

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

15ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

10-14 de junio de 2024

SAC-15 INF-H

PROGRAMA REFORZADO DE MONITOREO: INFORME 2023 Y OTROS AVANCES

Cristina De la Cadena, Cleridy E. Lennert-Cody, Luis Chompoy, Dan Fuller y Alexandre Aires-da-Silva

ÍNDICE

Resumen ejecutivo.....	1
1. Antecedentes.....	2
2. Resultados del Programa Reforzado de Monitoreo	3
2.1. Recolección de datos	3
2.2. Estimaciones de captura de BET por viaje y sus coeficientes de variación	4
3. Investigación científica a partir de datos del PRM	5
3.1. Investigación utilizando datos detallados del observador y del PRM	5
4. Respuesta a requerimientos del CCA-14.....	7
4.1. Mecanismos de transmisión de datos	7
4.2. Análisis costo-beneficio.	7
4.2.1. Metodología de simulación.	7
4.2.2. Resultados de la simulación.....	8
4.2.3. Posibles escenarios de implementación.....	9
5. Ampliar el PRM para realizar muestreos biológicos en apoyo de la evaluación y ordenación de las poblaciones.	10
6. Agradecimientos.....	11

RESUMEN EJECUTIVO

La medida de manejo de umbrales de captura de atún patudo (BET) por buque, establecida en la resolución [C-21-04](#) cuenta con el Programa Reforzado de Monitoreo (PRM) como herramienta de apoyo basada en ciencia, con la implementación de un protocolo para la toma de datos durante la descarga de captura en puerto que permite estimar el BET capturado por un buque en un viaje de pesca y medir la precisión de dicha estimación de captura.

Entre marzo y diciembre del 2023, el PRM muestreó 75 viajes de 30 buques cerqueros, con un total de 529 bodegas muestreadas. Las estimaciones de captura de BET por viaje obtenidas oscilaron entre 2 y 519 t, con una tendencia temporal decreciente en la captura de BET estimada por viaje a lo largo del periodo de 9 meses. Mientras tanto, los coeficientes de variación (CV) obtenidos para las estimaciones de captura de BET a nivel de viaje de pesca fluctuaron entre 0.05 y 0.88, con una mediana de 0.19 y una tendencia temporal creciente a lo largo del periodo de 9 meses. El aumento de los CV en un momento en que las capturas estaban disminuyendo refleja el hecho de que, en varios de los viajes muestreados, solo unas pocas de las bodegas muestreadas tenían cantidades importantes de captura de BET, mientras que la mayoría de las bodegas muestreadas tenían pocas o ninguna captura de BET. Al mismo nivel de cobertura

de muestreo de bodegas, tal variabilidad en la captura de BET entre bodegas conduce a una mayor varianza estimada en la captura a nivel de viaje y, por lo tanto, a CV más elevados.

Los datos recolectados por el PRM han generado importantes oportunidades para la investigación, permitiendo el desarrollo de estudios enfocados en maximizar los beneficios científicos de los datos provenientes de las otras fuentes de información disponibles (observador, bitácora, planta procesadora). También se observaron disminuciones similares en la captura de BET durante el periodo para las otras fuentes de datos; sin embargo, las estimaciones de las otras fuentes de datos, buque por buque, podían ser superiores o inferiores a las del PRM, incluso a veces fuera de los intervalos de confianza de las estimaciones del PRM. Para una mejor comprensión de los patrones encontrados por buque, se están analizando las estimaciones del PRM y de los observadores de la proporción de BET en la captura, a nivel de bodegas individuales. Los datos del PRM de 2024 serán muy útiles para estas comparaciones a nivel de bodega porque aumentarán el número de viajes muestreados por buque, para muchos de los buques muestreados por el PRM, lo que permitirá obtener mejores modelos estadísticos y, por lo tanto, una mejor comprensión de la relación a nivel de bodega entre las dos fuentes de datos.

Con el fin de proporcionar información para planificar el muestreo del PRM más allá de 2024, se realizó un análisis costo-beneficio, con la presentación de varios escenarios de implementación. El personal de la CIAT considera que con el presupuesto anual estimado para el escenario A, US\$ 404,765, el PRM podría continuar implementando el protocolo de muestreo para la estimación de la captura de BET por viaje para un subconjunto de buques que descargan en Manta (Ecuador), con la posibilidad de muestreos ocasionales en Posorja (Ecuador). Además, dentro del presupuesto propuesto en el Escenario A, en Ecuador el PRM podría: 1) recolectar datos morfométricos para actualizar las relaciones morfométricas usadas en las evaluaciones de poblaciones; y, 2) recolectar datos de muestreo de composición por especie de alta frecuencia para uso en estudios de simulación para evaluar mejoras al protocolo tradicional de muestreo en puerto. Ambas actividades abordarían las recomendaciones de la [1ª Revisión externa de los datos utilizados en las evaluaciones de las poblaciones de atunes tropicales en el OPO](#). Por US\$ 80,000 adicionales, la recolección de datos morfométricos y de muestreo de alta frecuencia podría extenderse a México. Todos estos componentes del PRM, en Ecuador y, adicionalmente, en México, establecerían una base que puede ampliarse para recolectar otros tipos de datos para la investigación científica, incluidos, entre otros, datos biológicos de especies de atunes y otras especies (ver proyecto sin financiamiento B.3.b).

