una única área y tipo de lance se debe tanto a la variabilidad entre meses para la misma población como a la variabilidad entre poblaciones. Cabe señalar también que, para algunas poblaciones, es posible que algunas combinaciones de parámetros de muestreo, áreas y tipos de lance no hayan contado con suficientes datos de muestra para hacer una estimación (es decir, por lo menos 10 bodegas muestreadas) y, por lo tanto, los resúmenes correspondientes a esas combinaciones se basarían en un número de conjuntos completos de datos sintéticos inferior al total de 100.

Estimación de $\hat{p}_{d_spp}$

Siguiendo la metodología general de estimación que presenta Lohr (2022) para el muestreo probabilístico, puede obtenerse un estimador de la proporción de especies, basado en el diseño, a partir de los protocolos de muestreo probabilístico simulados que se describen líneas arriba. Para estos protocolos de muestreo,

la probabilidad de que una “observación” de una bodega (un lance, todos los lances) se incluya en una muestra (la probabilidad de “inclusión”) viene dada por la siguiente ecuación, suponiendo que se muestrean todos los viajes de cada conglomerado:

$$P(\text{observación } k \text{ de bodega } j \text{ de viaje } i \text{ de conglomerado } c) = \left(\frac{s_c}{S_c}\right) \left(\frac{m_{ci}}{M_{ci}}\right) \left(\frac{l_{cij}}{L_{cij}}\right) \quad \text{eq. 1}$$

donde se seleccionaron al azar s_c conglomerados de viajes de un total de S_c conglomerados posibles (se muestrean todos los viajes n_c del conglomerado s_c), se seleccionan por SRS sin reposición m_{ci} bodegas de M_{ci} para el viaje i , y se seleccionan l_{cij} lances de los L_{cij} lances de cada una de las m_{ci} bodegas del viaje i seleccionadas por SRS sin reposición. Para la opción “1 lance al azar”, $l_{cij} = 1$, y para la opción “todos los lances”, $l_{cij} = L_{cij}$. Cabe notar que la ecuación 1 supone que los S_c conglomerados, en conjunto, contienen el número total de viajes en la población, el cual es una aproximación en el caso de los protocolos de muestreo simulados (1) y (2).

Dada la probabilidad de inclusión de la ecuación 1, la ponderación de muestreo de una observación de una bodega (un lance, todos los lances), que se utiliza para expandir los datos a nivel de flota, es la inversa de la probabilidad de que haya sido muestreada:

$$\omega_{cijk} = \frac{1}{P(\text{observación } k \text{ de bodega } j \text{ de viaje } i \text{ de conglomerado } c)} = \left(\frac{S_c}{s_c}\right) \left(\frac{M_{ci}}{m_{ci}}\right) \left(\frac{L_{cij}}{l_{cij}}\right) \quad \text{eq. 2}$$

Cabe señalar que, al igual que el protocolo de muestreo del PMIP propuesto, el protocolo de la simulación no es específico de cada especie. Para los protocolos de muestreo simulados (1) y (2), el factor de expansión $\left(\frac{S_c}{s_c}\right)$ de la ecuación 2 no toma en cuenta los viajes más allá de 600 que no se incluyeron en los 4 conglomerados de 150 viajes. En este sentido, las métricas de rendimiento que se calculan a continuación reflejan una situación en la que los 450 viajes y 3 bodegas por viaje del protocolo de muestreo del PMIP propuesto no pueden ampliarse para cubrir todos los viajes en los 4 conglomerados. Además, se señala que, si el nivel de cobertura del muestreo en todas las etapas del protocolo fuera muy bajo, la expansión de esos datos de muestra, como ocurre con las ponderaciones de muestreo de la ecuación 2, no necesariamente corregirá una falta de representatividad en la muestra y, por ende, podría dar lugar a una estimación deficiente de la captura de especies a nivel de flota en el dominio. Esto podría ocurrir con el protocolo de muestreo del PMIP propuesto, en caso de que la cobertura del muestreo fuera muy baja.

Un estimador de la proporción de especies spp en la captura a nivel de flota a partir de los datos de muestra, para toda la población muestreable de viajes, es decir sin post-estratificación, vendría dado por:

$$\hat{p}_{spp} = \frac{\hat{C}_{spp}}{\hat{C}_{atunes_tropicales}} = \frac{\sum_c \sum_i \sum_j \sum_k \omega_{cijk} y_{spp_cijk}}{\sum_c \sum_i \sum_j \sum_k \omega_{cijk} y_{atunes_tropicales_cijk}} \quad \text{eq. 3}$$

donde $\hat{C}_{...}$ es la captura estimada (en peso) e y corresponde a la cantidad de muestra (en peso) de la especie o de todos los atunes tropicales. Cabe señalar que, en estudios futuros, podría considerarse una revisión de la ecuación 3, suponiendo que se conoce la captura total de las tres especies en la bodega.

Con el protocolo de muestreo del PMIP propuesto, se requiere la post-estratificación de los datos de muestra para obtener estimaciones a nivel de dominio porque el protocolo de muestreo del PMIP no es un protocolo de muestreo estratificado. Por lo tanto, la estimación requiere ponderaciones de muestreo ajustadas, las cuales, según Lohr (2022 página 330 ecuación 8.12), tienen en cuenta el hecho de que la proporción de observaciones en cada dominio (postestrato) en los datos de muestra puede no ser igual a

la de la población, debido a que se tomó una muestra en lugar de obtener un censo. Un estimador, basado en el diseño, de la proporción de especies *spp* en la captura a nivel de flota del dominio *d*, que utiliza ponderaciones de muestreo ajustadas, viene dado por:

$$\hat{p}_{d_spp} = \frac{\hat{c}_{d_spp}}{\hat{c}_{d_atunes_trop}} = \frac{\sum_c \sum_i \sum_j \sum_k \omega_{cijk_d}^* y_{spp_cijk} x_{cijk_d}}{\sum_c \sum_i \sum_j \sum_k \omega_{cijk_d}^* y_{atunes_tropicales_cijk} x_{cijk_d}} \quad \text{eq. 4}$$

donde $\omega_{cijk_d}^* = \omega_{cijk} \frac{O_d}{\sum_B \omega_{cijk} x_{cijk_d}}$, O_d es el número total de bodegas muestreables de la población de viajes muestreables en el dominio *d*, x_{cijk_d} es una variable indicadora que toma el valor de 1 si la muestra de la bodega proviene de la celda de dominio *d* y 0 en caso contrario, y *B* es el conjunto de todas las bodegas en los datos de muestra. El ajuste tiene como objetivo ajustar las ponderaciones de muestreo para representar el número total de bodegas muestreables en el dominio.

Resultados

Cobertura

Bajo el protocolo de muestreo del PMIP (muestreo de 450 viajes y 1,350 bodegas por año), el porcentaje de cobertura de viajes y bodegas muestreables por el PMIP en 2022 y 2023 (Tabla 5) habría sido similar al porcentaje de cobertura real del MTP de viajes y bodegas muestreables por el MTP en esos años (Tabla 1). Con 1,350 bodegas por muestrear, el protocolo de muestreo del PMIP muestrearía un número mucho mayor de bodegas en comparación con el número promedio de bodegas muestreadas por el protocolo de muestreo del MTP, que es de 847 bodegas aproximadamente. Sin embargo, el porcentaje de cobertura muestra poca diferencia debido a que la flexibilidad del protocolo del PMIP con respecto al área y al mes implica que existen más bodegas en la población muestreable del PMIP (es decir, más bodegas que pueden muestrearse).

El número de dominios de evaluación de poblaciones con datos de muestra bajo el protocolo de muestreo del PMIP propuesto varió según el tipo de lance (Tabla 6). Aproximadamente, entre un 50% y 60% de los dominios de lances OBJ tenían al menos 10 bodegas muestreadas por dominio y más del 80% tenían 2 o más bodegas muestreadas por dominio, independientemente de la configuración de área específica por especie de los dominios. En el caso de los dominios de lances DEL, poco menos del 40% de los dominios tenían al menos 10 bodegas muestreadas por dominio y alrededor del 80% tenían al menos 2 bodegas muestreadas por dominio. En cuanto a los dominios de lances NOA, la cobertura fue más baja y varió según la configuración de área (es decir, las áreas de la evaluación de YFT frente a las áreas de la evaluación de SKJ). En el caso de las áreas NOA de la evaluación de SKJ, el 27% en 2022 y el 12% en 2023 tenían 10 o más bodegas muestreadas por dominio. En el caso de las áreas NOA de la evaluación de YFT, el 7% de las áreas en ambos años tenían 10 o más bodegas muestreadas por dominio. La cobertura aumentó a entre el 50% y el 60%, aproximadamente, al considerar 2 o más bodegas muestreadas por dominio.

Características generales de la salida de la simulación

De manera general, en todos los tipos de lances y especies, existía una relación creciente entre el sesgo relativo en ambas opciones de muestreo dentro de la bodega, así como entre el CV de esas dos opciones (Figura 6). Para una especie determinada, en cada dominio individual, el sesgo relativo de la opción “todos los lances” podía ser superior o inferior al de la opción “1 lance al azar”, pero el CV de la opción “todos los lances” fue casi siempre inferior al CV de la opción “1 lance al azar”. Por supuesto, en caso de existir captura proveniente de un solo lance en cada bodega muestreada de cada muestra de un conjunto completo de datos sintéticos, el sesgo relativo y el CV correspondientes a un dominio y una especie serían iguales en ambas opciones de muestreo dentro de la bodega debido a que ambos protocolos de muestreo dentro de

la bodega producirían exactamente los mismos datos de muestra. Sin embargo, como lo muestra la Figura 4, es poco probable que este sea el caso.

Rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP para dominios de lances OBJ

En general, el rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP simulado fue mejor en los dominios en los que la especie de interés era relativamente común en la captura, de ahí que, en los dominios OBJ con un mínimo de 10 bodegas por muestra, el rendimiento fue en su mayor parte bastante bueno para SKJ y razonable para YFT, en casi todos esos dominios, y razonable para BET en aquellos dominios que estaban basados en áreas en las que la proporción verdadera de BET en la captura para las simulaciones era generalmente superior a 0.1 (Figuras 7 – 12). Para el sesgo relativo en la proporción estimada de SKJ, entre todos los meses y poblaciones en las 5 áreas OBJ-SKJ (Figuras 9, 12), la mediana de los valores de la simulación estaba centrada en cero y el rango intercuartil (IQR) estuvo igual o inferior a $\pm 5\%$ del verdadero valor de la proporción de la población. Para el sesgo relativo en la proporción estimada de YFT, entre todos los meses y poblaciones, el sesgo relativo mediano estuvo generalmente cercano a cero y el IQR estuvo en torno a $\pm 5\%$ del verdadero valor de la proporción de la población (Figuras 8, 11). Para el sesgo relativo en la proporción estimada de BET, entre todos los meses y poblaciones, el sesgo relativo mediano estuvo generalmente cercano a cero y el IQR estuvo en torno a $\pm 5\%$ del verdadero valor de la proporción de la población en las áreas 1 y 2 (Figura 5), las dos áreas con mayor captura de BET en años recientes ([SAC-15-02](#)), e inferior a $\pm 10\%$ aproximadamente en las áreas 3-5 (Figuras 7, 10). Para las tres especies, la opción “todos los lances” produjo generalmente un IQR más pequeño y un menor rango global de sesgo relativo que la opción “1 lance al azar”.

El rendimiento del protocolo del PMIP con respecto a los CV estimados, así como las diferencias entre especies y dominios, fue en general similar al rendimiento respecto del sesgo relativo (Figuras 7-12) pero la mejora que representa la opción “todos los lances” frente a la opción “1 lance al azar” fue mayor para YFT y –sobre todo– para BET que para SKJ. Para SKJ en áreas OBJ-SKJ, los CV máximos estimados, tanto para la opción “todos los lances” como para la opción “1 lance al azar”, fueron en su mayor parte inferiores a 0.2 y el cuartil superior de los valores de CV fue inferior a 0.15 (Figuras 9, 12). Para YFT en las áreas OBJ-YFT, el cuartil superior de los valores de CV estimados para la opción “todos los lances” fue de 0.30 o menos para todas las áreas excepto la 5 en 2022 (Figuras 8, 11). Para BET en los dominios OBJ-BET, el cuartil superior de los valores de CV para la opción “todos los lances” fue inferior a 0.30 en las áreas 1-2 y el valor de CV mediano fue de 0.3 aproximadamente en el área 4. En las áreas 3 y 5, donde la proporción verdadera de BET en la población fue inferior a 0.1, el cuartil inferior de los valores de CV para la opción “todos los lances” fue superior a 0.3 (Figuras 7, 10).

Rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP para dominios de lances NOA

Existían menos dominios NOA con un mínimo de 10 bodegas muestreadas para poder evaluar el rendimiento del protocolo del PMIP (Tabla 6), lo cual se relaciona con el número menor de lances NOA en 2022 y 2023, entre otros factores. En 2022-2023, se realizaron entre 17,000 y 18,000 lances OBJ, frente a 4,000-5,000 lances NOA (todas las clases de capacidad de buque; [Informe de la Situación de la Pesquería 2023](#), Tabla 7). Para YFT en el área 4 NOA-YFT (Figura 13), para la opción de “1 lance al azar”, el IQR del sesgo relativo estuvo dentro del $\pm 5\%$ de los verdaderos valores de la proporción y el valor de CV mediano se situó por debajo de 0.3, con un valor cuartil superior de aproximadamente 0.4. Sin embargo, en el área 5, donde el valor medio de la proporción de la población fue inferior a 0.1, para la opción “1 lance al azar”, el IQR de los valores de sesgo relativo fue alrededor de $\pm 10\%$ o más y el cuartil inferior de los valores de CV fue superior a 0.3. Para SKJ en el área 3 NOA-SKJ (Figura 14), la única área con un mínimo de 10 bodegas por muestra, el IQR del sesgo relativo estuvo dentro del $\pm 5\%$ de los verdaderos valores de la población para la opción “1 lance al azar” y el cuartil superior de los valores de CV se situó muy por debajo de 0.3 en 2022 pero alrededor de 0.4 en 2023.

Comparación del protocolo del PMIP con aquellos en los que se muestrean más bodegas y viajes

Teniendo en cuenta los resultados presentados anteriormente, la comparación entre el protocolo de muestreo del PMIP simulado y los otros protocolos de muestreo simulados se centró en el rendimiento para BET en los dominios de evaluación de la población OBJ-BET. La comparación se realizó entre la opción “todos los lances” bajo el protocolo de muestreo del PMIP simulado, es decir, el protocolo de muestreo simulado (1), y la opción “1 lance al azar” bajo los protocolos de muestreo simulados alternativos (2) y (3), con mayor cobertura de viajes y/o bodegas.

Globalmente, el protocolo de muestreo del PMIP con la opción “todos los lances” mostró muchas veces un rendimiento similar o mejor que la opción “1 lance al azar” bajo los protocolos de muestreo alternativos (2) y (3), especialmente en lo que respecta al CV (Figuras 15-22). En cuanto al sesgo relativo, el protocolo de muestreo del PMIP con la opción “todos los lances” arrojó resultados muy similares a los de los otros dos protocolos de muestreo bajo la opción “1 lance al azar”, excepto en el área 3, donde el protocolo (3), en el que se muestrearon más viajes (y por ende también más bodegas), produjo un poco menos de sesgo negativo. Para el CV, el protocolo de muestreo del PMIP con la opción “todos los lances” mostró valores de CV similares o mejores que los CV obtenidos con cualquiera de los otros dos protocolos de muestreo con la opción “1 lance al azar”, excepto el protocolo de muestreo (2), que muestreó más bodegas, en el área 3 en 2023.

DISCUSIÓN

Se ha presentado el protocolo de muestreo del PMIP propuesto para la recolección de datos de muestreo en puerto de la flota cerquera de clase 6 del OPO y se evaluó su rendimiento mediante simulaciones que utilizaron datos del RDL de observadores de 2022-2023. El protocolo de muestreo del PMIP propuesto es un protocolo en tres etapas, con el muestreo por conglomerados de viajes, el muestreo aleatorio simple (sin reposición) de bodegas y el muestreo por conglomerados de unidades de peces dentro de la bodega. Suponiendo que la dinámica de pesca siga siendo similar, en promedio, se esperaría que el protocolo de muestreo del PMIP alcanzara una cobertura del 71% de los viajes muestreables y 18% de las bodegas muestreables, anualmente. Bajo el protocolo de muestreo del PMIP, se esperaría que alrededor del 50% o más de las pesquerías de las evaluaciones de poblaciones (los “dominios”) correspondientes a los dos principales tipos de lance (DEL y OBJ) tuvieran 10 o más bodegas muestreadas por año. Sin embargo, en promedio, sólo el 13% de los dominios NOA tenían 10 o más bodegas muestreadas por año.

Los resultados de las simulaciones en cuanto al rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP, resumidos en términos del sesgo relativo y CV de las proporciones estimadas de especies, por dominio, fueron en general similares para los dos años.¹² Para las especies de atunes tropicales relativamente comunes (con proporción verdadera de la especie > 0.1) en dominios OBJ con un mínimo de 10 bodegas muestreadas, la mediana de los valores de sesgo relativo tendía a centrarse en o cerca de cero, con un IQR en torno a +/- 5% o menos del verdadero valor de la proporción. Para las especies menos comunes, el sesgo relativo era mayor. En términos de CV, el rendimiento del protocolo de muestreo del PMIP en dominios OBJ fue mejor para SKJ, estando casi todos los valores de CV por debajo de 0.20. Para YFT, el cuartil superior de los valores de CV tendía a situarse en o por debajo de 0.3, siempre y cuando la proporción verdadera de YFT en el dominio > 0.1. Para BET, el cuartil superior de los valores de CV se situó en o por debajo de 0.30 únicamente en aquellos dominios que generaban mayor captura de BET (Figura 5, áreas 1 y 2 BET-OBJ). En el área 4 BET-OBJ, la mediana de los valores de CV se situó en torno a 0.30. En las otras dos áreas, donde la proporción verdadera de BET en la simulación era de aproximadamente 0.05,

¹² No se ejecutaron simulaciones para la pesquería DEL, que genera casi exclusivamente captura de YFT, ni para BET en la pesquería NOA porque representa una fracción muy pequeña de la captura NOA ([Informe de la Situación de la Pesquería](#) 2023).

los CV eran considerablemente más altos. En general, para la pesquería OBJ, estos resultados sugieren que BET debe ser la especie que determine la cobertura dentro de la bodega del protocolo de muestreo del PMIP para bodegas de lances OBJ. Para SKJ y YFT en los pocos dominios NOA que contaban con un mínimo de 10 bodegas muestreadas y donde la proporción verdadera de la especie > 0.1 (área 3 SKJ-NOA y área 4 YFT-NOA), la mediana de los valores de sesgo relativo tendía a centrarse en o cerca de cero, con un IQR en torno a $\pm 5\%$ o menos del verdadero valor de la proporción. En términos de CV, para SKJ en el área 3 SKJ-NOA, el cuartil superior de los valores de CV se situó muy por debajo de 0.3 en 2022 y en torno a 0.4 en 2023. Para YFT, la mediana de los valores de CV se situó por debajo de 0.3 en el área 4 YFT-NOA.

La opción de muestreo dentro de la bodega “todos los lances” del protocolo de muestreo del PMIP simulado para las bodegas de lances OBJ mostró en general un rendimiento similar o mejor para los CV para BET en dominios OBJ que la opción “1 lance al azar” bajo los dos protocolos de muestreo simulados alternativos, en los que se duplicaba el número de bodegas muestreadas o se muestreaban casi todos los viajes muestreables. Dado que las bodegas de lances OBJ suelen tener captura de más de un lance, cuando se muestrea toda la captura de la bodega, se muestrearán la captura de todos los lances en la bodega. La mejora en los CV con la opción “todos los lances” es congruente con los resultados de estudios anteriores con datos de muestreo en puerto de un estudio piloto del PRM y simulaciones con datos del RDL de observadores, que sugirieron que la precisión sería mejor al muestrear toda la captura de las bodegas de lances OBJ (Lennert-Cody *et al.* 2024). Con un nivel de cobertura de viajes y bodegas inferior al del protocolo de muestreo del PMIP propuesto (Tabla 6), como pudiera ocurrir si no fuera posible que el protocolo de muestreo del PMIP fuera implementado por muestreadores dedicados, no se esperaría que ninguna de las dos opciones de muestreo dentro de la bodega produjera resultados satisfactorios en términos de sesgo relativo y CV (Figura 23).

Otra ventaja de la mayor cobertura dentro de la bodega del protocolo de muestreo del PMIP para las bodegas de lances OBJ es que ofrecerá estimaciones de especies más fiables a nivel de bodega, lo cual brindará más opciones de métodos para la estimación de la captura de especies a nivel de flota. Algunos ejemplos del sesgo existente para BET a nivel de bodega, derivado del protocolo limitado de muestreo dentro de la bodega utilizado por el MTP, se pueden observar en una comparación de las estimaciones a nivel de bodega del PRM y las estimaciones a nivel de bodega del MTP para las mismas bodegas (Figuras 24 y 25). Si bien el número de bodegas muestreadas bajo ambos protocolos es bajo y no se trata de una muestra aleatoria de bodegas, puede observarse que, para las estimaciones que presentan mayor diferencia, el protocolo del MTP llevó probablemente a una sobreestimación de la proporción de BET en la bodega debido a que no se muestreó una cantidad suficiente de la captura de la bodega. Este sesgo llevará a un mayor error de predicción en un modelo de la relación a nivel de bodega entre datos de muestreo en puerto y datos de observadores (por ejemplo, [SAC-16 INF-I](#)), lo cual complicará cualquier esfuerzo para utilizar un enfoque basado en modelos para la estimación de la captura de especies a nivel de flota, que incorpore tanto datos de observadores como datos de muestreo en puerto.

Cabe señalar que, a pesar de varias mejoras importantes del protocolo de muestreo del PMIP propuesto frente al protocolo del MTP, el bajo nivel de cobertura de muestreo para algunos dominios (Tabla 6) es un resultado compartido por los protocolos de muestreo del PMIP y del MTP, debido a la limitación de recursos. Para el MTP, esto ya se ha señalado anteriormente ([Tomlinson et al. 1992](#); [Suter 2010](#); [SAC-13 INF-L](#)). Con el PMIP, se tomarán varias medidas para intentar enfrentar esta dificultad, dentro del presupuesto aprobado, como explorar opciones para lograr mejoras metodológicas adicionales en el protocolo de muestreo, así como mejoras en la metodología para la estimación de la captura de especies, tanto para estimadores basados en el diseño como estimadores basados en modelos. Además, como se comentó en [SAC-16-05](#), también se está estudiando la posibilidad de colaborar con universidades para crear pasantías de estudiantes para ayudar con el muestreo.

En cuanto a las mejoras del protocolo de muestreo del PMIP propuesto, se realizarán estudios de simulación con los datos recolectados bajo el Proyecto C.1.b ([SAC-16 INF-H](#)) para seguir evaluando el componente de muestreo dentro de la bodega del protocolo de muestreo del PMIP para las bodegas DEL y NOA, lo cual podría dar lugar a modificaciones del protocolo de muestreo del PMIP que permitan un uso más eficiente de los recursos disponibles. El Proyecto C.1.b generó datos de composición por talla y especie de alta frecuencia para bodegas de lances DEL y NOA, similares a los datos recolectados durante el estudio piloto del PRM para bodegas de lances OBJ. Los estudios de simulación evaluarán el sesgo y la precisión de las estimaciones a nivel de bodega bajo diferentes tipos de submuestreo dentro de la bodega, tanto para la composición por talla como para la composición por especies.

Además, se espera que más adelante este año se realice una revisión externa del protocolo de muestreo del PMIP propuesto y de la metodología para la estimación de la captura de especies. Se prevé que el panel de revisión aporte sugerencias para mejorar el protocolo de muestreo del PMIP, tales como la mejor manera de abordar la estimación cuando existan viajes no muestreados en los conglomerados seleccionados, por ejemplo porque ocurrieron más viajes por conglomerado de los que se pudieron muestrear con los recursos disponibles. El hecho de que la post-estratificación de los datos de muestreo en puerto incluya el mes como una de las variables de post-estratificación puede ser una ventaja en este sentido. La revisión externa también podría generar sugerencias de otros estimadores basados en el diseño, más allá de la adaptación de la ecuación 4 al protocolo de muestreo del PMIP propuesto, así como de estimadores basados en modelos relacionados con métodos de “estimación en áreas pequeñas” (por ejemplo, Porter *et al.* 2014; Erciulescu *et al.* 2019).

Como parte del desarrollo de un estimador de la captura total de especies a nivel de flota por dominio, es útil considerar primero una formulación conceptual simple. La captura total estimada de especies spp en el dominio de evaluación de poblaciones d , $\hat{C}_{d_spp}$, puede expresarse como la suma de dos estimaciones:

$$\begin{aligned}\hat{C}_{d_spp} &= \hat{p}_{d_spp} C_{d_atunes_tropicales} \\ &= \hat{p}_{d_spp_muestreable} C_{d_atunes_tropicales_muestreable} \\ &\quad + \hat{p}_{d_spp_NOmuestreable} C_{d_atunes_tropicales_NOmuestreable}\end{aligned}$$

donde $C_{d_atunes_tropicales_...}$ corresponde a la captura total de atunes tropicales para la flota en el dominio d (que se obtiene a partir de información de enlatadoras, observadores y bitácoras) y se supone conocido. Para los dominios con datos de muestreo en puerto suficientes, el primer término se puede estimar a partir de datos de muestreo en puerto únicamente, utilizando un estimador basado en el diseño para la proporción de especies. El estimador de la proporción de especies en el estudio de simulación fue una ilustración simplista de esto, que podría adaptarse al protocolo de muestreo del PMIP propuesto. En el caso de los dominios con datos de muestreo en puerto escasos o inexistentes, el primer término tendría que estimarse a partir de un enfoque basado en modelos. El segundo término, por definición, tendría que estimarse a partir de un enfoque basado en modelos. Cabe señalar que para los viajes y bodegas no muestreables, la estimación requiere el supuesto de que los procesos asociados con la captura no muestreable son los mismos que los asociados con la captura muestreable. Son ejemplos de estos procesos los efectos específicos de buques, ya que algunos buques pueden no ser nunca objeto de muestreo debido a los puertos donde descargan su captura, y los procesos que generan lances de poca captura y por ende bodegas de lances mixtos. En el caso de la metodología de estimación actual con los datos del MTP para dominios con datos de muestreo en puerto escasos o inexistentes y datos no muestreables (Tomlinson *et al.* 1992; Suter 2010; [SAC-13 INF-L](#)), se utiliza un tipo de enfoque basado en modelos, que se basa únicamente en datos de muestreo en puerto. Sin embargo, la estructura de los modelos de este enfoque tiene carácter *ad hoc* y no está fundamentada en el análisis de datos recientes.

Para desarrollar nuevos enfoques basados en modelos para la estimación de la captura de especies, ya sea para todos los dominios o únicamente para aquellos con datos de muestreo en puerto escasos o inexistentes, se consideran actualmente tres mejoras basadas en datos para la estimación de la captura de especies: 1) el mayor uso de covariables, 2) el uso tanto de datos de muestreo en puerto como de datos de observadores y 3) la inclusión de correlaciones espaciotemporales de escala fina.

Las covariables podrían ser, por ejemplo, el viaje, el buque, covariables a nivel de bodega (por ejemplo, resumen de fechas de pesca para lances en la bodega, centroide de la latitud de los lances en la bodega, centroide de la longitud de los lances en la bodega) y covariables de características operativas a nivel de buque (por ejemplo, uso de una tolva). La inclusión de covariables a nivel de bodega puede mejorar el rendimiento de los modelos para viajes y buques nunca muestreados. Se podría estimar el error en las predicciones de los modelos y, por ende, el error en la estimación de la captura de especies a nivel de flota. El estudio de modelado de efectos mixtos que se presenta en [SAC-16 INF-I](#) utiliza este enfoque al predecir la composición por especies a nivel de bodega del muestreo en puerto en función de la composición por especies de observadores y covariables. Enfoques alternativos podrían ajustarse simultáneamente a datos de muestreo en puerto y de observadores en función de covariables, con un modelo de observación para el ajuste a los datos de observadores que representa la relación entre las estimaciones de composición por especies del muestreo en puerto y las de observadores.

Es de esperar una correlación de la composición por especies en el espacio y en el tiempo. Esta correlación se aborda arriba mediante las definiciones a gran escala de los dominios. Sin embargo, el modelado de correlaciones a escala más fina, por medio de modelos espaciotemporales, podría mejorar las estimaciones. Este enfoque se utiliza en el análisis de datos de CPUE para desarrollar índices de abundancia para atunes en el OPO (por ejemplo, Xu *et al.* 2019).

Para un enfoque de la estimación de la captura de especies basado en el diseño, como el que se muestra arriba en la ecuación 4 pero adaptado al protocolo de muestreo del PMIP propuesto, se puede desarrollar un estimador de la varianza en las proporciones estimadas de especies utilizando las ponderaciones de muestreo del protocolo de muestreo del PMIP propuesto, debido a que se trata de un protocolo de muestreo probabilístico. La varianza en las estimaciones de la captura de especies cuenta con tres componentes: entre viajes; entre bodegas de un viaje y dentro de bodegas. La estimación de la varianza entre viajes es posible porque se obtendrían tres muestras de conglomerados de viajes (se necesita un mínimo de dos muestras de conglomerados para poder estimar la varianza). La estimación de la varianza entre bodegas es posible porque se muestrearán tres bodegas por viaje; en los casos en los que las tres bodegas no caigan dentro del mismo dominio, la varianza se estimará a partir de un modelo desarrollado con datos de muestreo en puerto para los viajes con múltiples bodegas muestreadas en el mismo dominio. Para la varianza dentro de bodegas, dado que solamente se recolectará una muestra de conglomerados por bodega, o bien se supondrá que el protocolo de muestreo dentro de la bodega del PMIP tenía cobertura dentro de la bodega suficiente para poder suponer que este componente de la varianza es pequeño (Lennert-Cody *et al.* 2024), que es una práctica que se adopta a veces en estudios complejos, o bien se obtendrá una aproximación de la varianza dentro de bodegas mediante el modelado. Cabe señalar que el enfoque basado en el diseño para la estimación de la varianza en la captura de especies a nivel de flota, por dominio, se aplicaría a la población muestreable de bodegas, que para 2022-2023 correspondía, en promedio, al 66% aproximadamente de todas las bodegas de buques de clase 6.

Para los buques cerqueros de clases 1 a 5, que no se incluyen actualmente en el protocolo de muestreo del PMIP propuesto pero que podrían ser muestreables con una mayor cooperación por parte de los buques (ver [SAC-16-05](#) para detalles), se podrían obtener estimaciones de la captura de especies para dominios con datos de muestra insuficientes mediante enfoques basados en modelos, similares a los

descritos arriba. Sin embargo, todo modelo a nivel de bodega tendría que desarrollarse en gran parte entre datos de muestreo en puerto y datos de bitácora.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados del estudio de simulación que se presenta en este documento, a modo de conclusión, cabe esperar que el protocolo de muestreo del PMIP propuesto:

- a) Aporte suficientes datos para realizar estimaciones fiables y basadas en el diseño de la captura de especies y sus varianzas, para especies relativamente comunes en los dominios dominantes de las pesquerías OBJ y NOA. A pesar de que no se probó en la simulación, se espera lo mismo para la pesquería DEL, que es en gran parte monoespecífica, dado el porcentaje de dominios DEL con un mínimo de 10 bodegas muestreadas bajo el protocolo del PMIP simulado.
- b) Genere mejores datos de muestreo en puerto que puedan utilizarse en métodos de estimación basados en modelos para la captura de especies a nivel de flota, con múltiples fuentes de datos.
- c) Proporcione un marco de muestreo que pueda adaptarse, en caso necesario, para atender necesidades específicas de datos para métodos de estimación basados en modelos, como podría ser útil para las bodegas de lances NOA, así como para atender cualquier otra necesidad de datos para estimar la composición por talla de la captura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a Marti McCracken por sus conversaciones sobre el muestreo para estudios.

REFERENCIAS

- Duparc, A., Cauquil, P., Depetris, M., Dewals, P., Floch, L., Gaertner, D., Hervé, A., Lebranchu, J., Marsac, F., Bach, P. 2018. Assessment of accuracy in processing purse seine tropical tuna catches with the T3 methodology using French fleet data. IOTC-2018-WPTT20-16.
- Duparc, A., Aragno, V., Depetris, M., Floch, L., Cauquil, P., Lebranchu, J., Gaertner, D., Marsac, F., Bach, P., 2020. Assessment of the species composition of major tropical tunas in purse seine catches: a new modelling approach for the tropical tuna treatment processing (Case of the French fleet in Atlantic Ocean). Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 76 (6), 951–982. SCRS/2019/189.
- Erciulescu, A.L., Cruze, N.B., Nandram, B. 2019. Model-based county level crop estimates incorporating auxiliary sources of information. Journal of the Royal Statistical Society Series A 182, Part 1, 283 – 303.
- Lennert-Cody, C.E., De La Cadena, C., McCracken, M., Chompoy, L., Vogel, N.W., Maunder, M.N., Wiley, B.A., Altamirano Nieto, E., Aires-da-Silva, A. 2024. Within-well patterns in bigeye tuna catch composition and implications for purse-seine port-sampling and catch estimation in the Eastern Pacific Ocean. Fisheries Research <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.107079>
- Lohr, S.L. 2022. Sampling: Design and Analysis, 3rd Edition. CRC Press, Boca Raton. 650 pp.
- Porter, A.T., Holan, S.H., Wikle, C.K., Cressie, N. 2014. Spatial Fay-Herriot models for small area estimation with functional covariates. Spatial Statistics 10: 27 – 42.
- R Core Team 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Wood, S.N. 2017. Generalized Additive Models: An Introduction with R, 2nd Edition. Chapman and Hall/CRC. 496 pp.

Xu, H., Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N. and Minte-Vera, C. 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.

TABLE 1. Approximate coverage of sampleable trips and wells under the TPS protocol, for Class-6 vessel trips making any sets in the EPO. The number of sampleable wells, and by extension, trips, does not include those wells that could not be set-linked to observer RDL data but were actually sampled. Details of the definition of ‘sampleable’ can be found in the appendix.

TABLA 1. Cobertura aproximada de viajes y bodegas muestreables bajo el protocolo del MTP, para viajes de buques de clase 6 que realizan cualquier lance en el OPO. El número de bodegas muestreables, y por extensión, viajes, no incluye aquellas bodegas que no pudieron ser vinculadas a datos de observadores del RDL pero que fueron muestreadas. Los detalles de la definición de "muestreable" se encuentran en el Anexo.

Año	Número de viajes muestreados	Número de viajes muestreables	% Viajes muestreados de muestreables	Número total de viajes	% Viajes muestreados del total	% Viajes muestreables del total	Número de bodegas muestreadas	Número de bodegas muestreables	% de bodegas muestreadas de muestreables	Total de bodegas	% Bodegas muestreadas del total	% Bodegas muestreables del total
2023	416	720	58%	857	49%	84%	734	6802	11%	11581	6%	59%
2022	477	687	69%	815	59%	84%	889	5650	16%	10323	9%	55%
2019	515	748	69%	830	62%	90%	902	6205	15%	10102	9%	61%
2018	465	671	69%	789	59%	85%	765	4905	16%	9190	8%	53%
2017	471	676	70%	840	56%	80%	870	5047	17%	9250	9%	55%
2016	486	669	73%	851	57%	79%	866	5304	16%	9959	9%	53%
2015	524	733	71%	849	62%	86%	903	5648	16%	9793	9%	58%
Promedio	479	701	68%	833	58%	84%	847	5652	15%	10028	8%	56%

TABLE 2. Number of IATTC Class-6 vessels that were sampled, had any sampleable trips under the TPS protocol, and total. Details of the definition of ‘sampleable’ can be found in the appendix.

TABLA 2. Número de buques de clase 6 de la CIAT que fueron muestreados, tuvieron algún viaje muestreable bajo el protocolo del MTP, y total. Los detalles de la definición de "muestreable" se encuentran en el Anexo.

Año	Número de buques muestreados	Número de buques muestreables	% Muestreado (de muestreable)	Número total de buques	% Muestreado del total
2023	127	156	81%	182	70%
2022	143	161	89%	176	81%
2019	154	170	91%	180	86%
2018	139	164	85%	180	77%
2017	141	162	87%	179	79%
2016	148	166	89%	183	81%
2015	147	165	89%	172	85%

TABLE 3. Percentage of well sampled by the TPS, by quarter of the well, using the well quarter that corresponded to the length data. Using the quarter corresponding to the count data, results were similar and are not shown; on average (over years), for 2% of the sampled wells, the quarter from which the length data were collected differed from that of the count data by 1 (maximum percent, over years, was 4% in 2023, with 4 of the 7 years $\leq 1\%$). By row, percent values may not sum to exactly 100% due to rounding of column-specific values to integers. In some years, the table for 'ALL' sampled ports may include a few sampled wells from ports of countries other than Ecuador (ECU) and Mexico (MEX). The data shown for Ecuadorian ports does not include Monteverde, but Monteverde is included under 'ALL'.

TABLA 3. Porcentaje de bodegas muestreadas por el MTP, por cuarto de bodega, utilizando el cuarto de la bodega que correspondía a los datos de talla. Utilizando el cuarto correspondiente a los datos de conteo, los resultados fueron similares y no se muestran; en promedio (a lo largo de los años), para el 2% de las bodegas muestreadas, el cuarto del que se recolectaron los datos de talla difería del de los datos de conteo en 1 (el porcentaje máximo, a lo largo de los años, fue del 4% en 2023, con 4 de los 7 años $\leq 1\%$). Por fila, es posible que los valores porcentuales no sumen exactamente el 100% debido al redondeo de los valores específicos de cada columna a números enteros. En algunos años, la tabla de "TODOS" los puertos muestreados pueden incluir algunas bodegas muestreadas de puertos de países distintos de Ecuador (ECU) y México (MEX). Los datos mostrados para los puertos ecuatorianos no incluyen Monteverde, pero Monteverde está incluido en 'TODOS'.