1. ANTECEDENTES

En el marco de las medidas de conservación de los atunes tropicales en el Océano Pacífico oriental (OPO), la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), en su 98ª reunión celebrada en octubre de 2021, adoptó la resolución [C-21-04](#), la cual incluye el establecimiento de umbrales de captura anuales de atún patudo (BET; *Thunnus obesus*) para buques cerqueros individuales (UIB), con la activación de días adicionales de veda para un buque que sobrepase dichos umbrales. En apoyo al monitoreo de las capturas de los buques cerqueros en relación con estos umbrales, la resolución creó además el Programa Reforzado de Monitoreo (PRM), con el fin de recolectar datos durante la descarga en puerto de los buques cerqueros a fin de estimar la captura de BET a nivel de viaje de pesca. Con este fin, se llevó a cabo un estudio piloto del PRM para recolectar datos y desarrollar el diseño de muestreo entre septiembre de 2022 y febrero de 2023. Este estudio piloto se centró en el muestreo intensivo de bodegas que contenían capturas de lances sobre objetos flotantes (OBJ) para una serie de buques, algo que el personal de la CIAT no había realizado antes. Los resultados del estudio piloto, incluyendo el protocolo de muestreo desarrollado, fueron presentados en los documentos [SAC-14-10](#) y [SAC-14 INF-I](#). A partir de marzo de 2023, el PRM inició actividades de muestreo en los puertos de Manta y Posorja en Ecuador.

El presente documento presenta los resultados del PRM para 2023 y las oportunidades para la

investigación científica con los datos del PRM identificadas durante la implementación del programa. La Sección 2 contiene información sobre la recolección de datos y estimaciones realizadas por el PRM, en cumplimiento con lo dispuesto en la resolución C-21-04. La Sección 3 presenta un detalle de las investigaciones científicas llevadas a cabo por el personal de la CIAT hasta la fecha con los datos recolectados por el PRM. Estas investigaciones tienen por objetivo mejorar los métodos de recolección y análisis de datos para la estimación de captura de BET por viaje y explorar los usos de los datos del PRM para beneficiar la estimación de la composición por especie de la captura de atunes tropicales¹ a nivel de flota. La Sección 4 busca responder a los requerimientos realizados por el CCA-14, con el reporte de los avances en la mejora de los mecanismos de intercambio de información entre el personal de la CIAT y sus Miembros; esta sección además incluye el análisis costo-beneficio solicitado por el CCA en 2023, en el que se presentan posibles escenarios basados en los objetivos actuales del PRM. La Sección 5 amplía la discusión de dicho análisis costo-beneficio al plantear que se incluya la recolección de datos morfométricos y de muestreo de alta frecuencia entre las tareas del PRM. Esta recolección de información biológica se alinea con las necesidades actuales de investigación de la CIAT y sigue las recomendaciones de la Revisión Externa de octubre de 2023.

2. RESULTADOS DEL PROGRAMA REFORZADO DE MONITOREO

2.1. Recolección de datos

Entre marzo y diciembre de 2023, el PRM realizó el muestreo de 75 viajes de pesca de 30 buques cerqueros pertenecientes a las flotas de Ecuador, El Salvador, España, Estados Unidos, Nicaragua y Panamá. Para 22 de estas embarcaciones se logró muestrear al menos dos viajes de pesca (Figura 1). El número de viajes muestreados para un mismo buque dependió de varios factores: la frecuencia con la que el buque descargó en los puertos donde el PRM está presente; la disponibilidad de técnicos de muestreo al momento de la descarga; y, durante los últimos meses del año, la priorización del muestreo de aquellos buques cuya captura anual de BET se encontraba más próxima a sobrepasar los umbrales establecidos en la resolución C-21-04.

La selección de los viajes a muestrear se basó en la medida en que la actividad de pesca durante un viaje implicaba tipos de lance y áreas prioritarios para la recolección de datos ([SAC-14-10](#)). Cada bodega de un viaje se asignó a un "estrato", y estos estratos resultan de la combinación de área(s) de pesca (Figura 2) y tipo(s) de lance asociada a la captura contenida en las bodegas. Para cada viaje se seleccionó de manera aleatoria entre 6 a 8 bodegas de estratos específicos, dando prioridad a los estratos definidos por lances OBJ realizados en el área occidental del OPO (estratos OBJ OFF y OBJ IN-oeste²),.Las bodegas con captura de lances OBJ realizados en la zona oriental del OPO (estrato OBJ IN-este) y lances sobre cardúmenes no asociados (estrato NOA) fueron muestreadas con poca frecuencia debido a que históricamente han producido poca o nula captura de BET (no se muestrearon bodegas de tipos de lance mixtos y/o áreas mixtas). Para cada una de las bodegas seleccionadas, un equipo de dos muestreadores muestreó una unidad³ de cada 30 unidades de peces descargadas de la bodega, comenzando con una unidad elegida al azar de las primeras 30 descargadas y continuando hasta el final de la descarga de la bodega, tal y como se establece en el protocolo de muestreo del PRM ([SAC-14-10](#)). Para cada unidad muestreada, todos los

¹ Los atunes tropicales son el BET, el atún aleta amarilla (YFT; *Thunnus albacares*) y el atún barrilete (SJK; *Katsuwonus pelamis*).

² OBJ OFF: lances sobre objetos flotantes realizados al oeste de 110°O; OBJ IN-oeste: lances sobre objetos flotantes realizados entre 110°O y 95°O; OBJ IN-este: lances sobre objetos flotantes realizados al este de 95°O; NOA: lances no asociados. Un mayor detalle de los estratos de captura establecidos para el PRM puede ser encontrado en la sección A.4 del documento [SAC-14 INF-I](#).