Año	% 1º cuarto de bodega	% 2º cuarto de bodega	% 3º cuarto de bodega	% 4º cuarto de bodega	% cuarto faltante
TODOS los puertos muestreados					
2023	40%	33%	19%	8%	< 1%
2022	45%	34%	15%	5%	0%
2019	45%	33%	15%	7%	0%
2018	41%	37%	13%	9%	< 1%
2017	42%	38%	14%	6%	0%
2016	43%	32%	17%	0%	< 1%
2015	39%	33%	18%	10%	0%
Puertos ECU					
2023	34%	36%	21%	9%	< 1%
2022	49%	37%	12%	2%	0%
2019	45%	37%	14%	4%	0%
2018	39%	42%	12%	6%	< 1%
2017	38%	42%	13%	6%	0%
2016	39%	35%	17%	9%	< 1%
2015	38%	35%	19%	8%	0%
Puertos MEX					
2023	48%	28%	17%	7%	0%
2022	39%	30%	20%	11%	0%
2019	46%	25%	19%	11%	0%
2018	46%	27%	16%	11%	0%
2017	50%	29%	14%	7%	0%
2016	53%	26%	14%	7%	0%
2015	41%	29%	17%	13%	0%

TABLE 4. Percentage of tropical tuna catch (YFT + SKJ + BET) for Class-6 vessels from EPO sets that was in sampleable wells under the TPS protocol, and into single-cell wells (i.e. single area x month x set type) without regard for port of unloading (shown in parentheses), by set type and year.

TABLA 4. Porcentaje de la captura de atunes tropicales (YFT + SKJ + BET) de los buques de clase 6 procedente de lances en el OPO que se encontraba en bodegas muestreables según el protocolo del MTP, y en bodegas de una sola celda (es decir, una sola área x mes x tipo de lance) sin tener en cuenta el puerto de descarga (indicado entre paréntesis), por tipo de lance y año.

Año	% muestreable del total de bodegas DEL	% muestreable del total de bodegas NOA	% muestreable del total de bodegas NOA
2023	55% (69%)	54% (62%)	60% (68%)
2022	49% (63%)	50% (55%)	57% (65%)
2019	58% (61%)	62% (67%)	63% (66%)
2018	52% (60%)	45% (52%)	54% (63%)
2017	36% (50%)	60% (66%)	58% (68%)
2016	37% (54%)	49% (61%)	62% (71%)
2015	50% (58%)	58% (63%)	61% (66%)

TABLE 5. Approximate sampling coverage of the sampleable population under the 450 trips/1350 wells IPSP protocol, that would have occurred in 2022 and 2023, based on the 4 ports where the IPSP program would operate (Manta, Posorja, Mazatlán, Manzanillo).

TABLA 5. Cobertura de muestreo aproximada de la población muestreable bajo el protocolo del PMIP de 450 viajes/1,350 bodegas, que habría ocurrido en 2022 y 2023, con base en los 4 puertos donde operaría el PMIP (Manta, Posorja, Mazatlán, Manzanillo).

	Porcentaje de viajes	Porcentaje de bodegas
2023	69%	17%
2022	73%	20%

TABLE 6. Approximate coverage of domains, per simulation results (average, over samples, for 1st population), at two levels of number of wells sampled per domain: at last 10 wells; at least 2 wells. By set type, the total number of possible domains, which may not actually have any tropical tuna catch in a given year, is equal to 12 months x number of areas; OBJ-BET, OBJ-YFT, NOA-YFT, OBJ-SKJ: 60 possible domains; NOA-SKJ, DEL-YFT: 48 possible domains. Dashed lines indicate simulations not run because the general outcomes can be easily inferred from other simulation runs shown in the table.

TABLA 6. Cobertura aproximada de dominios, por resultados de simulación (promedio, sobre muestras, para 1ª población), a dos niveles de número de bodegas muestreadas por dominio: al menos 10 bodegas; al menos 2 bodegas. Por tipo de lance, el número total de dominios posibles, que pueden no tener realmente ninguna captura de atunes tropicales en un año dado, es igual a 12 meses x número de áreas; OBJ-BET, OBJ-YFT, NOA-YFT, OBJ-SKJ: 60 dominios posibles; NOA-SKJ, DEL-YFT: 48 dominios posibles. Las líneas discontinuas indican simulaciones no realizadas porque los resultados generales pueden deducirse fácilmente de otras simulaciones realizadas que figuran en la tabla.

	Número (%) de dominios, de los que tienen capturas de atunes tropicales, con ≥ 10 bodegas muestreadas (2022; 2023)	Número (%) de dominios, de los que tienen capturas de atunes tropicales, con ≥ 2 bodegas muestreadas (2022; 2023)
<i>Dominios OBJ para evaluación de BET</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	32 de 59 (54%); 30 de 60 (50%)	56 de 59 (95%); 54 de 60 (90%)
Casi todos los viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje	43 de 59 (73%); 39 de 60 (65%)	-----
450 viajes (3 conglomerados); 6 bodegas/viaje (2700 bodegas)	46 de 59 (78%); 45 de 60 (75%)	-----
200 viajes (2 conglomerados); 2 bodegas/viaje (400 bodegas)	7 de 59 (12%); 6 de 60 (10%)	-----
<i>Dominios OBJ para evaluación de YFT</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	21 de 42 (50%); 25 de 43 (58%);	35 de 42 (83%); 37 de 43 (86%)
<i>Dominios OBJ para evaluación de SKJ</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	35 de 52 (67%); 30 de 53 (57%)	48 de 52 (92%); 46 de 53 (87%)
<i>Dominios NOA para evaluación de SKJ</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	7 de 26 (27%); 4 de 34 (12%)	16 de 26 (62%); 20 de 34 (59%)
<i>Dominios NOA para evaluación de YFT</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	3 de 41 (7%); 3 de 43 (7%)	24 de 41 (58%); 22 de 43 (51%)
<i>Dominios DEL para evaluación de YFT</i>		
450 viajes (3 conglomerados); 3 bodegas/viaje (1350 bodegas)	17 de 46 (37%); 18 de 46 (39%)	36 de 46 (78%); 37 de 46 (80%)

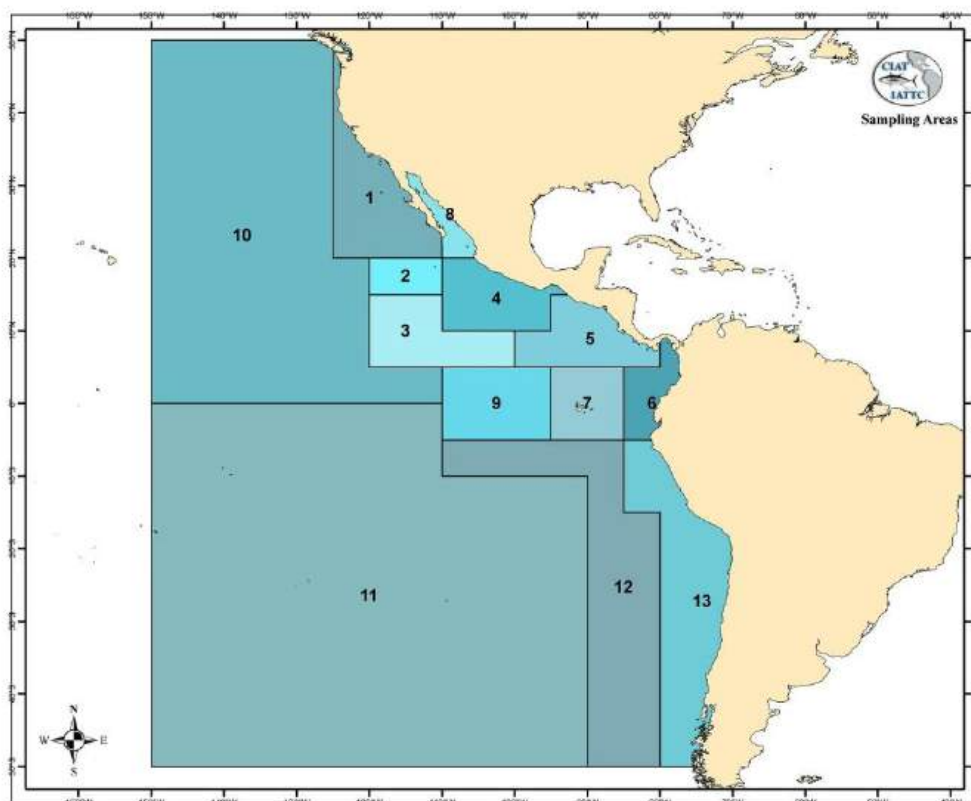


FIGURE 1. The 13 market measurement areas used in the TPS protocol.

FIGURA 1. Las 13 áreas de medición de mercado utilizadas en el protocolo del MTP.

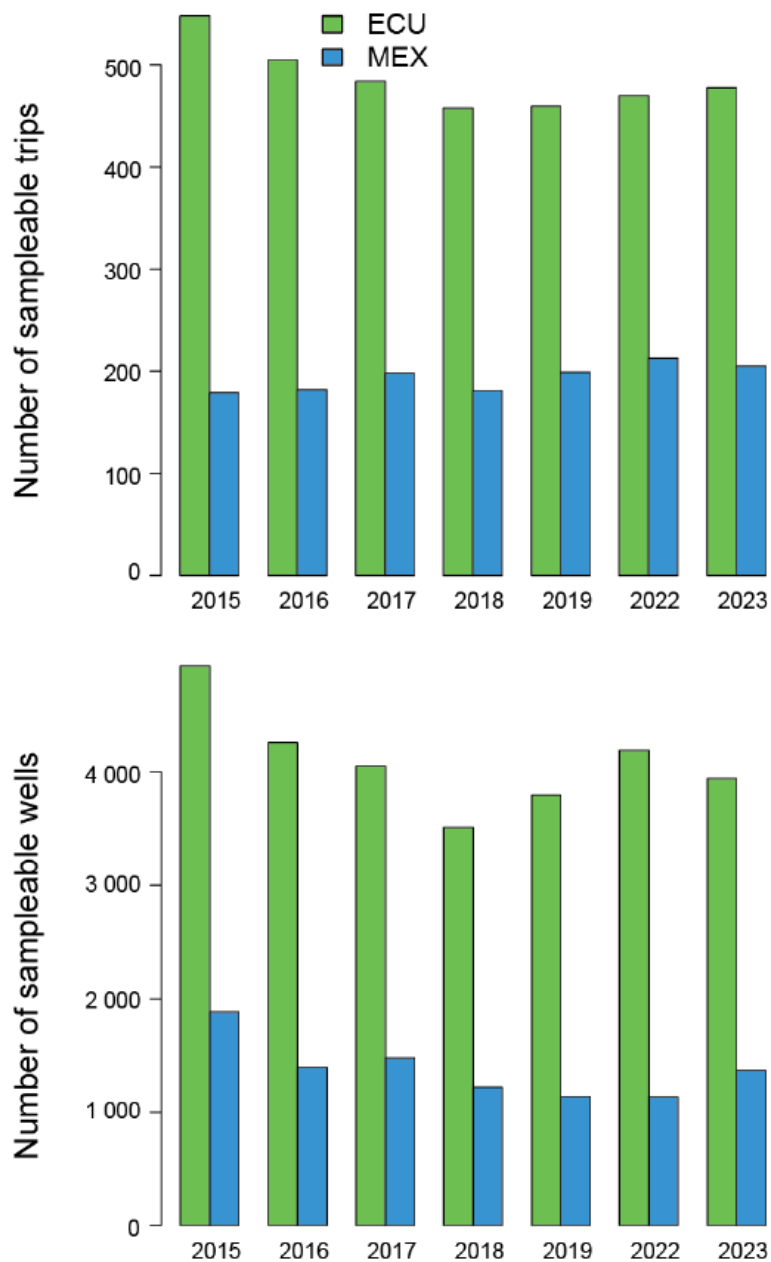


FIGURE 2. Number of sampleable trips and wells, under the TPS protocol, by year and country. "ECU": Ecuadorian ports where TPS data were collected (excluding Monte Verde); "MEX": Mexican ports where TPS were collected.

FIGURA 2. Número de viajes y bodegas muestreables, según el protocolo del MTP, por año y país. "ECU": Puertos ecuatorianos en los que se recolectaron datos del MTP (excluyendo Monteverde); "MEX": Puertos mexicanos donde se recolectaron datos del MTP.

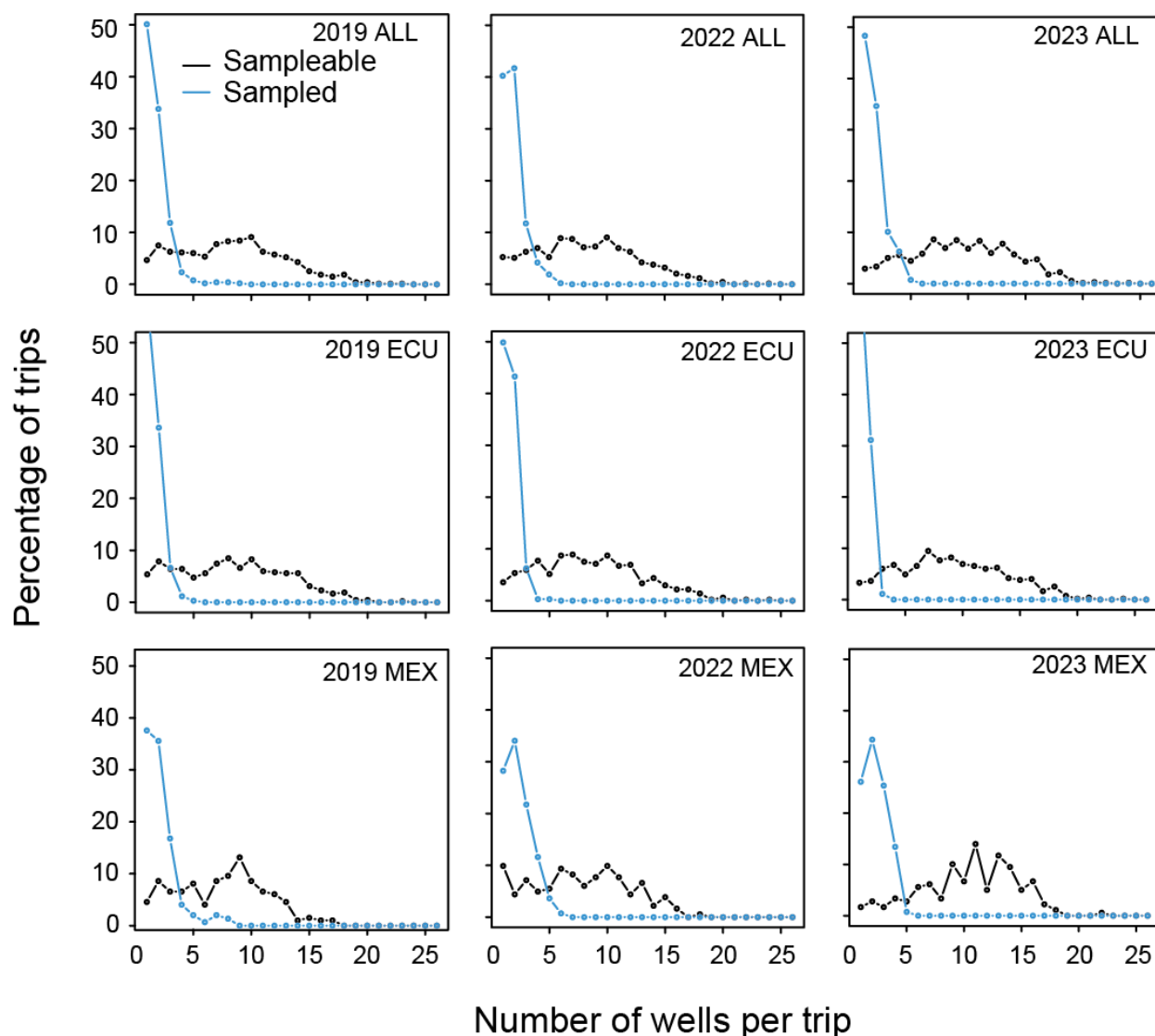


FIGURE 3. Frequency distributions of the number of ‘sampleable’ (black circles) under the TPS protocol, and sampled (blue circles) wells per trip, Class-6 EPO all set types, for 2019, 2022 and 2023 (results for other years are similar and not shown). ALL: all sampled ports (1st row); ECU: sampled ports in Ecuador (2nd row; excluding Monte Verde); MEX: sampled ports in Mexico (3rd row). In some years, ALL includes a few sampled wells from ports of countries other than Ecuador (including Monte Verde) and Mexico. For some panels, the y-axis range was trimmed to show detail.

FIGURA 3. Distribuciones de frecuencia del número de bodegas ‘muestreables’ (círculos negros) bajo el protocolo del MTP, y muestreadas (círculos azules) por viaje, buques de clase 6 en el OPO, todos los tipos de lance, para 2019, 2022 y 2023 (los resultados para otros años son similares y no se muestran). ALL: todos los puertos muestreados (1^a fila); ECU: puertos muestreados en Ecuador (2^a fila; excluido Monteverde); MEX: puertos muestreados en México (3^a fila). En algunos años, ALL incluye algunas bodegas muestreadas de puertos de países distintos de Ecuador (incluido Monteverde) y México. En algunos paneles, el rango del eje ‘y’ se recortó para mostrar los detalles.

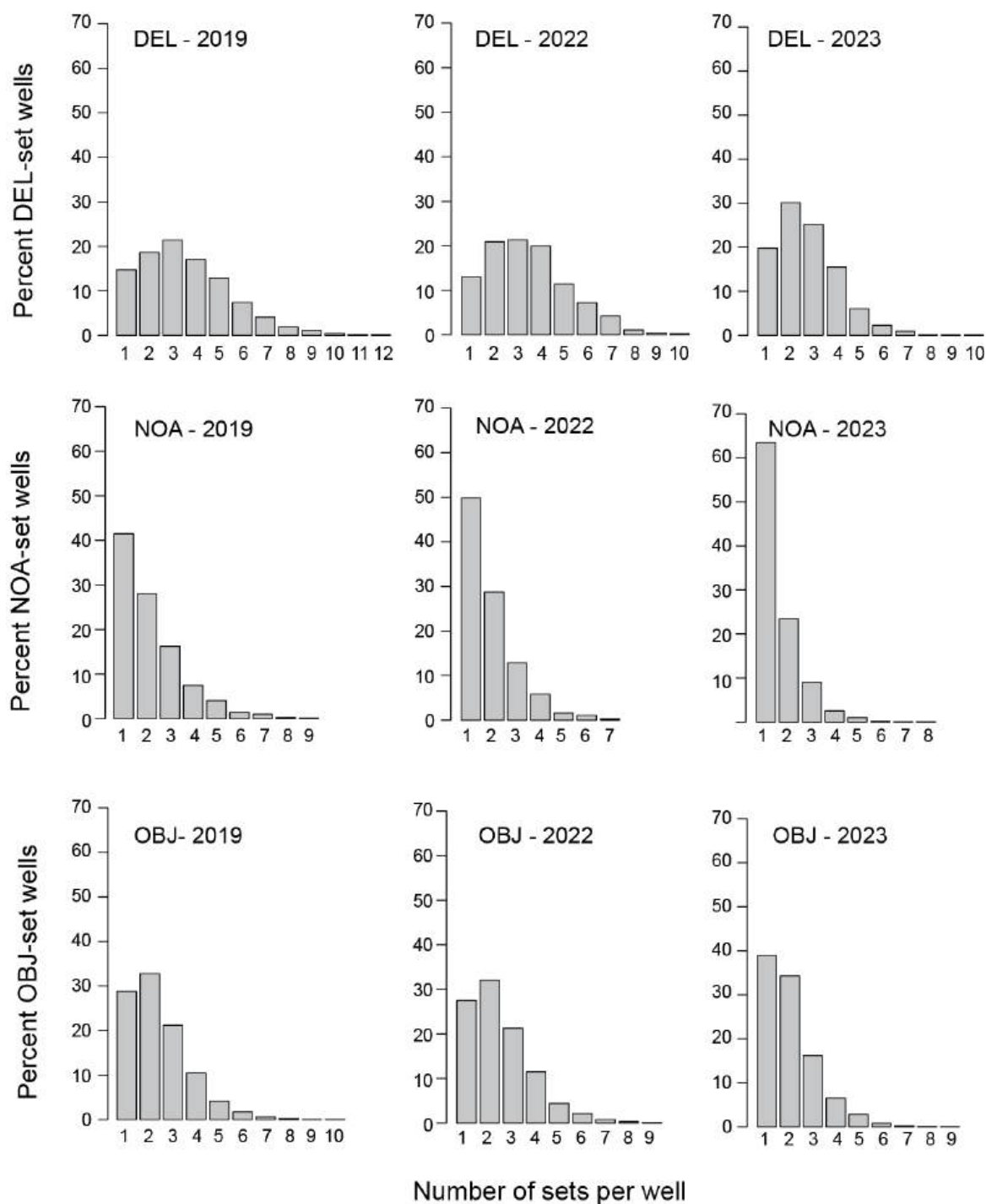


FIGURE 4. Frequency distributions of the number of sets per well, by set type, for sampleable wells, under the TPS protocol, unloaded in all sampled ports, 2019, 2022 and 2023 (Class-6, EPO) (results for other years are similar and not shown).

FIGURA 4. Distribuciones de frecuencia del número de lances por bodega, por tipo de lance, para bodegas muestreables, bajo el protocolo del MTP, descargadas en todos los puertos muestreados, 2019, 2022 y 2023 (clase 6, OPO) (los resultados para otros años son similares y no se muestran).

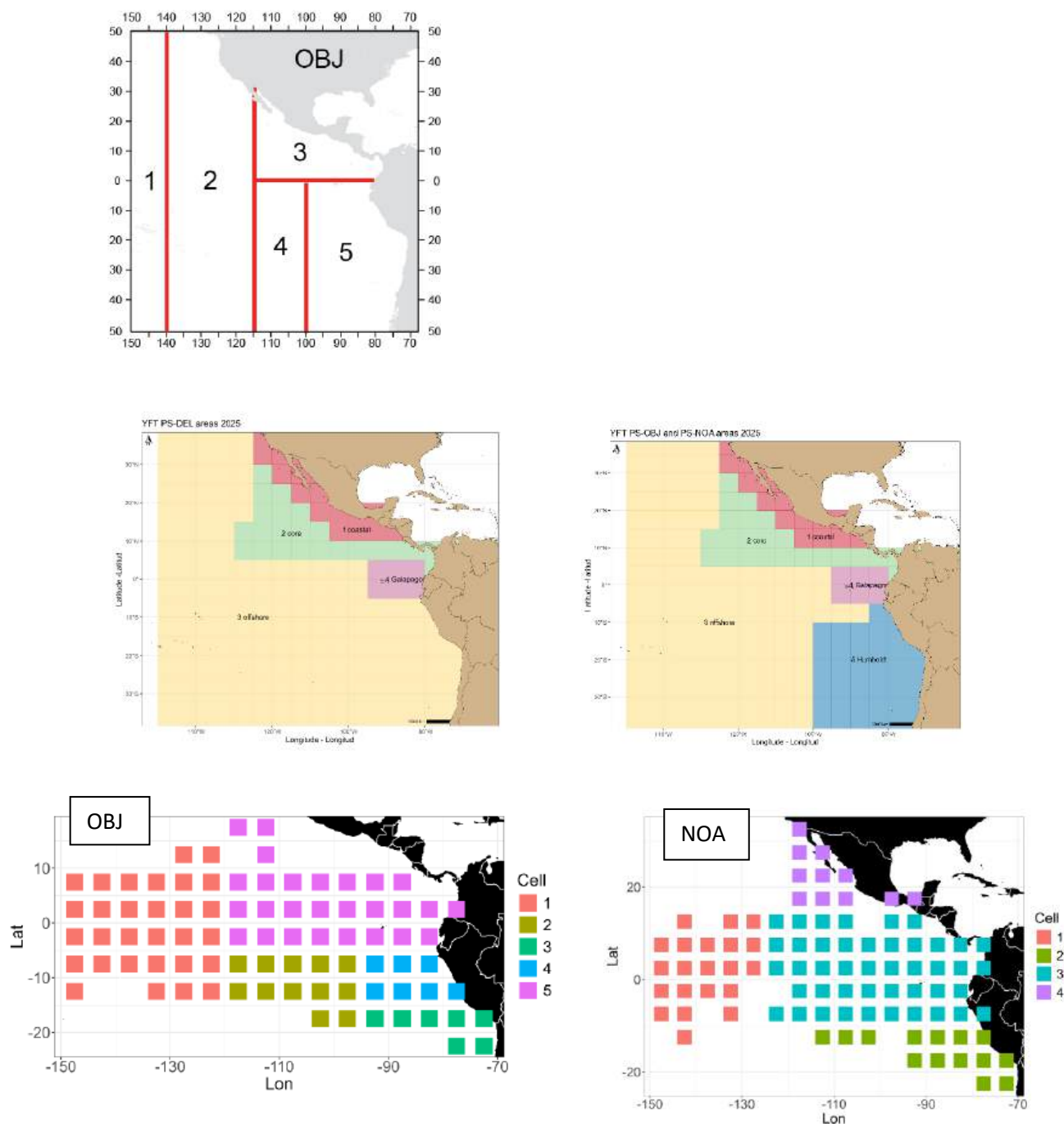


FIGURE 5. Spatial structure for tuna stock assessment fisheries. Top row: OBJ fisheries in the BET benchmark assessment ([SAC-15-02](#)); middle row: DEL and NOA/OBJ areas in YFT assessment ([SAC-16-03](#)); bottom row: OBJ and NOA fisheries in the SKJ benchmark assessment ([SAC-15-04](#)).

FIGURA 5. Estructura espacial de las pesquerías de evaluación de poblaciones de atunes. Fila superior: Pesquerías OBJ en la evaluación de referencia del BET ([SAC-15-02](#)); fila central: áreas DEL y NOA/OBJ en la evaluación del YFT ([SAC-16-03](#)); fila inferior: Pesquerías OBJ y NOA en la evaluación de referencia del SKJ ([SAC-15-04](#)).

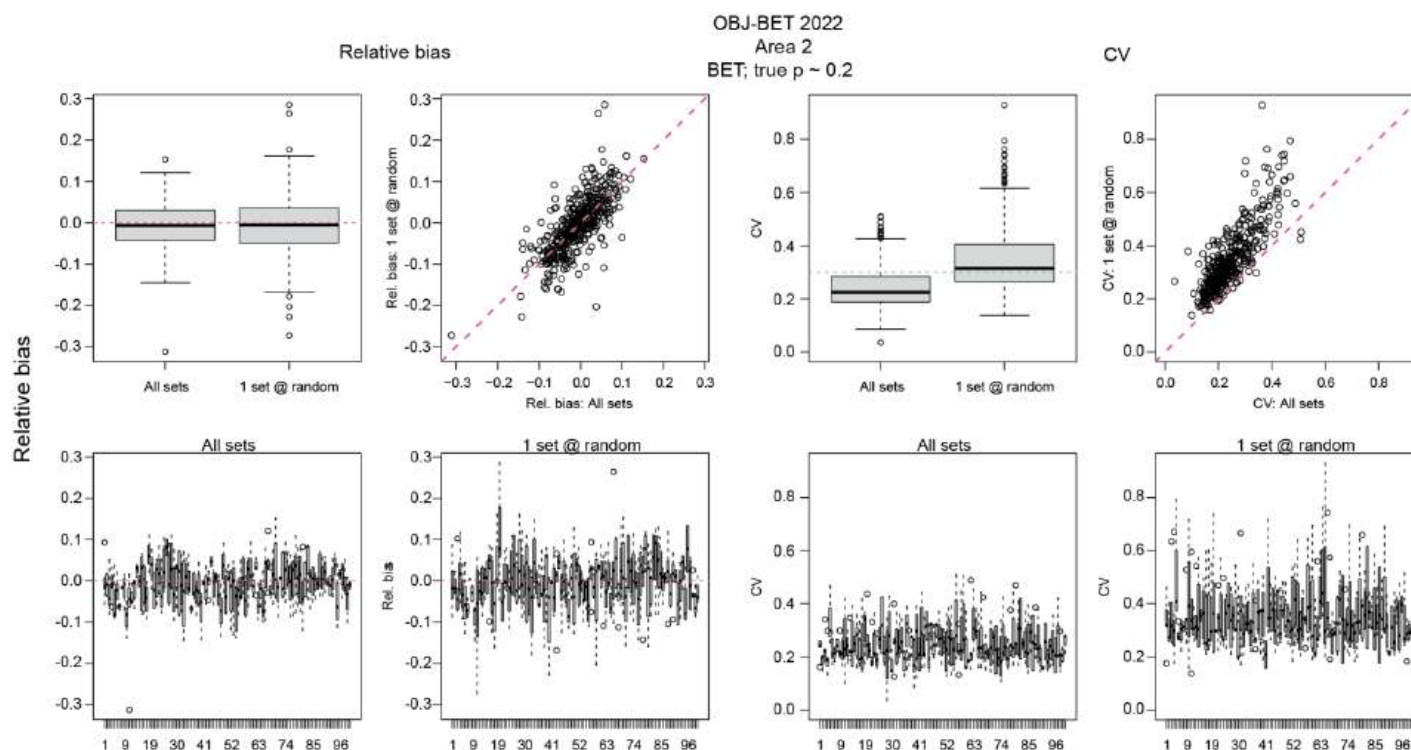


FIGURE 6. Relative bias (left 2x2 panels) and CV (right 2x2 panels) for BET for OBJ-BET Area 2 (Figure 5) for 2022, under the IPSP protocol of 3 clusters of trips, 150 trips per cluster, and 3 wells/trip. For each set of 2x2 panels: the upper left shows box-and-whisker plots of the simulation output, by within-well sampling option ('all sets'; '1 set at random'); the upper right shows a scatter plot of the simulation values for the two types of within-well sampling option, 'all sets' on the x-axis and '1 set at random' on the y-axis; the bottom row of 2 panels shows box-and-whisker plots of the simulation output by population (x-axis) for each of the 100 populations. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 6. Sesgo relativo (paneles 2x2 de la izquierda) y CV (paneles 2x2 de la derecha) de BET para el Área OBJ-BET 2 (Figura 5) para 2022, según el protocolo del PMIP de 3 conglomerados de viajes, 150 viajes por conglomerado y 3 bodegas/viaje. Para cada conjunto de paneles 2x2: la parte superior izquierda muestra gráficas de caja y bigotes del resultado de la simulación, por opción de muestreo dentro de la bodega ('todos los lances'; '1 lance al azar'); la parte superior derecha muestra una gráfica de dispersión de los valores de la simulación para los dos tipos de opción de muestreo dentro de la bodega, 'todos los lances' en el eje 'x' y '1 lance al azar' en el eje 'y'; la fila inferior de 2 paneles muestra gráficas de caja y bigotes del resultado de la simulación por población (eje 'x') para cada una de las 100 poblaciones. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

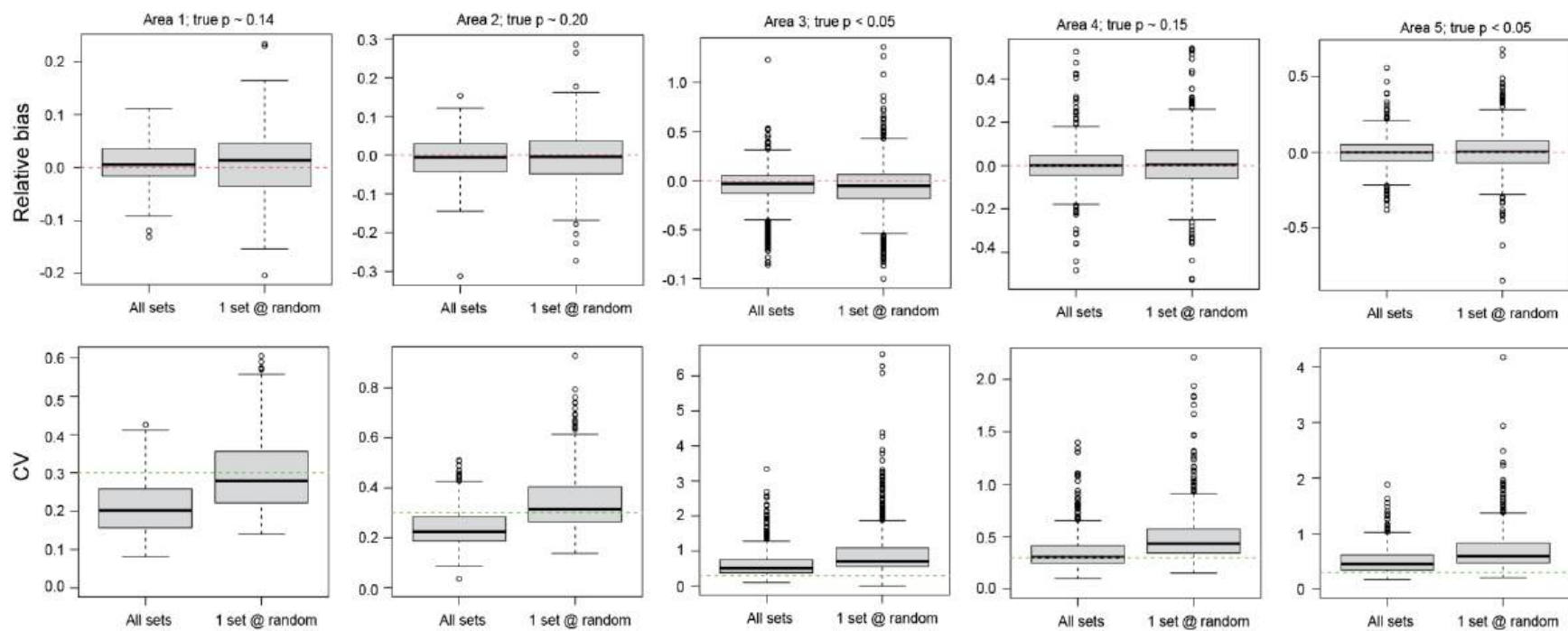


FIGURE 7. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of BET, for 2022 in each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5) for the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 1 on the left to area 5 on the right. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 7. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de BET a nivel de flota, para 2022 en cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5) para el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

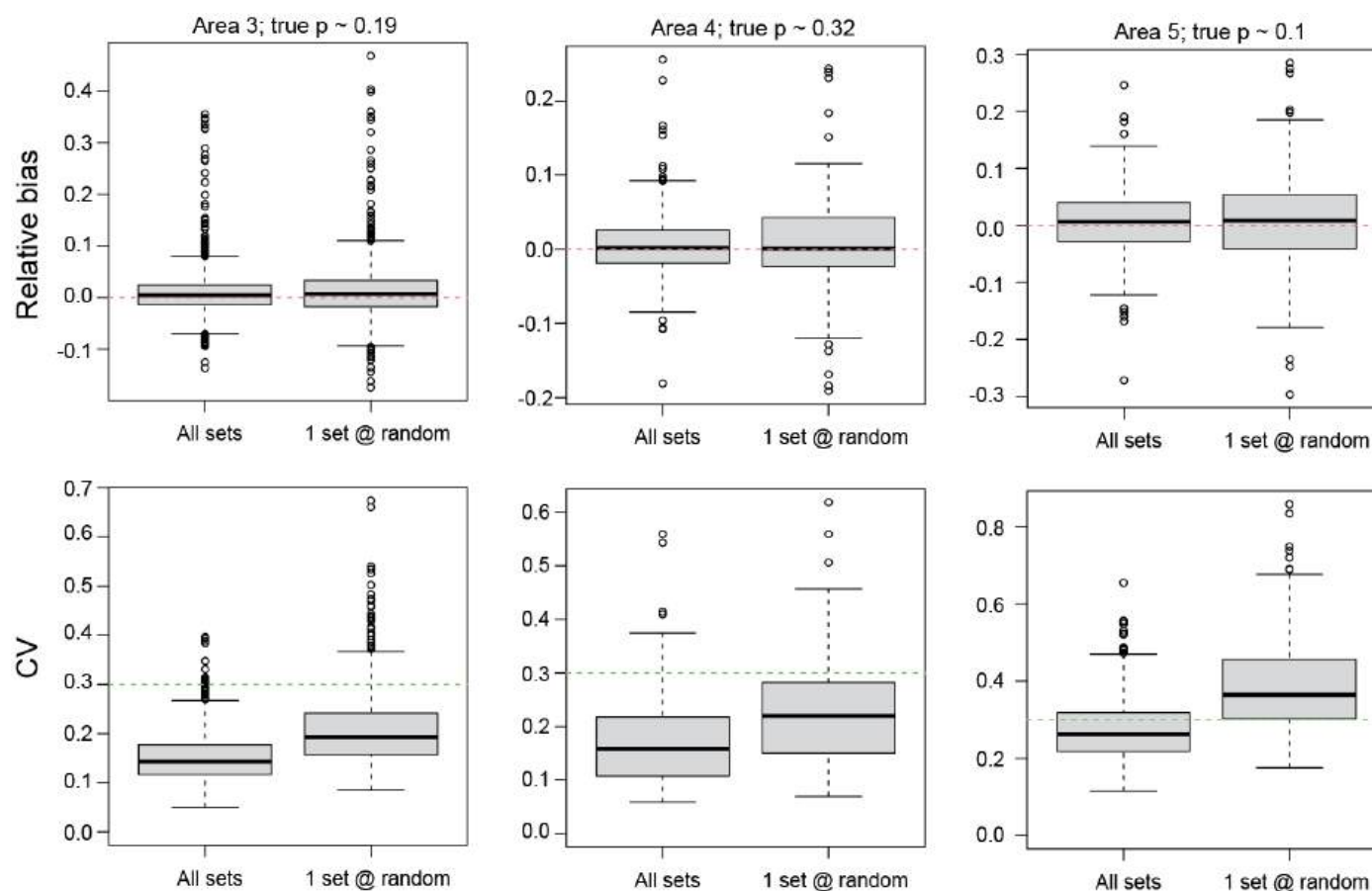


FIGURE 8. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of YFT in the OBJ fishery, for 2022 in OBJ-YFT areas 3 – 5 (Figure 5) under the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). OBJ-YFT areas 1 and 2 had fewer than 10 wells sampled per domain and estimates were not made. The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 3 on the left to area 5 on the right. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p ', is shown in the title of the figure.