³ Una unidad se define como un contenedor físico lleno de peces o un número fijo de peces descargados individualmente de la bodega. Para mayor detalle ver [SAC-14-10](#) y [SAC-14 INF-I](#).

peces de la unidad se clasificaron en uno de los cuatro grupos de especies (BET, YFT, SJK, otros peces), y se registró el peso de cada atún tropical. En total, 529 bodegas fueron muestreadas por el PRM en 2023.

2.2. Estimaciones de captura de BET por viaje y sus coeficientes de variación

Las estimaciones de captura de BET de los viajes muestreados por el PRM se obtuvieron siguiendo la metodología descrita en el documento [SAC-14-10](#). Para cada viaje, esto implicó obtener una estimación de la captura de BET para cada estrato del viaje y sumar esas estimaciones para obtener la estimación a nivel de viaje. Para los estratos del viaje que no fueron muestreados por el PRM, se utilizaron las estimaciones obtenidas de los datos del observador en el resumen de lance (RDL). Para el 65% de los viajes muestreados (49 de 75 viajes) la estimación de BET a nivel de viaje se basó en su totalidad, o casi en su totalidad, en la composición por especie obtenida de los datos del PRM (Figura 3). Para el 35% de viajes restantes, se tuvo que recurrir en mayor medida a los datos de composición por especie del RDL, debido a que existieron más estratos por viaje de los que pudieron ser muestreados por el PRM (Figura 3).

Las estimaciones de captura de BET por viaje obtenidas para los 75 viajes muestreados en 2023 oscilaron entre 2 y 519 t; presentándose una tendencia temporal decreciente en las toneladas estimadas, con un claro cambio a mediados de julio (Figura 4). Esta tendencia es también evidente para las estimaciones de los estratos OBJ OFF y OBJ IN-oeste, no así para OBJ IN-este (Figura 5).

Los coeficientes de variación (CV; Apéndice B) obtenidos para las estimaciones de captura de BET a nivel de viaje de pesca fluctuaron entre 0.05 y 0.88, con una mediana de 0.19. A diferencia del comportamiento en el tiempo descrito en el párrafo anterior para las estimaciones de captura, los CV presentaron una tendencia creciente, lo cual comenzó alrededor de mediados de julio (Figura 6). A nivel de estratos, los CV de las estimaciones de captura presentaron la misma tendencia, en particular para OBJ OFF y en menor medida OBJ IN-oeste (Figura 7). Los CV medianos para las estimaciones a nivel de estrato fueron: 0.17 para OBJ OFF (rango: 0.01 a 0.67) y 0.26 para OBJ IN-oeste (rango: 0.02 a 0.63).

Los CV más altos durante el periodo donde la captura estimada de BET fue más baja son el resultado de un incremento en la variabilidad de la proporción de BET entre las bodegas muestreadas de viajes individuales. Es probable que la captura estimada de BET para un viaje, o para un estrato, sea baja cuando la proporción de BET por bodega es baja en todas o casi todas las bodegas muestreadas. Si la proporción de BET en unas pocas bodegas muestreadas de un viaje (o de un estrato) es considerablemente superior a la de las demás bodegas muestreadas, esto puede dar lugar a una mayor varianza estimada y, por tanto, a un mayor CV. Por ejemplo, existe un claro cambio temporal en la variabilidad de la proporción de BET tanto dentro como entre las bodegas muestreadas del mismo viaje para el estrato OBJ OFF (Figura 8). Las bodegas muestreadas con captura del estrato OBJ OFF de los viajes que descargaron después de julio normalmente tuvieron una proporción total de BET más baja en comparación con el periodo anterior (Figura 8). Sin embargo, para algunos de esos viajes, una o dos bodegas presentaron una proporción de BET considerablemente mayor, lo que dio lugar a CV más elevados.

Al momento de la redacción de este documento no es posible establecer si el patrón temporal observado en los CV en 2023 es recurrente. Además de la temporalidad pueden existir otros factores que pueden contribuir a este patrón, incluyendo: cambios en el comportamiento de pesca, como resultado de la resolución, de los buques muestreados frecuentemente por el PRM, como evitar activamente los lances OBJ con mayores capturas de BET a finales del año; la posible clasificación de la captura entre bodegas a bordo de los buques; y la pesca oportunista debido a un incremento en la disponibilidad de atún barrilete en los últimos meses de 2023.

El patrón temporal de los CV se estudiará más a fondo con los datos recolectados por el PRM en 2024. Durante los tres primeros meses de 2024 el PRM muestreó 24 viajes de 19 buques de la flota de Ecuador, El Salvador, España, Panamá y Nicaragua. El PRM seguirá muestreando viajes hasta diciembre de 2024.

3. INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA A PARTIR DE DATOS DEL PRM

Los datos de muestreo en puerto recolectados por el PRM han generado importantes oportunidades para la investigación del personal de la CIAT para mejorar la ciencia para la ordenación. Además del uso de los datos del PRM para la estimación de la captura de BET por viaje, los datos del PRM están haciendo posibles estudios enfocados en maximizar los beneficios científicos de otras fuentes de datos existentes, así como estudios sobre su uso potencial en la estimación de captura de las tres especies de atunes tropicales a nivel de la flota.