FIGURA 8. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de YFT a nivel de flota en la pesquería OBJ, para 2022 en las áreas OBJ-YFT 3-5 (Figura 5) bajo el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). En las áreas OBJ-YFT 1 y 2 se muestrearon menos de 10 bodegas por dominio y no se realizaron estimaciones. Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 3 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p ', se muestra en el título de la figura.

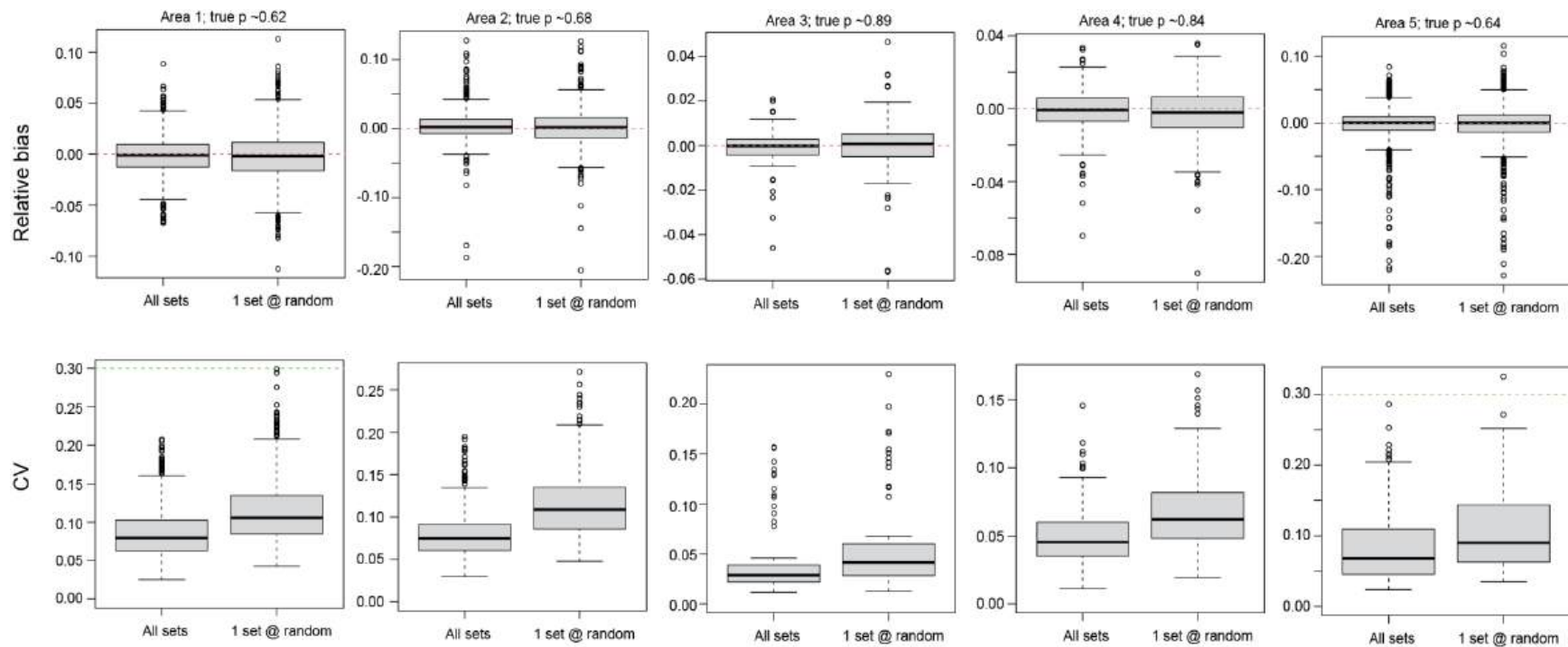


FIGURE 9. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of SKJ, for 2022 in each of the 5 OBJ-SKJ areas (Figure 5) for the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 1 on the left to area 5 on the right. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 9. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de SKJ a nivel de flota, para 2022 en cada una de las 5 áreas OBJ-SKJ (Figura 5) para el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

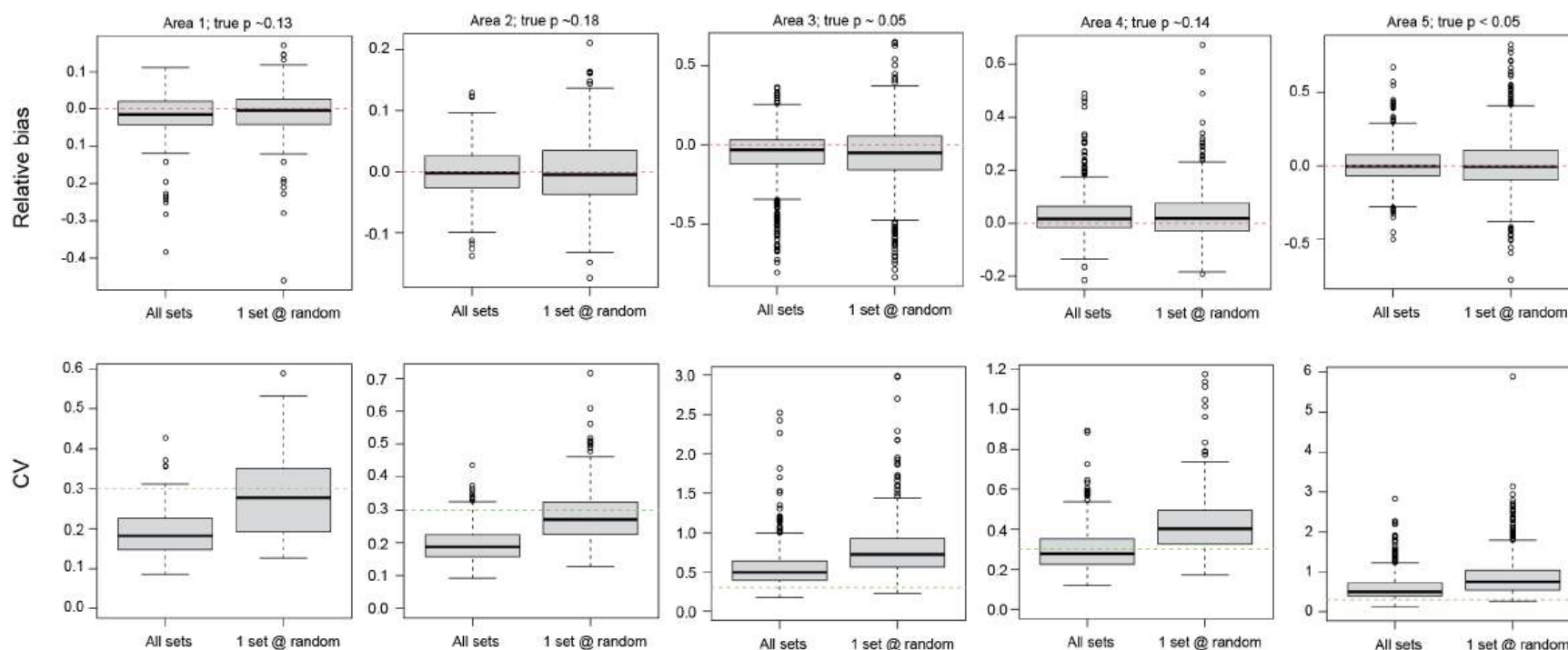


FIGURE 10. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of BET, for 2023 in each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5) for the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 1 on the left to area 5 on the right. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p ', is shown in the title of the figure.

FIGURA 10. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de BET a nivel de flota, para 2023 en cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5) para el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p ', se muestra en el título de la figura.

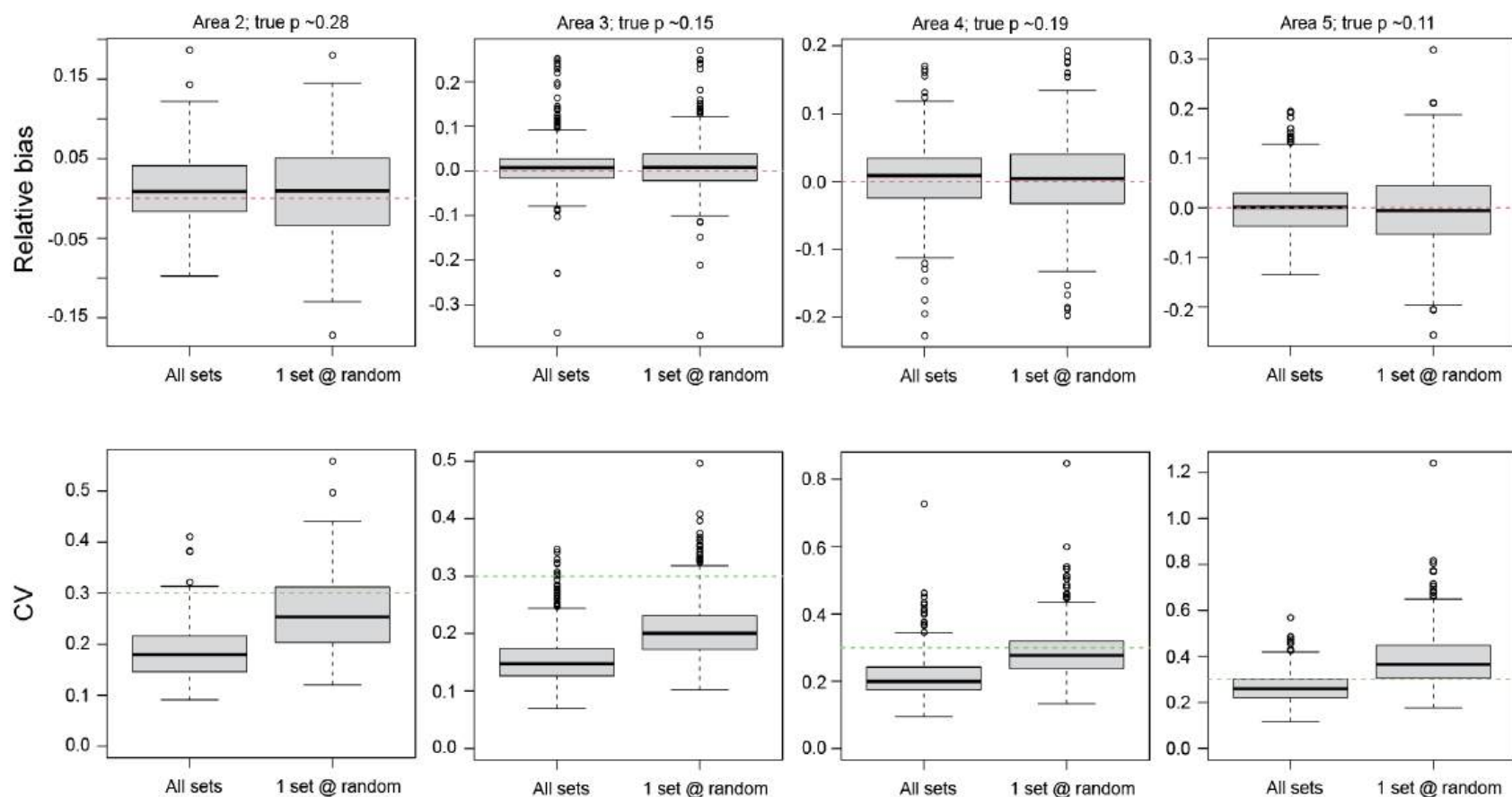


FIGURE 11. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of YFT in the OBJ fishery, for 2023 in OBJ-YFT areas 2 – 5 (Figure 5) under the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). OBJ-YFT area 1 had fewer than 10 wells sampled per domain and estimates were not made. The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 2 on the left to area 5 on the right. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, ‘true p’, is shown in the title of the figure.

FIGURA 11. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de YFT a nivel de flota en la pesquería OBJ, para 2023 en las áreas OBJ-YFT 2-5 (Figura 5) según el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). En el área OBJ-YFT 1 se muestrearon menos de 10 bodegas por dominio y no se realizaron estimaciones. Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 2 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, ‘true p’, se muestra en el título de la figura.

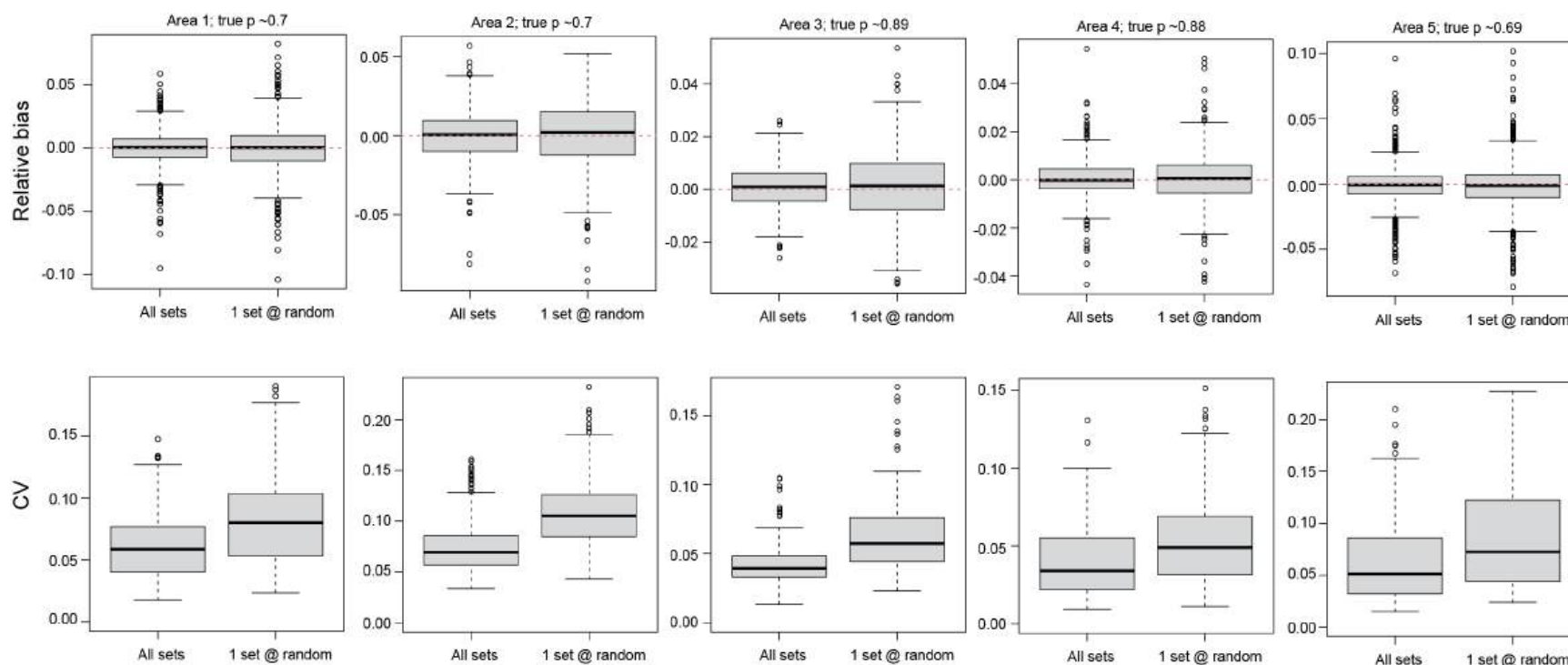


FIGURE 12. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of SKJ, for 2023 in each of the 5 OBJ-SKJ areas (Figure 5) for the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The relative bias and CV figures are arranged by area, from area 1 on the left to area 5 on the right. The average, simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p ', is shown in the title of the figure.

FIGURA 12. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de SKJ a nivel de flota, para 2023 en cada una de las 5 áreas OBJ-SKJ (Figura 5) para el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). Las figuras de sesgo relativo y CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 a la izquierda hasta el área 5 a la derecha. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p ', se muestra en el título de la figura.

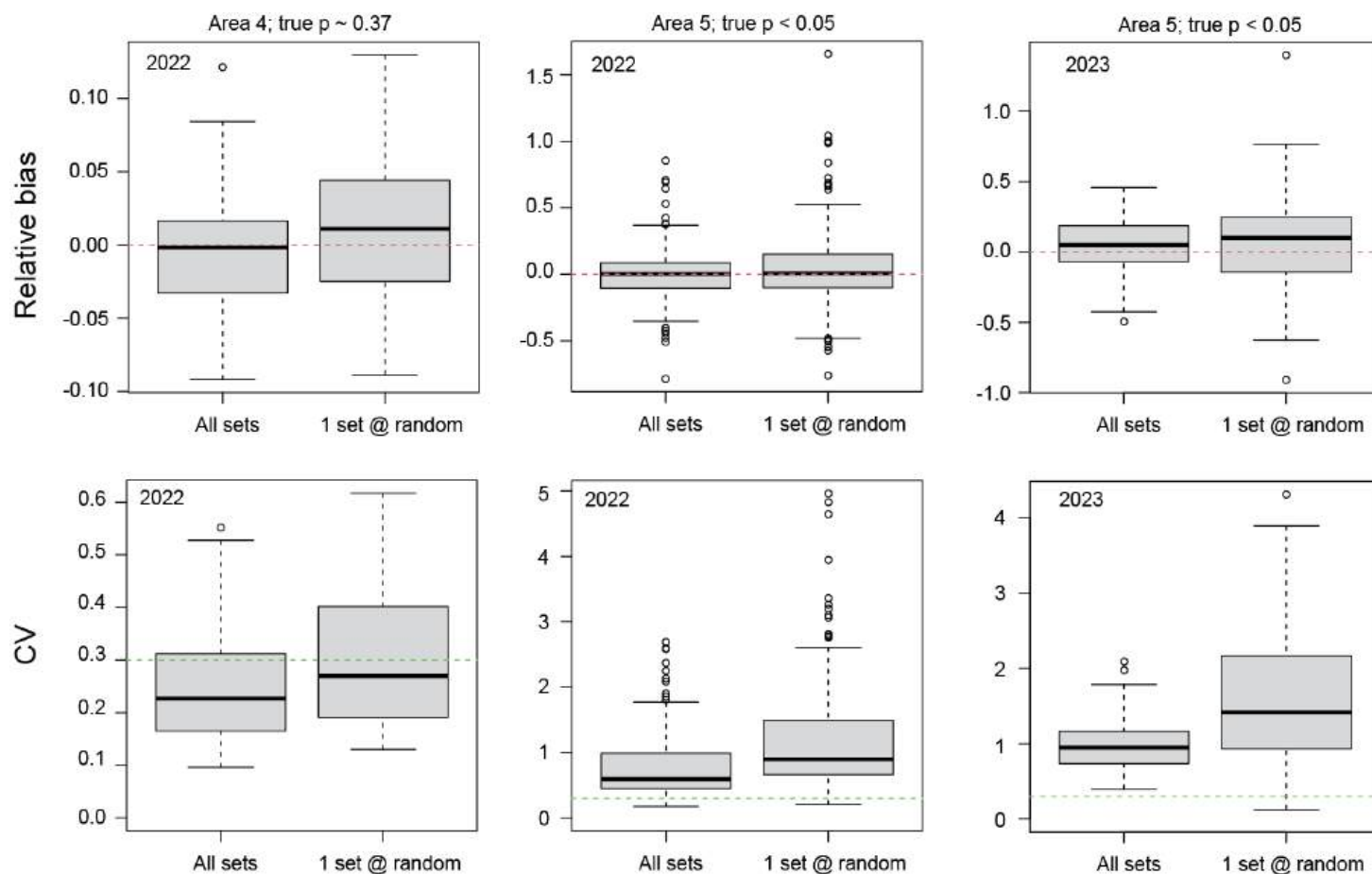


FIGURE 13. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of YFT in the NOA fishery, for 2022 and 2023 in those NOA-YFT areas (Figure 5) with at least 10 sampled wells per domain, under the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p ', is shown in the title of the figure.

FIGURA 13. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de YFT a nivel de flota en la pesquería NOA, para 2022 y 2023 en aquellas áreas NOA-YFT (Figura 5) con al menos 10 bodegas muestreadas por dominio, bajo el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p ', se muestra en el título de la figura.

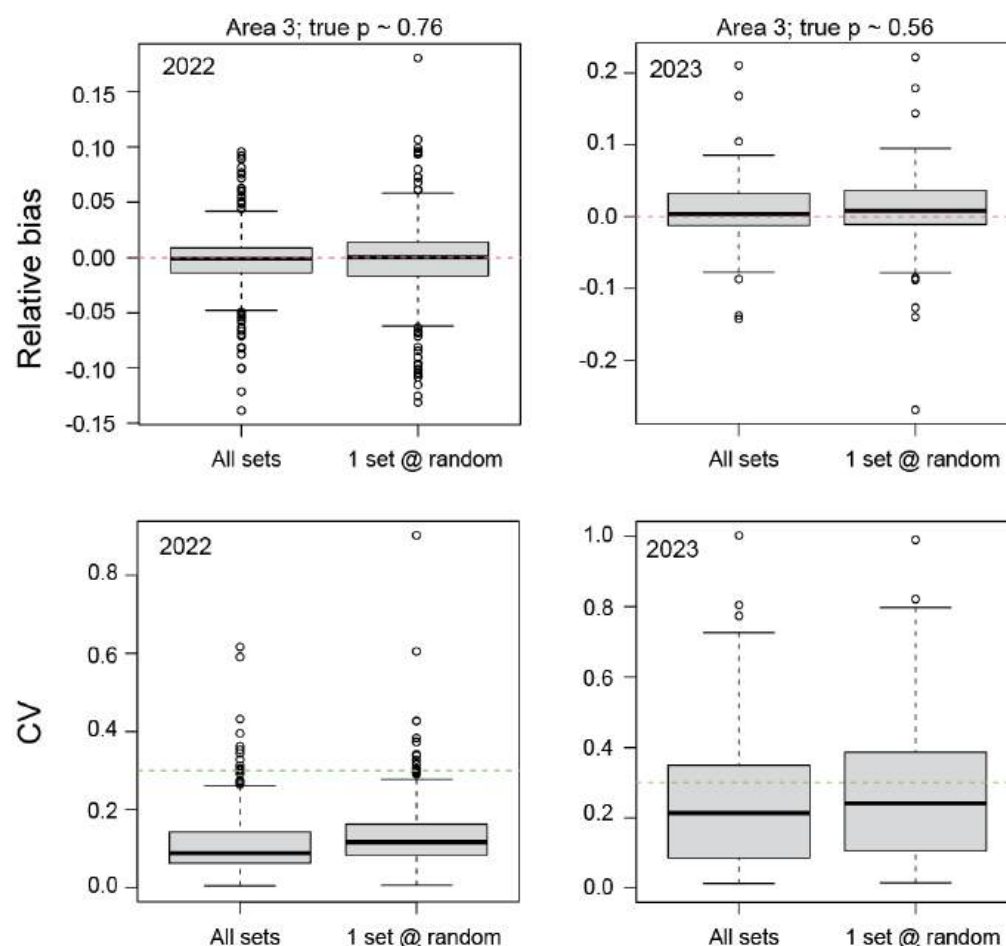


FIGURE 14. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of SKJ in the NOA fishery, for 2022 and 2023 in OBJ-SKJ Area 3 (Figure 5) with at least 10 sampled wells per domain, under the IPSP protocol (3 clusters of trips, 150 trips/cluster, 3 wells per trip). The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, ‘true p’, is shown in the title of the figure.

FIGURA 14. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de SKJ a nivel de flota en la pesquería NOA, para 2022 y 2023 en el Área OBJ-SKJ 3 (Figura 5) con al menos 10 bodegas muestreadas por dominio, bajo el protocolo del PMIP (3 conglomerados de viajes, 150 viajes/conglomerado, 3 bodegas por viaje). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, ‘true p’, se muestra en el título de la figura.

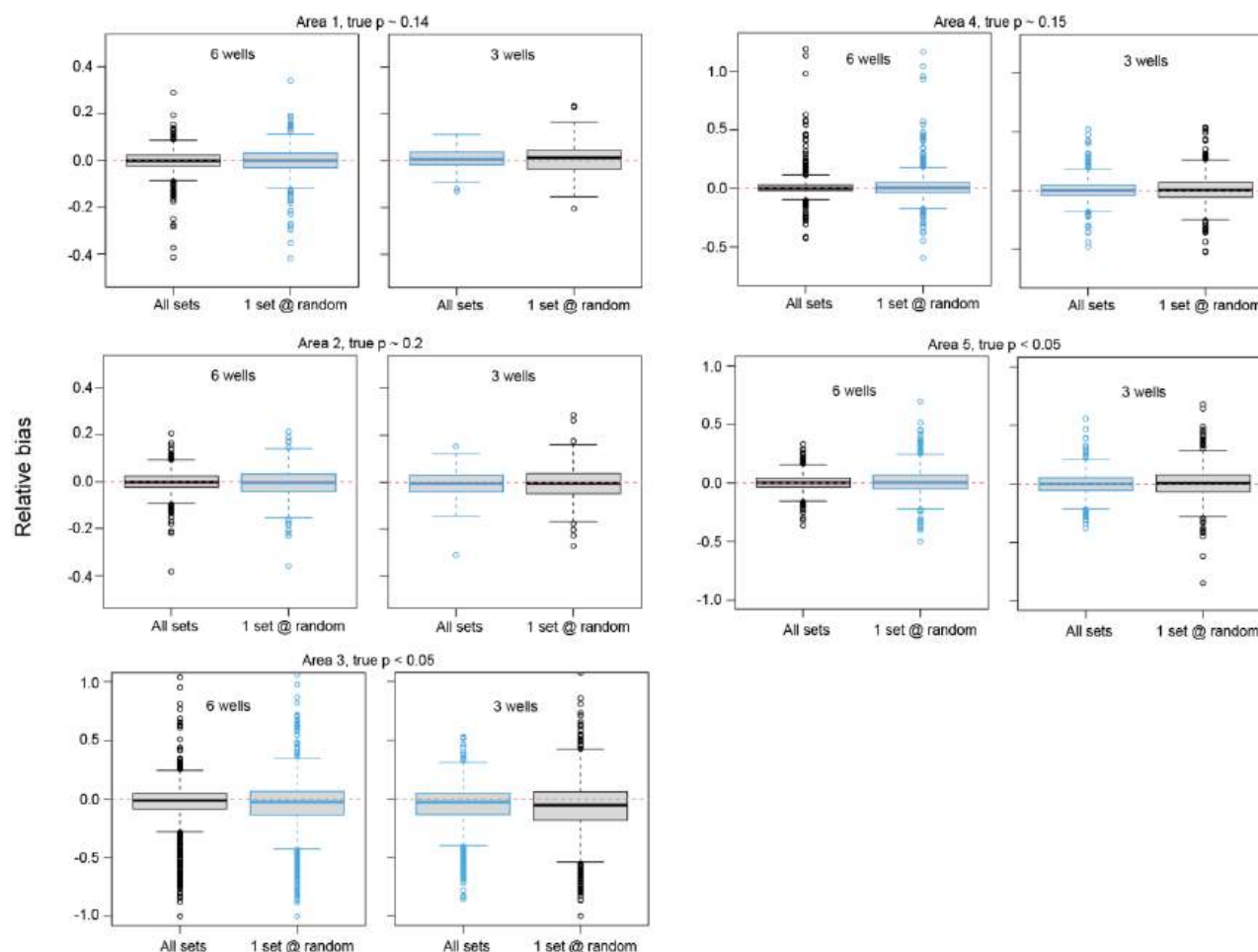


FIGURE 15. Relative bias comparison for the estimated proportion of BET in 2022 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 6 wells per trip versus 3 wells per trip, both with 3 clusters of 150 trips. The relative bias figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 15. Comparación del sesgo relativo para la proporción estimada de BET en 2022 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 6 bodegas por viaje frente a 3 bodegas por viaje, ambas con 3 conglomerados de 150 viajes. Las figuras de sesgo relativo están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

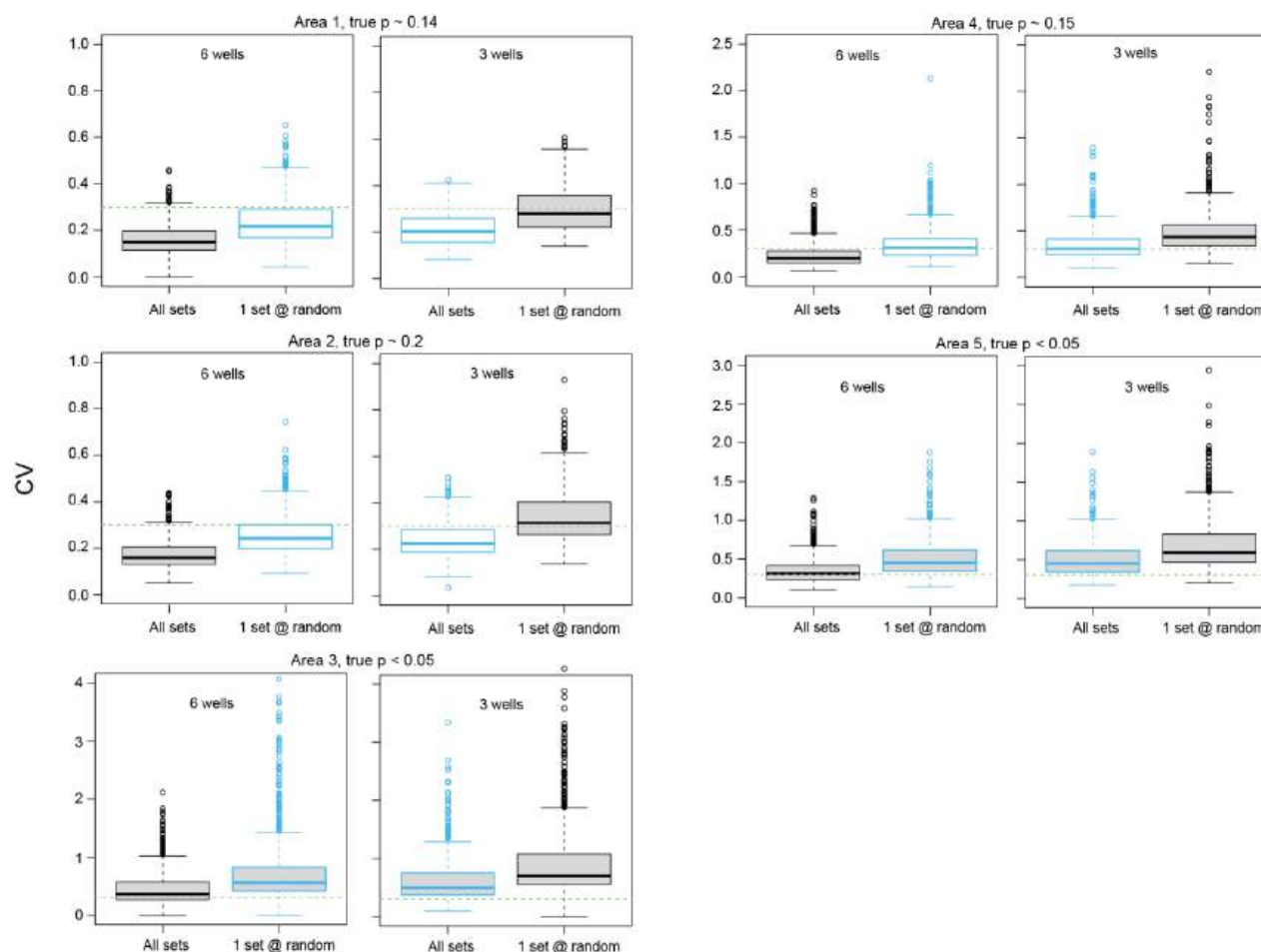


FIGURE 16. CV comparison for the estimated proportion of BET in 2022 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 6 wells per trip versus 3 wells per trip, both with 3 clusters of 150 trips. The CV figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 16. Comparación de CV para la proporción estimada de BET en 2022 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 6 bodegas por viaje frente a 3 bodegas por viaje, ambas con 3 conglomerados de 150 viajes. Las figuras de CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

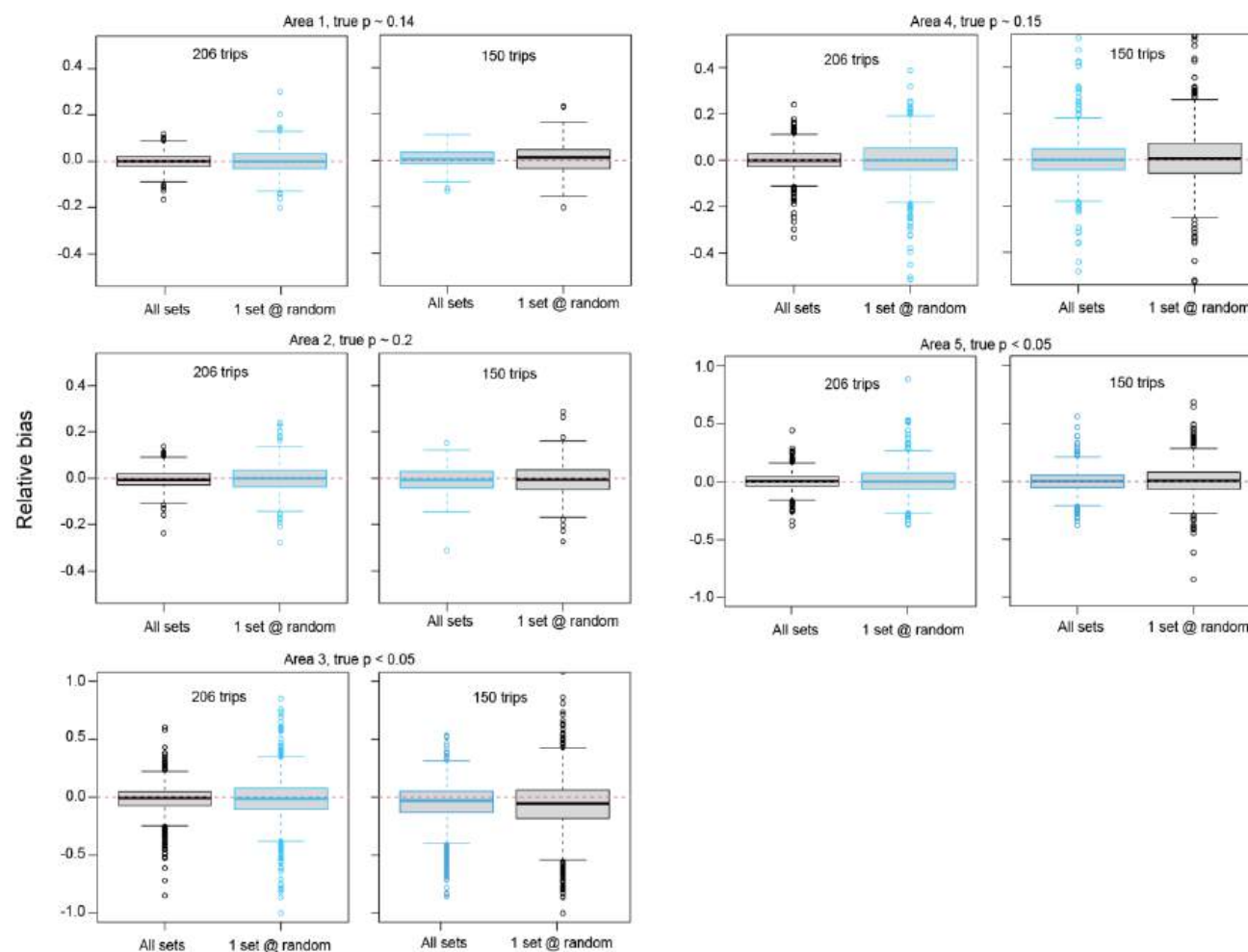


FIGURE 17. Relative bias comparison for the estimated proportion of BET in 2022 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 206 trips per cluster versus 150 trips per cluster, both for 3 clusters of trips and 3 wells per trip. The relative bias figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 17. Comparación del sesgo relativo para la proporción estimada de BET en 2022 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 206 viajes por conglomerado frente a 150 viajes por conglomerado, ambos para 3 conglomerados de viajes y 3 bodegas por viaje. Las figuras de sesgo relativo están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