Además de los datos del PRM, el personal de la CIAT tiene acceso a datos provenientes de tres fuentes de información primaria: programa de observadores del APICD, bitácoras de pesca y plantas procesadoras. Como primer paso hacia una mejor comprensión de las cuatro fuentes de datos, las estimaciones de captura de BET proporcionadas por estas fuentes de datos pueden ser comparadas a nivel de viaje de pesca. Al igual que las estimaciones del PRM (Figura 4), las estimaciones de captura de BET a nivel de viaje de las otras tres fuentes de datos mostraron también una tendencia temporal decreciente en 2023 (Figura 9), siendo esta tendencia un poco menos evidente en las estimaciones de las bitácoras de pesca. Para cada una de las tres fuentes de datos primarias, hubo algunos viajes con estimaciones muy similares a las del PRM y otros con estimaciones por fuera del 95% de intervalo de confianza de las estimaciones del PRM, ya sea sobre o bajo los límites del intervalo de confianza.

Se encontró una correlación positiva entre las estimaciones del PRM y de las tres fuentes primarias de datos (Figura 10). Con el propósito de evaluar estadísticamente estas relaciones, modelos de regresión lineal simple fueron ajustados a los puntos pareados de datos utilizando mínimos cuadrados ponderados, con pesos iguales al inverso de la varianza de las estimaciones del PRM (para reducir la influencia de las estimaciones del PMR más imprecisas sobre la relación ajustada). Las pendientes estimadas para las tres relaciones lineales (cada una con un valor $p < 0.001$) son: 0.71 (e.e. = 0.072) para PRM versus RDL; 0.95 (e.e. = 0.045) para PRM versus planta procesadora; y, 0.89 (e.e. = 0.092) para PRM versus bitácora de pesca (Figura 10). Aunque las pendientes de estas tres relaciones lineales pueden compararse estadísticamente, la interpretación de los resultados se complica por el hecho de que el personal de la CIAT no contó con estimaciones de bitácoras y plantas procesadoras para los 73 viajes con estimaciones del PRM⁴ y del RDL⁵; no existiendo datos de planta procesadora y bitácora para 11 y 21 viajes respectivamente. No es posible determinar cómo podrían haber cambiado las relaciones entre las estimaciones del PRM y planta procesadora, y PRM y bitácora, si las estimaciones faltantes de estas dos fuentes hubiesen estado disponibles y se hubiesen incluido en los análisis de regresión. Esto se debe a que al momento no se conocen los motivos por los cuales la información para estos viajes no fue proporcionada y, por tanto, no es posible suponer que la falta de esta información se haya dado de manera aleatoria. Una comparación detallada de los datos del PRM y el RDL se presenta en la Sección 3.1; la Sección 4.1 ofrece información adicional de los datos provenientes de las bitácoras y plantas procesadoras.

3.1. Investigación utilizando datos detallados del observador y del PRM

La naturaleza detallada de los datos del RDL, y su disponibilidad para todos los viajes muestreados por el PRM, permite comparar los datos del PRM y del RDL a diferentes niveles, desde el nivel de estrato hasta el nivel de bodega.

Un análisis comparativo de las estimaciones PRM y RDL a nivel de estrato mostró que las estimaciones de las dos fuentes presentan un comportamiento similar en el tiempo, siguiendo la misma tendencia

⁴ Hubo dos viajes muestreados por el PRM para los que no se pudo estimar la varianza.

⁵ Al 9 de abril de 2024

temporal general, particularmente para el estrato OBJ OFF, con estimaciones de ambas fuentes mostrando una reducción en las capturas de BET a partir de mediados de julio (Figura 11). Para algunos viajes, las estimaciones a nivel de estrato de las dos fuentes de datos fueron muy similares, donde la estimación del RDL se encontraba dentro del intervalo de confianza aproximado del 95% de la estimación del PRM. Para otros viajes, las estimaciones a nivel de estrato fueron distintas, donde la estimación del RDL se encontraba sobre o bajo los límites del intervalo de confianza de la estimación del PRM (Figura 11).

Las diferencias entre las estimaciones del RDL y el PRM, calculadas por viaje a nivel de estrato, fueron agrupadas por buque para ayudar a comprender los patrones mostrados en la Figura 11. Para los buques donde se muestreó más de un viaje, se identificaron varios tipos de patrones (Figura 12). Algunos buques presentaron diferencias tanto positivas como negativas en las estimaciones a nivel de estrato, mientras que, para otros buques, estas diferencias podían ser casi totalmente positivas o negativas. Así pues, los patrones mostrados en la Figura 11 parecen tener tanto un componente temporal como un componente de buque.

Para una mejor comprensión de los patrones encontrados a nivel de buque (Figura 12), se analizaron las proporciones estimadas de BET por bodega de ambas fuentes de datos (Figura 13; Apéndice A). La relación global entre la proporción de BET por bodega del PRM y del RDL mostró una correlación positiva, con diferencias tanto positivas como negativas (Figura 13). Sin embargo, esta relación global puede ser engañosa. Para algunos buques, la diferencia entre las dos fuentes de datos a nivel de bodega fue sistemáticamente positiva o negativa en casi todas las bodegas y los viajes muestreados⁶ (Figura 13; Apéndice A), mientras que para otros buques el patrón de diferencias a nivel de bodega cambia de un viaje a otro (Apéndice A). Estos resultados indican que relación entre el PRM y el RDL no es sencilla. Esto es particularmente cierto porque, en general, los datos del RDL para los viajes de un mismo buque en 2023 fueron registrados por diferentes observadores. Por lo tanto, en el caso de algunos buques, el patrón constante en las diferencias a nivel de bodega entre viajes puede estar relacionado a factores específico del buque, mientras que, en el caso de otros buques, en los que el patrón cambia de un viaje a otro, pueden estar involucrados otros factores. A finales de este año se realizarán mayores análisis utilizando los datos recolectados en 2024 para aumentar el tamaño de la muestra. Este análisis implicará el desarrollo de un modelo para la relación a nivel de la bodega usando covariantes como la capacidad del salabardo, tamaño del lance, número de lances asociados con la captura contenida en la bodega, la proporción de atún aleta amarillo pequeño en un lance, entre otros factores. Al momento el personal de la CIAT no cuenta con datos del tamaño de los salabardos, sin embargo, esta información será recolectada por el PRM durante el 2024.