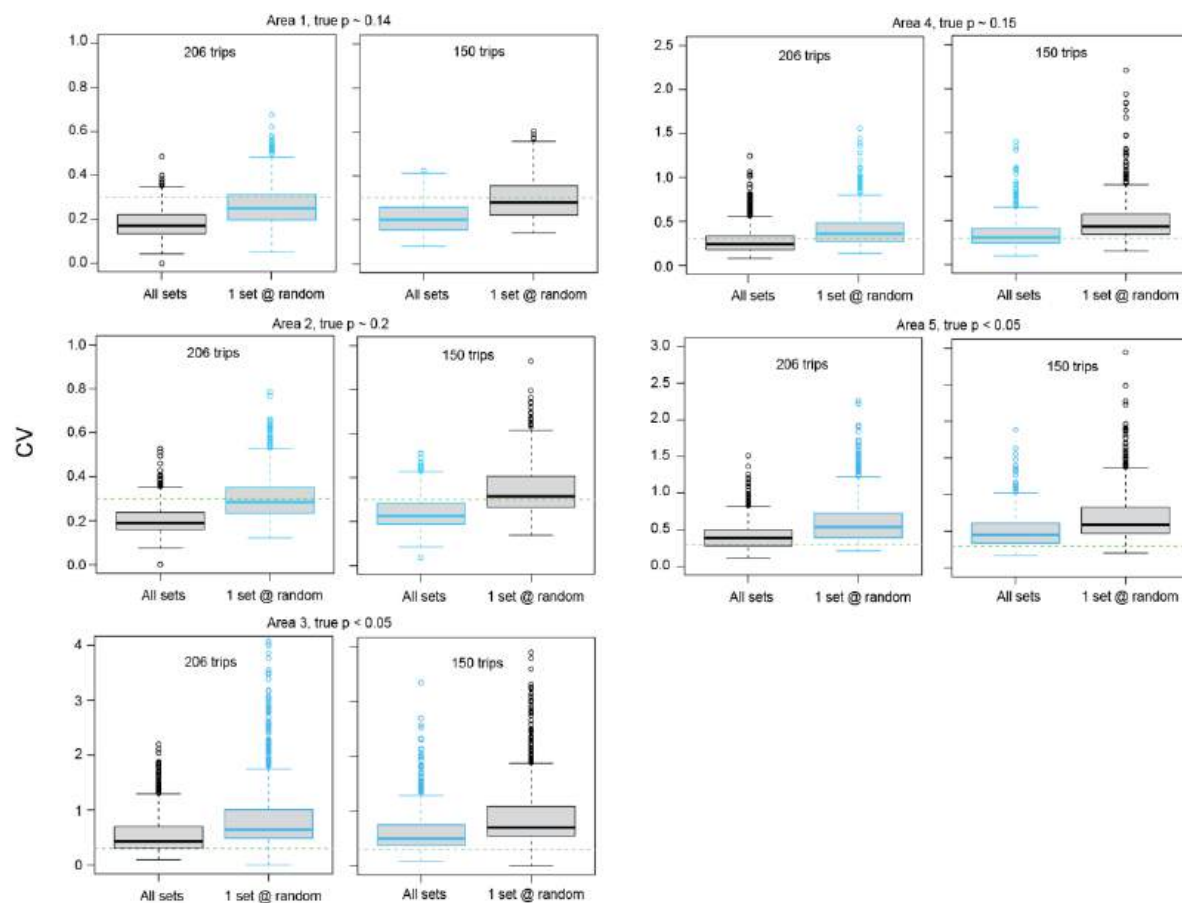


FIGURE 18. CV comparison for the estimated proportion of BET in 2022 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 206 trips per cluster versus 150 trips per cluster, both for 3 clusters of trips and 3 wells per trip. The CV figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 18. Comparación CV para la proporción estimada de BET en 2022 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 206 viajes por conglomerado frente a 150 viajes por conglomerado, ambos para 3 conglomerados de viajes y 3 bodegas por viaje. Las figuras de CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

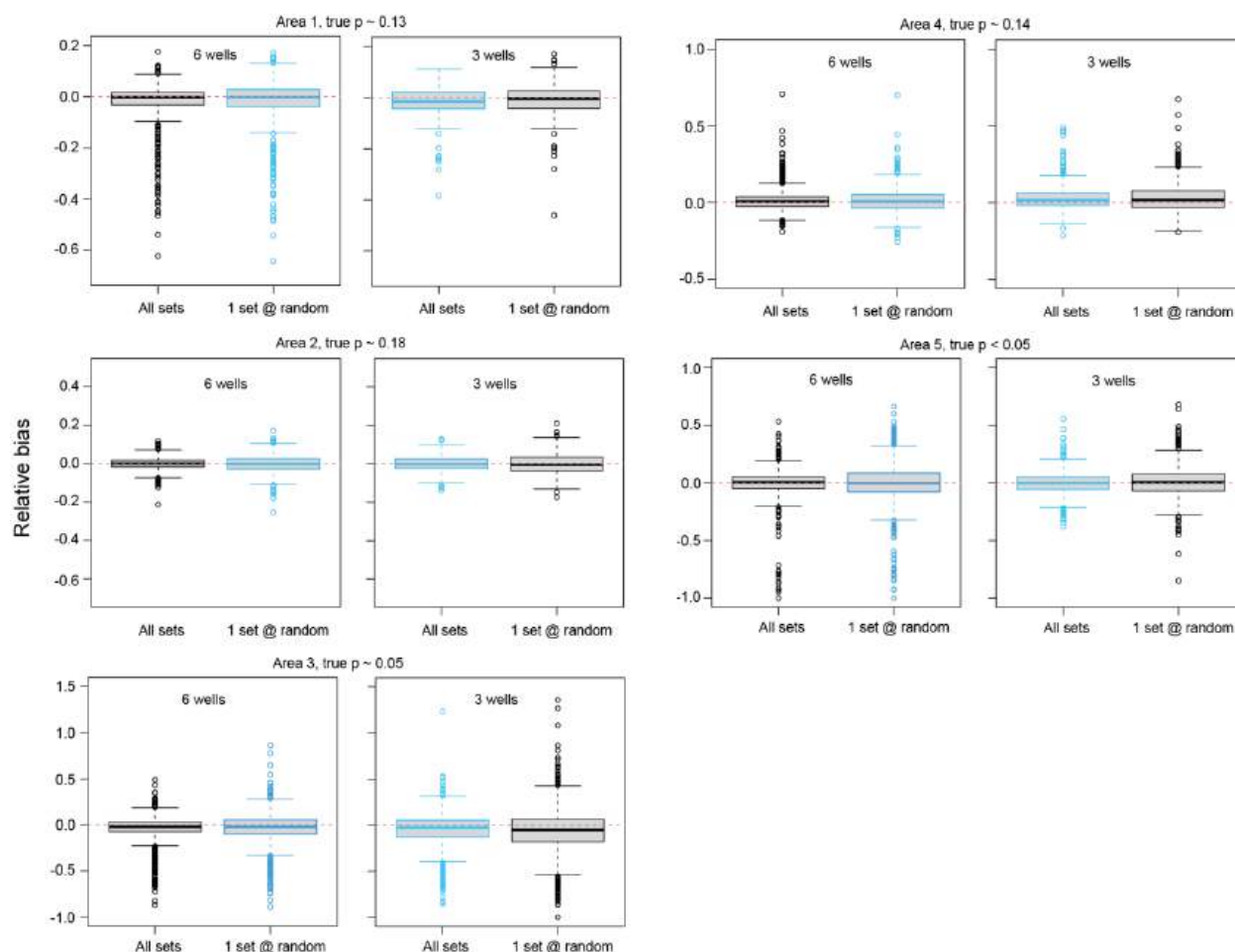


FIGURE 19. Relative bias comparison for the estimated proportion of BET in 2023 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 6 wells per trip versus 3 wells per trip, both with 3 clusters of 150 trips. The relative bias figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 19. Comparación del sesgo relativo para la proporción estimada de BET en 2023 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 6 bodegas por viaje frente a 3 bodegas por viaje, ambas con 3 conglomerados de 150 viajes. Las figuras de sesgo relativo están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

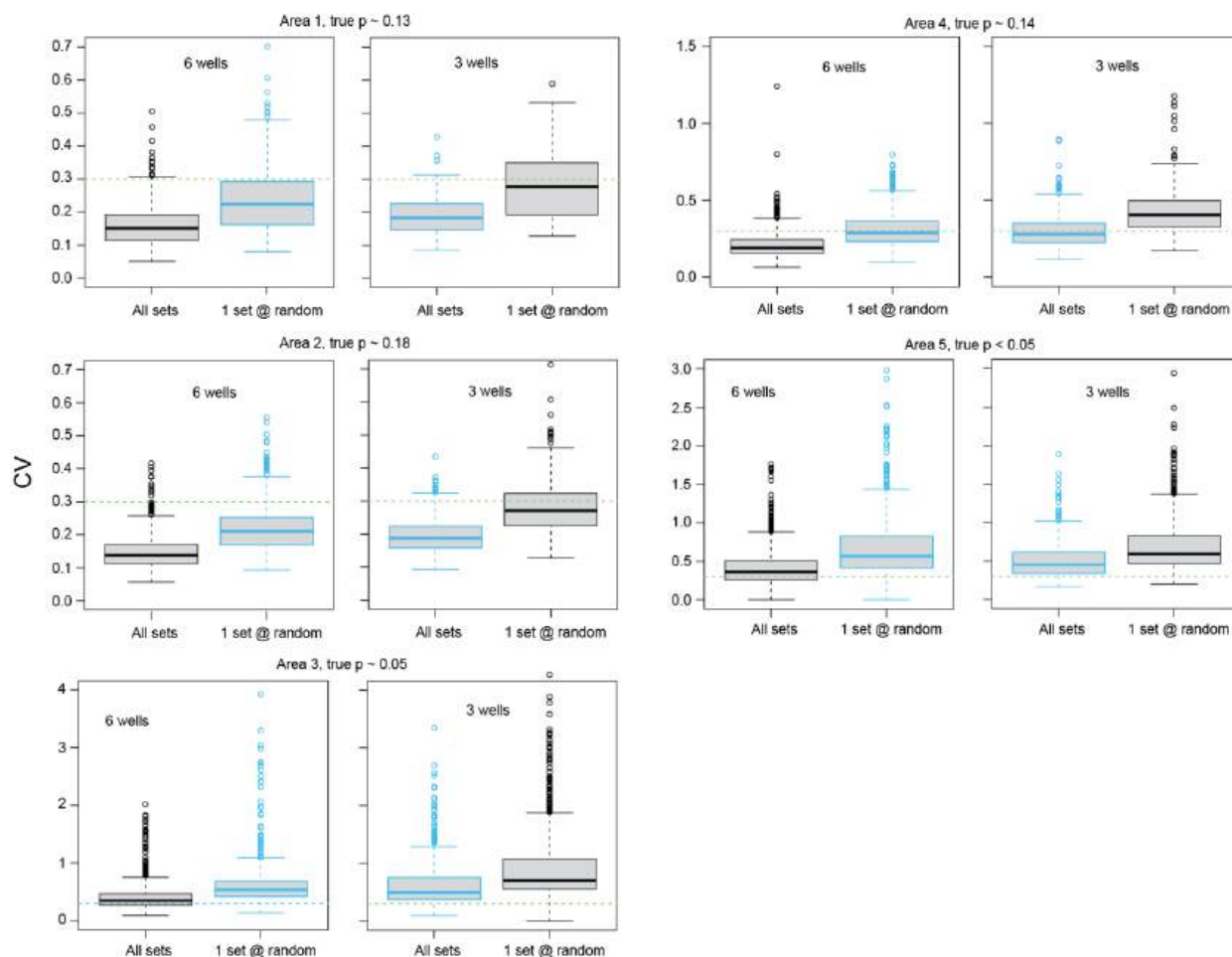


FIGURE 20. CV comparison for the estimated proportion of BET in 2023 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 6 wells per trip versus 3 wells per trip, both with 3 clusters of 150 trips. The CV figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 20. Comparación de CV para la proporción estimada de BET en 2023 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 6 bodegas por viaje frente a 3 bodegas por viaje, ambas con 3 conglomerados de 150 viajes. Las figuras de CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

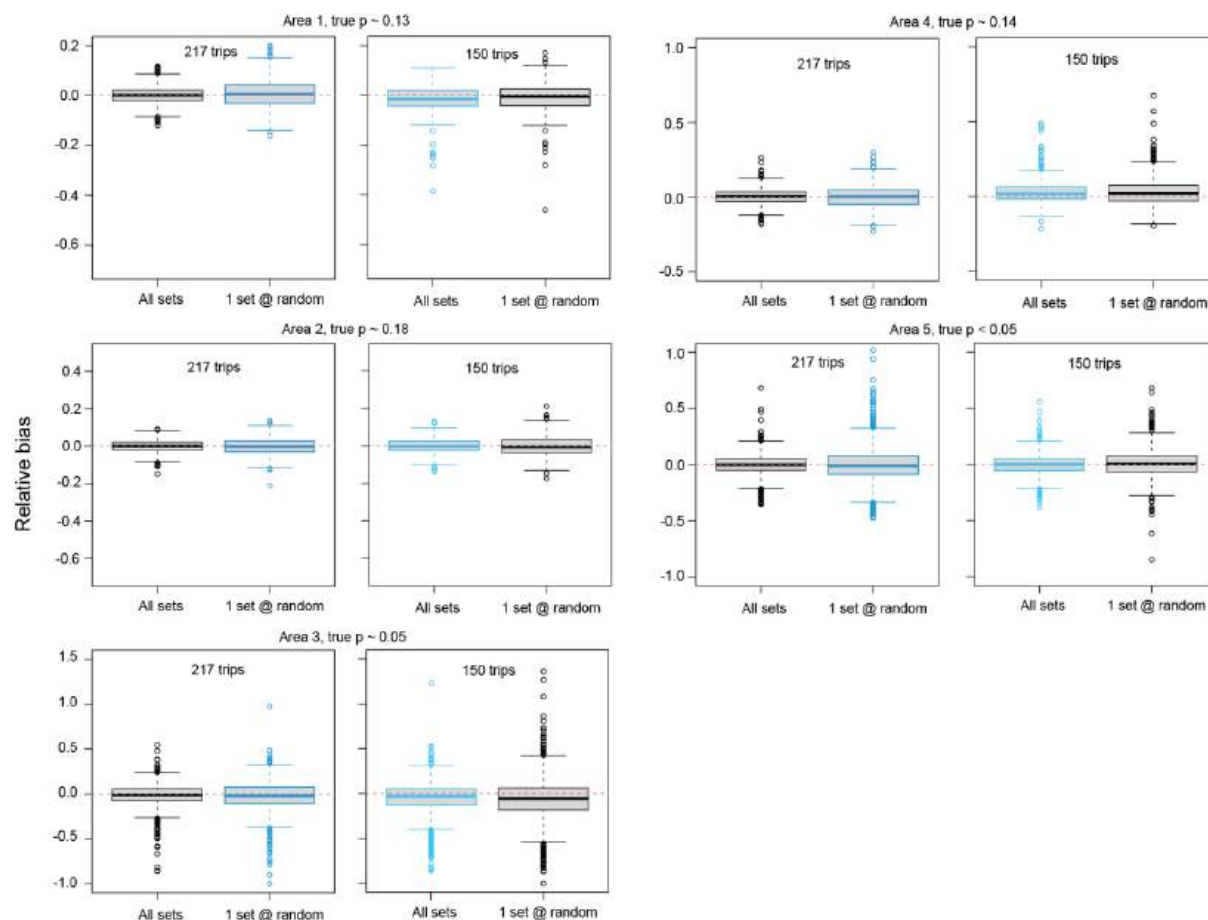


FIGURE 21. Relative bias comparison for the estimated proportion of BET in 2023 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 217 trips per cluster versus 150 trips per cluster, both for 3 clusters of trips and 3 wells per trip. The relative bias figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 21. Comparación del sesgo relativo para la proporción estimada de BET en 2023 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 217 viajes por conglomerado frente a 150 viajes por conglomerado, ambos para 3 conglomerados de viajes y 3 bodegas por viaje. Las figuras de sesgo relativo están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

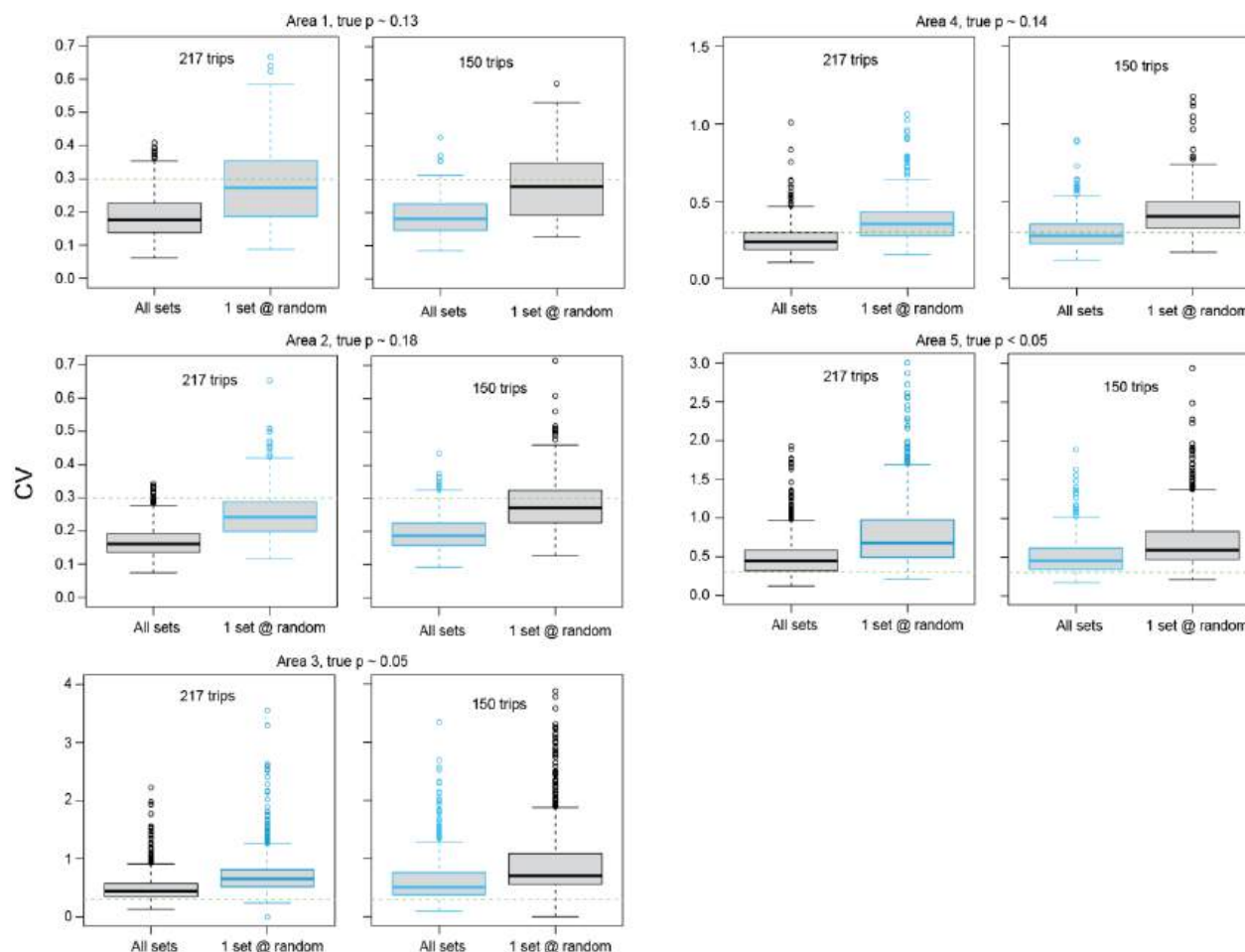


FIGURE 22. CV comparison for the estimated proportion of BET in 2023 for each of the 5 OBJ-BET areas (Figure 5): 217 trips per cluster versus 150 trips per cluster, both for 3 clusters of trips and 3 wells per trip. The CV figures are arranged by area, from area 1 - top left row to area 5 - middle right row. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p', is shown in the title of the figure.

FIGURA 22. Comparación de CV para la proporción estimada de BET en 2023 para cada una de las 5 áreas OBJ-BET (Figura 5): 217 viajes por conglomerado frente a 150 viajes por conglomerado, ambos para 3 conglomerados de viajes y 3 bodegas por viaje. Las figuras de CV están ordenadas por áreas, desde el área 1 (fila superior izquierda) hasta el área 5 (fila central derecha). El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p', se muestra en el título de la figura.

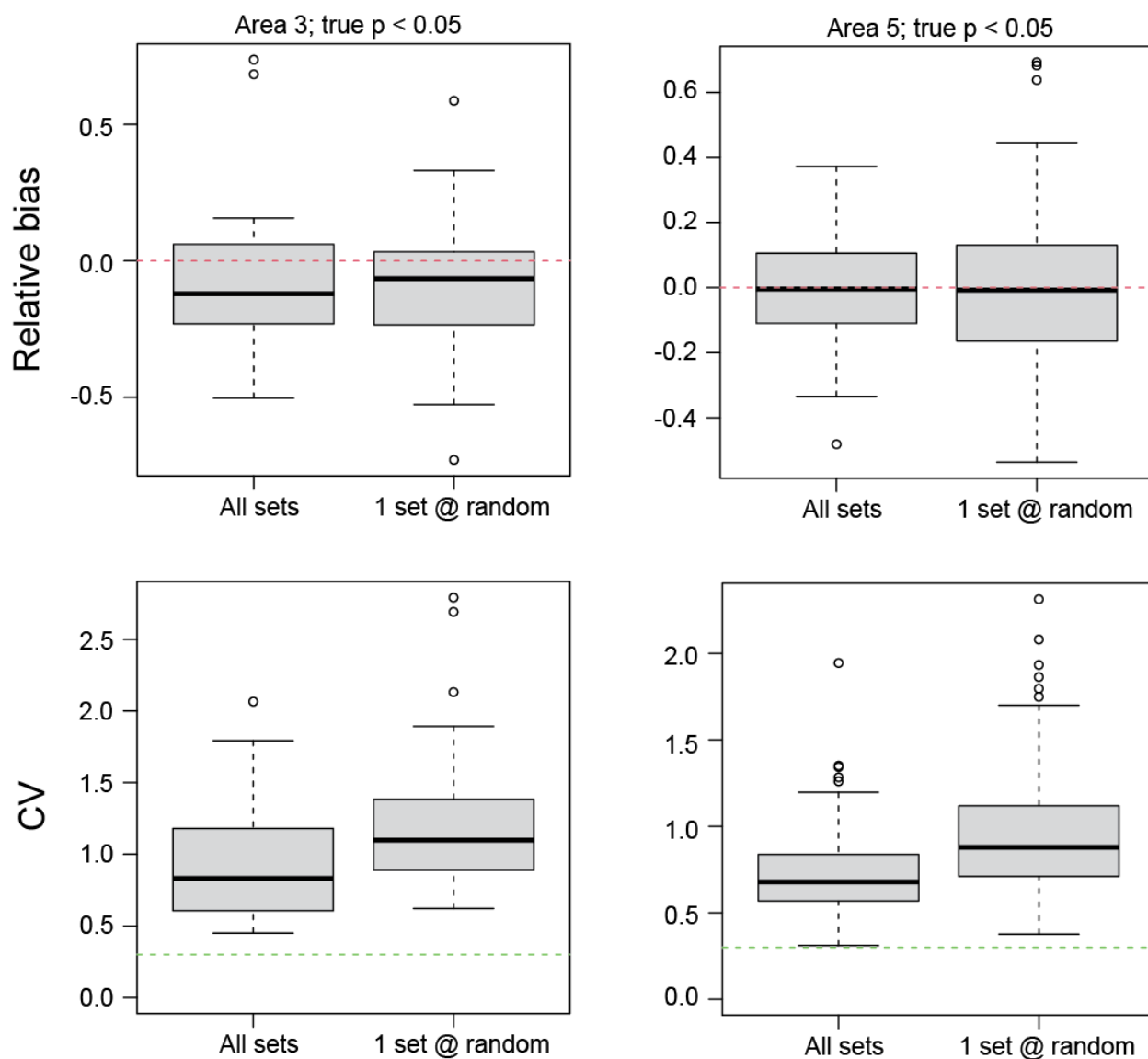


FIGURE 23. Relative bias (top row) and CV (bottom row) for the estimated fleet-level proportion of BET, for 2022 in OBJ-BET areas 3 and 5 (Figure 5), the only two areas with at least 10 wells sampled per domain, for the reduced protocol of 2 clusters of 100 trips each and 2 wells per trip. Results were similar for 2023 and hence are not shown. The average, over simulated full data sets, of true species proportion for the domain, 'true p ', is shown in the title of the figure.

FIGURA 23. Sesgo relativo (fila superior) y CV (fila inferior) para la proporción estimada de BET a nivel de flota, para 2022 en las áreas OBJ-BET 3 y 5 (Figura 5), las dos únicas áreas con al menos 10 bodegas muestreadas por dominio, para el protocolo reducido de 2 conglomerados de 100 viajes cada uno y 2 bodegas por viaje. Los resultados fueron similares para 2023, por lo que no se muestran. El promedio, sobre conjuntos completos de datos simulados, de la proporción verdadera de especies para el dominio, 'true p ', se muestra en el título de la figura.

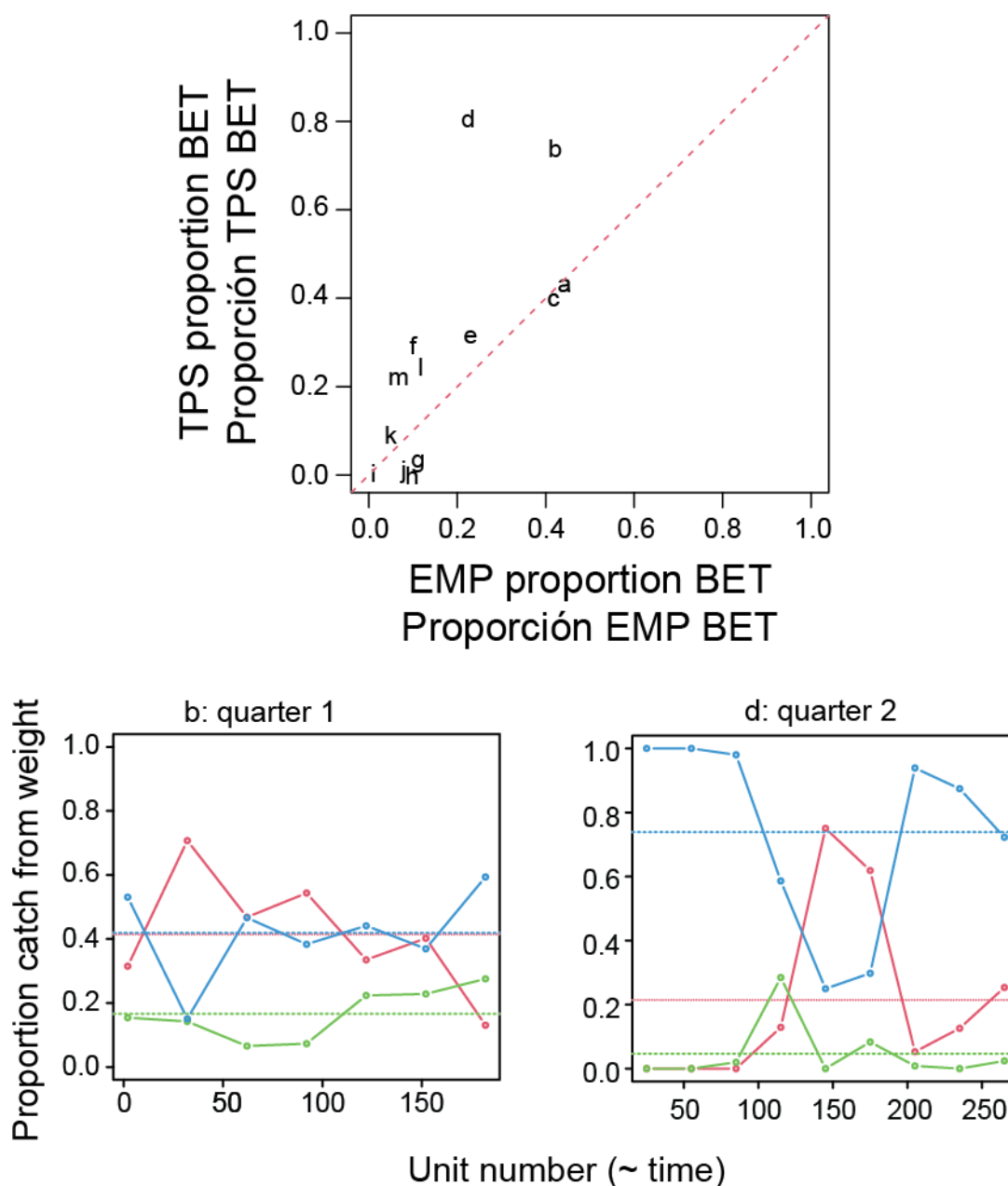


FIGURE 24. Top: estimated proportion of BET in the well, for wells sampled by both EMP and the TPS, 2023. Each letter is a well; there are 13 wells shown in the figure. The red dash line is the 1-to-1 line. Bottom: the EMP data for wells 'b' and 'd' (top graph), which are the wells furthest from the 1-to-1 line. Each open circle is the estimated species proportion for a single unit (container); red: BET; green: YFT; blue: SKJ. The EMP sampled the entire unloading of each of the 13 wells. The TPS sample from well 'b' was taken from the first quarter of the well, and the TPS sample for well 'd' was taken from the second quarter.

FIGURA 24. Arriba: proporción estimada de BET en la bodega, para las bodegas muestreadas tanto por el PRM como por el MTP, 2023. Cada letra corresponde a una bodega; en la figura se muestran 13 bodegas. La línea discontinua roja es la línea 1 a 1. Abajo: los datos del PRM correspondientes a las bodegas "b" y "d" (gráfica superior), que son las que se encuentran más alejadas de la línea 1 a 1. Cada círculo abierto es la proporción de especies estimada para una sola unidad (contenedor); rojo: BET; verde: YFT; azul: SKJ. El PRM muestreó toda la descarga de cada una de las 13 bodegas. La muestra del MTP de la bodega "b" se tomó del primer cuarto de la bodega, y la muestra del MTP de la bodega "d" se tomó del segundo cuarto.

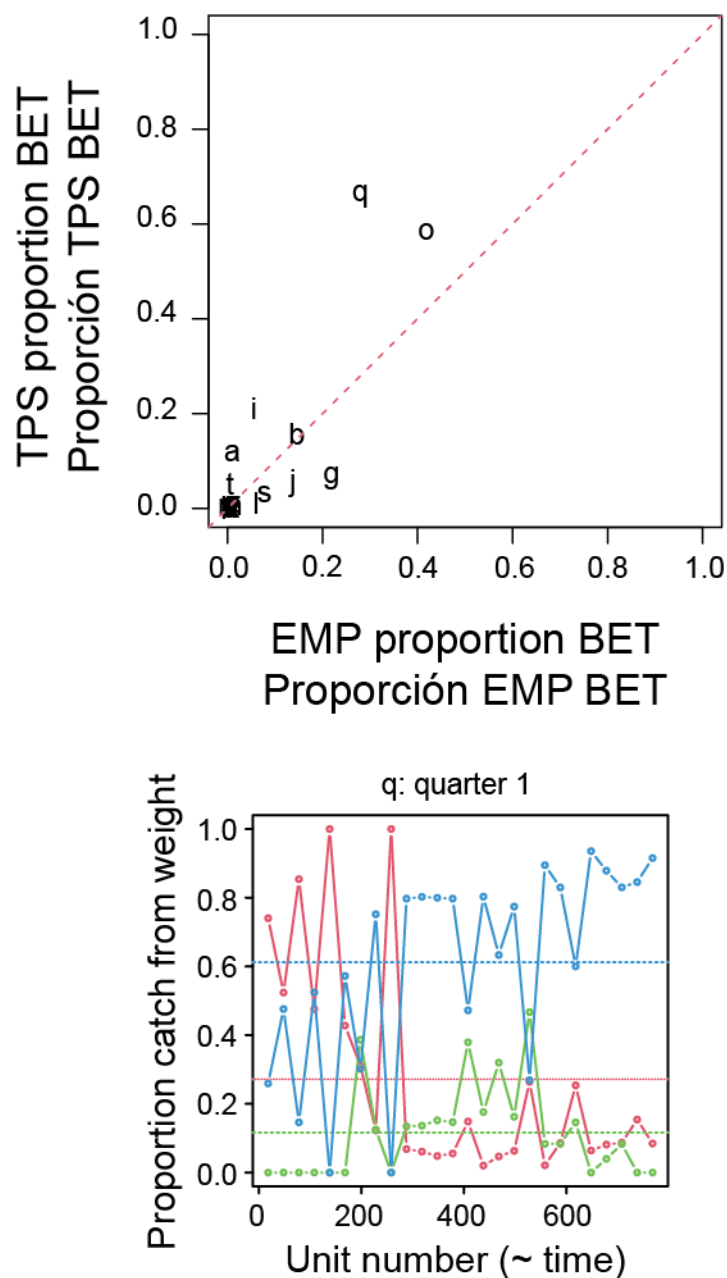


FIGURE 25. Top: estimated proportion of BET in the well, for wells sampled by both EMP and the TPS, 2024. Data for the TPS are preliminary. Each letter is a well; there are 20 wells in the figure. The red dash line is the 1-to-1 line. Bottom: the EMP data for well 'q' (top graph), which is the well furthest from the 1-to-1 line. Each open circle is the estimated species proportion for a single unit (container); red: BET; green: YFT; blue: SKJ. The EMP sampled the entire unloading of each of the 20 wells. The TPS sample from well 'q' was taken from the first quarter of the well.

FIGURA 25. Arriba: proporción estimada de BET en la bodega, para las bodegas muestreadas tanto por el PRM como por el MTP, 2024. Los datos del MTP son preliminares. Cada letra corresponde a una bodega; en la figura hay 20 bodegas. La línea discontinua roja es la línea 1 a 1. Abajo: los datos del PRM correspondientes a la bodega "q" (gráfica superior), que es la más alejada de la línea 1 a 1. Cada círculo abierto es la proporción de especies estimada para una sola unidad (contenedor); rojo: BET; verde: YFT; azul: SKJ. El PRM tomó muestras de toda la descarga de cada una de las 20 bodegas. La muestra del MTP de la bodega "q" se tomó del primer cuarto de la bodega.

ANEXO

La determinación de qué bodegas y viajes son muestreables depende de varios factores: el protocolo de muestreo; el puerto de descarga del viaje; y cómo se descarga la captura del buque. El protocolo de muestreo del MTP (Anexo en [Suter 2010](#)) estipula que las bodegas muestreadas deben tener capturas del mismo tipo de lance cerquero, área de medición de mercado y mes. Las bodegas con capturas de diferentes tipos de lance/áreas de muestreo/meses no deben ser muestreadas. En general, para que un viaje sea muestreado, debe descargar en un puerto donde la CIAT tenga una oficina de campo. No obstante, en ocasiones, el personal de las oficinas de campo de la CIAT ha viajado a otros puertos en otros países para realizar muestreos. Por último, es posible que algunos buques descarguen su captura de forma que sea difícil muestrear el contenido de una sola bodega (por ejemplo, buques que tienen “cuarto frío” a través del cual pasa la captura de otras bodegas durante la descarga; buques que descargan enteramente con redes de carga, haciendo pasar la captura por las bodegas usando canaletas). Las capturas de estas bodegas son difíciles de muestrear por razones logísticas, sin retrasar el proceso de descarga. Así, según el protocolo del MTP, una bodega es muestreable si todas las capturas de la bodega proceden del mismo tipo de lance, área de medición de mercado y mes, la captura de la bodega se descargó de forma que fuera accesible al personal de las oficinas de campo sin interferir en el proceso de descarga, y la bodega se descargó en un puerto donde pudiera ser muestreada por el personal de las oficinas de campo. Un viaje es muestreable, según el protocolo de muestreo del MTP, si tiene al menos una bodega muestreable.

Las limitaciones logísticas que afectan la muestreabilidad bajo el protocolo de muestreo del MTP, es decir, la disponibilidad de muestreadores en el puerto de descarga y la accesibilidad de la captura de bodegas individuales, también afectarían la muestreabilidad bajo el protocolo de muestreo del PMIP propuesto. Sin embargo, el protocolo del PMIP es más flexible que el del MTP en el sentido de que una bodega con capturas del año de interés (en lugar del mismo mes, del OPO) en lugar de una de las 13 áreas de medición de mercado, y de un solo tipo de lance, sería muestreable si se descargara en un puerto con muestreadores y de una manera que hiciera accesible la captura de las bodegas individuales. Así pues, se considerarían muestreables más bodegas con el protocolo de muestreo del PMIP que con el protocolo de muestreo del MTP.

Para calcular la cobertura exacta de un determinado protocolo de muestreo, debe conocerse la composición por lances de cada bodega de cada viaje. Dicha información se registra en los formularios de datos del RDL por todos los observadores para los viajes de buques de clase 6. Sin embargo, no todos los formularios RDL se teclean. Por lo tanto, los datos del RDL de toda la flota de buques de clase 6 deben reconstruirse a partir de la base de datos de observadores permanente y de la base de datos de Seguimiento de Atún. Dado que el número de lance no está disponible en la base de datos de Seguimiento de Atún, las dos fuentes de datos tienen que vincularse utilizando el número de viaje y las ubicaciones y fechas de los lances. Y, como resultado, hay un pequeño porcentaje de bodegas que no pueden vincularse con la información de lance en la base de datos de observadores permanente. Por lo tanto, los cálculos de cobertura presentados en este documento son aproximados.

Por último, el cálculo del número de bodegas y viajes muestreables, según el protocolo de muestreo del MTP, que se presenta en este documento (Tablas 1 - 2) incluye bodegas y viajes de cualquier puerto en el que se haya realizado un muestreo durante el año. Por lo tanto, los puertos en los que rara vez se tomaron muestras se incluirán en los cálculos. Si se limitan los puertos a solo aquellos en los que se realizan muestreos rutinarios, cambiará la estimación de la cobertura aproximada, probablemente aumentando la cobertura de los viajes y bodegas muestreables, pero disminuyendo la cobertura de muestreo de todos los viajes y bodegas. Además, solo en el caso de los buques muestreados por el PRM se sabe bien cómo descargan la captura los buques individuales y, por lo tanto, si un buque descarga o no de forma que su captura no sea muestreable. Los datos sobre este aspecto operativo se recolectaron como parte del estudio piloto del PRM para los buques que iban a ser objeto del muestreo del PRM ([SAC-14 INF-I](#)). Por lo tanto, el cálculo de muestreables, tanto para el protocolo de muestreo del PMIP como el del MTP, presentado en este documento no tiene en cuenta este aspecto debido a la falta de información para todos los buques de clase 6. Si se dispusiera de dicha información, su inclusión en los cálculos podría afectar en cierta medida a las estimaciones de bodegas y viajes muestreables.