La modelación exitosa de los efectos de varios factores que conducen a diferencias en las estimaciones del PRM y RDL a nivel de bodega tiene varios beneficios científicos potenciales. En primer lugar, un modelo de este tipo permitiría realizar ajustes en las estimaciones de captura de los observadores, lo que podría conducir a la incorporación de los datos del observador en el futuro desarrollo de modelos espaciotemporales para la estimación de captura a nivel de flota. En segundo lugar, permitiría que los datos de los observadores, con su cobertura más amplia de buques en el espacio y el tiempo, se utilizaran más ampliamente en el desarrollo de mejoras de los protocolos de muestreo en puerto, tanto para la estimación de capturas a nivel de viaje como a nivel de flota. Los datos del PRM de 2024 serán muy útiles

⁶ Además, la sustitución de la pendiente global, β , en el modelo lineal simple: proporción de BET del PRM = $\alpha + \beta \times$ proporción de BET del RDL, por pendientes por buque redujo el Criterio de Información de Akaike (AIC) en -95 (de -618 a -713) y aumentó R-cuadrado ajustado del 62% a más del 70%. (En ambos modelos, el valor p del estadístico F para la prueba de significación del modelo fue < 0.001). Dado que el AIC para el modelo tanto de pendientes como de intersecciones por buque era de -733, el modelo con solo una pendiente global (e intersección) no parece ser un modelo adecuado.

para la comparación a nivel de bodega de las estimaciones del PRM y el RDL, ya que aumentará el número de viajes disponibles para el análisis de los buques muestreados por el PRM, lo que permitirá obtener mejores modelos estadísticos y, por lo tanto, una mejor comprensión de la relación a nivel de bodega entre las dos fuentes de datos.

4. REPUESTA A REQUERIMIENTOS DEL CCA-14

4.1. Mecanismos de transmisión de datos

A partir de julio del 2023, cada CPC tiene acceso a un sitio web en la página de la CIAT donde se presentan las estimaciones de captura de BET por viaje de las fuentes primarias disponibles, para los buques clase 4, 5 y 6 de su pabellón. Se trata de una tabla dinámica que es alimentada diariamente con información contenida en las bases de datos de la CIAT.

La Tabla 1 presenta un detalle, en cantidad y cobertura, de la información disponible de cada fuente de datos para los viajes realizados en 2023 por buques clase 4, 5 y 6, al 15 de enero del 2024. De manera general, el programa de observadores a bordo del APICD aseguró contar con datos para el 100% de los viajes de buques clase 6 operando en el OPO. El 70% de los viajes contaron con información de las bitácoras de pesca. En el caso de los datos provenientes de las plantas procesadoras, si bien el envío de esta información al personal de la CIAT se encuentra establecido en el numeral 8 de la resolución C-21-04, al 15 de enero del 2024 el personal de CIAT había recibido información para solo el 28% de los viajes realizados en 2023. El bajo porcentaje de datos recibidos, particularmente de las plantas procesadoras, impacta negativamente la capacidad del personal de la CIAT para realizar los análisis de manera oportuna. Sin embargo, este problema ha puesto de relieve la oportunidad de trabajar en mejoras de los procedimientos, formatos y/o requisitos mínimos que permitan el manejo estandarizado de los datos recibidos desde las plantas procesadoras, minimizando así el riesgo de errores en la información que no puedan ser identificados y corregidos, como por ejemplo el posible reporte de cantidades incompletas o duplicadas.

4.2. Análisis costo-beneficio

Se presenta a continuación el análisis costo-beneficio solicitado al personal de la CIAT por el CCA (en el Apéndice B se presentan detalles técnicos adicionales). El propósito de este análisis costo-beneficio es proporcionar información para informar la discusión sobre el nivel de muestreo de un futuro PRM después de 2024, específico para la estimación de captura de BET por viaje. Para este análisis se realizó un estudio de simulación con el fin de estimar la reducción de los CV en las estimaciones de captura de BET a nivel de viaje que se produciría con aumentos hipotéticos del número de bodegas muestreadas por viaje.

4.2.1. Metodología de simulación

Esta simulación evalúa la reducción de los CV que se esperararía si se aumentara el número de bodegas muestreadas para un estrato (viaje). La varianza en la captura de BET estimada por estrato, y por viaje, tiene dos componentes: un componente de varianza entre bodegas, impulsado por la variabilidad en la composición por especie entre las bodegas del estrato (viaje); y, un componente de varianza dentro de la bodega, impulsado por la variabilidad en la composición por especie entre las unidades (contenedores) de peces descargados de una bodega. Es importante tener en cuenta ambos factores para reducir la varianza en la captura de BET estimada ([SAC-14-10](#)). Sin embargo, los retos logísticos de reducir la varianza dentro de la bodega se consideran mayores que los retos logísticos de muestrear más bodegas para el estrato (viaje), dado el actual protocolo de muestreo dentro de la bodega del PRM ([SAC-14-10](#); [SAC-14 INF-I](#)). Así pues, el estudio de simulación se centró en evaluar la reducción de la varianza, y por tanto del CV, que puede conseguirse aumentando el número de bodegas muestreadas.

El estudio de simulación se centró en el estrato OBJ OFF debido a su importancia para las capturas de BET

y a los claros aumentos de los CV en la última parte de 2023 (Figura 7). Aunque el estudio de simulación se centró en aumentar el muestreo para el estrato OBJ OFF, se evaluaron tanto los CV de las estimaciones de este estrato como los CV de las estimaciones por viaje. Así, para los viajes con capturas de varios estratos, se supuso implícitamente que el muestreo adicional sería más beneficioso si se realizara para las bodegas con capturas del estrato OBJ OFF. También se supone que el componente de varianza entre bodegas en la captura de BET estimada para el estrato OBJ OFF se estimó adecuadamente con el número de bodegas realmente muestreadas.

Para estimar la reducción de los CV debida al muestreo adicional simulado, los datos se dividieron en dos periodos: un periodo temprano, definido por los viajes que descargaron hasta el 15 de julio; y un periodo tardío, definido por los viajes que descargaron después de esta fecha. Se seleccionaron estos dos periodos porque se caracterizan por tener diferentes rangos de valores de CV (Figuras 6 – 7). Se consideró importante evaluar el beneficio de un muestreo adicional para cada periodo por separado, ya que, como se menciona en la sección 2.2, los factores que condujeron a las diferencias en los CV a lo largo del tiempo son un tema de investigación en curso y, por lo tanto, al momento de redactar este documento se desconoce lo que podría esperarse en años futuros. Las simulaciones realizadas para cada periodo pueden delimitar las posibles distribuciones de los valores estimados de CV que se obtendrían del muestreo en años futuros.

Dentro de cada periodo, la simulación se limitó a los viajes para los que no se habían muestreado originalmente todas las bodegas del estrato OBJ OFF (porque no habría nada que mejorar para un viaje concreto si originalmente se hubieran muestreado todas las bodegas OBJ OFF posibles) y a los viajes para los que el CV estimado del estrato de captura OBJ OFF fue superior a 0.10 (asumiendo que si con el número original de bodegas muestreadas se alcanzó un CV de 0.1 o menos, el nivel original de muestreo fue el adecuado). En el periodo temprano se incluyeron 21 viajes en la simulación, 6 viajes no fueron incluidos ya que todas las bodegas OBJ OFF se habían muestreado originalmente y/o el CV original para el estrato de captura fue igual o menor a 0.1. Para el periodo tardío se incluyeron 27 viajes en la simulación, 8 viajes no fueron incluidos.

Para el estrato OBJ OFF de un viaje individual, los detalles de la simulación son los siguientes. El número de bodegas OBJ OFF adicionales que se simuló se habrían muestreados fueron: 2, 4, 6 y 8 bodegas. Se volvió a calcular la varianza en la captura de BET estimada del estrato con cada uno de los números simulados de bodegas adicionales muestreadas. Por último, se volvieron a calcular los CV correspondientes, para el estrato y el viaje, utilizando las varianzas simuladas. Estos pasos solo se repitieron para el estrato OBJ OFF de un viaje, hasta el número total de bodegas OBJ OFF que podían muestrearse para ese viaje. Por ejemplo, si un viaje tenía 10 bodegas que contenían capturas OBJ OFF y se muestrearon originalmente 6 bodegas, se evaluarían los CV con 2 bodegas adicionales muestreadas y 4 bodegas adicionales muestreadas, pero no con 6 u 8 bodegas adicionales muestreadas.

4.2.2. Resultados de la simulación

Los resultados de la simulación de los CV del estrato OBJ OFF difieren según el periodo (Figuras 14-15), como se esperaría dadas las diferencias en los CV originales de los dos periodos (Figura 7). Para el periodo temprano, los resultados de la simulación sugieren que si el CV objetivo para el estrato OBJ OFF es 0.20 o menos, el muestreo adicional de 2 bodegas OBJ OFF probablemente alcanzaría este objetivo para cada viaje (Figura 14). Si el CV objetivo para el estrato OBJ OFF es 0.10, sería necesario muestrear entre 6 a 8 bodegas OBJ OFF adicionales. Para el periodo tardío, los resultados de la simulación sugieren que para alcanzar un CV objetivo de 0.2 para todos los viajes sería necesario muestrear más de 8 bodegas adicionales y que un CV objetivo de 0.10 para todos los viajes no es realista (Figura 15). Sin embargo, al muestrear de 2 a 4 bodegas adicionales, el porcentaje de viajes en el periodo tardío con CV iguales o inferiores a 0.20 o 0.25 aumenta considerablemente, en comparación con la distribución originales de los

valores de CV (Figura 15). Así pues, cabe esperar que una cantidad limitada de muestreos adicionales mejore los resultados de CV para el estrato OBJ OFF en el periodo tardío.

Dadas las diferencias en los resultados de la simulación entre los periodos temprano y tardío, los resultados generales se resumieron por separado para cada periodo, con base en la proporción de todos los viajes muestreados con captura en el estrato OBJ OFF para los que los CV del estrato, y por separado los CV del viaje, estaban por debajo de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 (Figura 16). Siguiendo este planteamiento, se calcula que el 100% de los CV de los viajes del periodo temprano serían inferiores a 0.20 si se tomaran muestras de 2 bodegas adicionales para el estrato OBJ OFF (Tabla 2, Figura 16). Para el periodo tardío se estima que el 49% y el 69% de los CV a nivel de viaje estarían por debajo de 0.20 y 0.25, respectivamente, si se tomaran muestras de 2 bodegas adicionales para el estrato OBJ OFF (Tabla 2, Figura 16). Se calcula que estos porcentajes aumentarían al 63% y 80%, respectivamente, si se tomaran muestras de 4 bodegas adicionales para el estrato OBJ OFF.

4.2.3. Posibles escenarios de implementación

Con base en los resultados presentados en la sección anterior se plantean tres posibles escenarios para un futuro protocolo de muestreo del PRM, basados en el número de bodegas por viaje que se necesitarían muestrear de acuerdo con el CV esperado (Tabla 2):

- a) Escenario A (sin aumento): 6 a 8 bodegas muestreadas por viaje.
- b) Escenario B (+2): 8 a 10 bodegas muestreadas por viaje.
- c) Escenario C (+4): 10 a 12 bodegas muestreadas por viaje.

Por ejemplo, para el periodo temprano, si el CV deseado es 0.20, en el escenario A, 89% de los viajes muestreados podrían tener CV menores o iguales a 0.20; en los escenarios B (+2) y C (+4) se esperaría que 100% de los viajes lograran este objetivo (Tabla 2, Figura 16). Sin embargo, para el periodo tardío estos porcentajes se reducen al 40% para el escenario A, al 49% para el escenario B (+2) y al 63% para el escenario C (+4) (Tabla 2, Figura 16).

La estimación de los costos para cada escenario parte del número de equipos de muestreo (dos personas por equipo), necesarios para muestrear la cantidad de bodegas establecida para cada escenario y los costos operativos asociados. Las estimaciones de costos tomaron como referencia el presupuesto ejecutado del PRM en 2023 y el nivel real de muestreo que se produjo en el puerto de Manta en 2023, con un promedio de 4 viajes muestreados por mes, 48 viajes por año. Se calculó entonces el costo anual y por viaje para cada uno de los tres escenarios planteados (Tabla 3). El escenario A presenta el muestreo del número de bodegas mínimas por viaje recomendado ([SAC-14-10](#)), con 6 equipos de muestreadores (12 personas) para cubrir entre 6 a 8 bodegas por viaje, que es el protocolo actual del PRM. Se estima que este escenario posibilitaría alcanzar CV igual o menor a 0.2 para el 89% de los viajes en el periodo temprano y para el 40% en el periodo tardío, con un costo anual aproximado de US\$ 404,762.44. En el caso del escenario B (+2), que implica 8 equipos de muestreadores (16 personas) se cubrirían de 8 a 10 bodegas por viaje para obtener estimaciones de captura de BET por viaje con CV iguales o menores a 0.20 para alrededor del 100% de los viajes muestreados en el periodo temprano y el 49% en el periodo tardío. Para este escenario se proyecta un costo de anual de US\$482,423.12 (tabla 3).

Los escenarios presentados en este análisis consideraron el requisito de que el PRM no afecte los tiempos y procesos normales de descarga de la flota. Es posible que con colaboración adicional por parte del buque y/o la empresa de descarga, se pueda conseguir un incremento de bodegas muestreadas por viaje sin aumentar el número de muestreadores, mejorando así los CV sin aumentar directamente el costo del PRM. Además, los escenarios presentados anteriormente suponen la colaboración puntual de personal del Viceministerio de Acuicultura y Pesca de Ecuador, u otra entidad, en muestreos donde se requiera de

asistencia adicional para superar retos logísticos, reconociendo que las entidades de los CPC cualificadas para llevar a cabo este tipo de trabajo tienen sus propias responsabilidades que cubrir, lo que dificultan la designación de personal permanente para el PRM. Finalmente, la información presentada en esta sección pretende servir de insumo en los procesos de toma de decisión del CCA, como parte de las estrategias de mejoras de la recolección y análisis de datos para estimaciones de captura a nivel de viaje y de la flota relacionadas a las medidas de conservación para las especies de atunes tropicales. En este sentido, la siguiente sección se presenta información sobre los posibles campos de acción adicionales del PRM, bajo los costos estimados de los escenarios propuestos anteriormente, para apoyar las necesidades de muestreo actuales de la Comisión relacionados a las recomendaciones realizadas por la [Revisión Externa de octubre de 2023](#).

5. AMPLIAR EL PRM PARA RECOLECTAR DATOS BIOLÓGICOS PARA MEJORAR LA EVALUACIÓN Y ORDENACIÓN DE LAS POBLACIONES

La experiencia adquirida por el PRM proporciona la infraestructura y los conocimientos necesarios para ayudar a la Comisión a cubrir otras necesidades actuales de muestreo identificadas por la Revisión Externa de octubre de 2023 para los atunes tropicales, mejorando así las evaluaciones de las poblaciones. Entre las recomendaciones de la Revisión Externa, hay dos necesidades de recolección de datos que pueden ser abordadas por el PRM dentro del presupuesto del Escenario A:

1) Mejorar las relaciones morfométricas (Sección 16.3 de la Revisión Externa): Las relaciones talla-peso (T-P), peso-peso (P-P) y talla-talla (T-T) forman parte de la base de diversas investigaciones, como las evaluaciones de poblaciones, las evaluaciones de riesgos ecológicos y la estimación de capturas. Sin embargo, las relaciones T-P actuales de las especies de atunes tropicales son obsoletas (YFT: 1986, BET: 1966, SJK: 1959), y no son representativas de los peces capturados en las pesquerías en la actualidad.

3) Revisión del protocolo tradicional de muestreo en puerto de la CIAT en vista de los resultados obtenidos del análisis de los datos del estudio piloto del PRM (Sección 4.4 de la Revisión Externa): El personal de la CIAT ya inició un estudio exploratorio de simulación sobre el potencial de mejoras al protocolo tradicional de muestreo en puerto de la CIAT (SAC-15 INF-J), usando datos de observadores. El objetivo de este estudio es identificar áreas de investigación futura para reducir la varianza, y posiblemente el sesgo, en la captura estimada a nivel de flota. Sin embargo, son necesarios datos de muestreo en puerto de alta frecuencia para desarrollar los componentes detallados de un protocolo de muestreo en puerto mejorado.

El personal de la CIAT considera que, con el presupuesto estimado para el escenario A (US\$ 404,765) el PRM sería capaz de:

- Muestrear de 6 a 8 bodegas por viaje en apoyo del UIB, con un promedio de 48 viajes muestreados al año.
- Recolectar datos morfométricos y de composición por especie de alta frecuencia.

El escenario A incluye el empleo continuo de 12 muestreadores (6 equipos de dos personas), que es el número mínimo requerido para capturar el muestreo a nivel de viaje para el UIB (6 a 8 bodegas muestreadas por viaje). Los equipos de muestreo tendrán su base en Manta, Ecuador, por lo que la cobertura del muestreo será principalmente de los buques que descarguen en este puerto. Sin embargo, se espera que los muestreadores viajen ocasionalmente a Posorja, Ecuador, para muestrear viajes que descarguen en estos puertos.

Por US\$ 80,000 adicionales, la recolección de datos morfométricos y de muestreo de alta frecuencia podría extenderse a México. Esto permitiría un aumento del número de muestreadores a 16: 12 muestreadores basados en Manta, Ecuador, para cubrir los requisitos de muestreo relacionados con el

UIB, y 4 muestreadores, dos equipos de dos personas, con un equipo basado en Ecuador (Manta - Posorja) y un equipo basado en México (Mazatlán), que se dedicarían a recolectar datos morfométricos ((1) arriba) datos de muestreo de composición por especie para su uso en estudios de simulación ((2) arriba). Todos estos componentes del PRM, en Ecuador y, adicionalmente, en México, establecerían una base que puede ampliarse para recolectar otros tipos de datos para la investigación científica, incluidos, entre otros, datos biológicos de especies de atunes y otras especies (ver proyecto sin financiamiento B.3.b).

Habrán algunas limitaciones en los lugares donde el PRM recolecta datos. Específicamente, la recolección de datos no será posible en puertos sin una oficina de campo de la CIAT. Sin embargo, pueden existir oportunidades para reducir estas deficiencias de datos mediante el fortalecimiento de las acciones de fomento de capacidad con personal de los gobiernos locales y/o dentro del sector privado para colaborar en la recolección de datos, que ya se ha estado llevando a cabo con el gobierno ecuatoriano.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a los muestreadores Jennifer Aguilar, Grace Álvarez, Iván Borbor, Carlos Bravo, Jairo Cabrera, Grecia Cedeño, David Crespo, Pablo Delgado, Jonathan Gaibor, Juan Galarza, José Guillén, Richard Lindao, Javier Mejía, James Méndez, Diego Montehermoso, Andrea Montenegro, Marcos Muñoz, Luis Ortiz, Darío Quimi, Shanelka Quiñonez, Alex Santana, Diego Ureta, Wellington Vásquez, Víctor Vines, Ledín Vizueta, Robinson Zambrano, Tommy Zamora y Alisson Zúñiga; al personal de la oficina regional de Manta, Jessenia Gilces, Carlos de la A Florencia, Daniel Cevallos, Glenthon Macías, Nilo Pérez y Alex Urdiales; al personal de la oficina regional de Playas, William Paladines, Felix Cruz y Gerinaldo Briones; a los programas nacionales de observadores de Ecuador y Panamá. A la industria pesquera y autoridades nacionales por su colaboración en la implementación del programa.

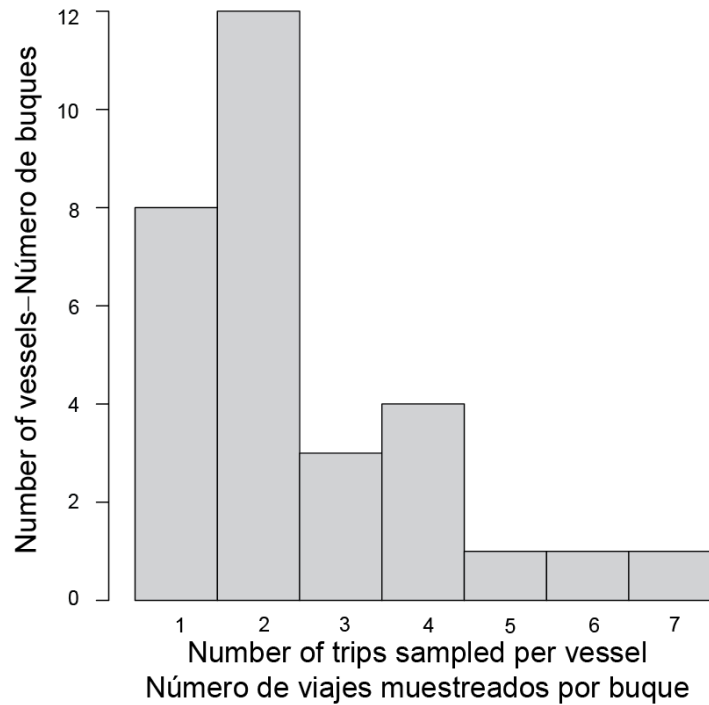


FIGURE 1. Number of trips sampled per vessel for the 75 trips sampled by the EMP in 2023.
FIGURA 1. Número de viajes muestreados por buque para los 75 viajes muestreados por el PRM en 2023.

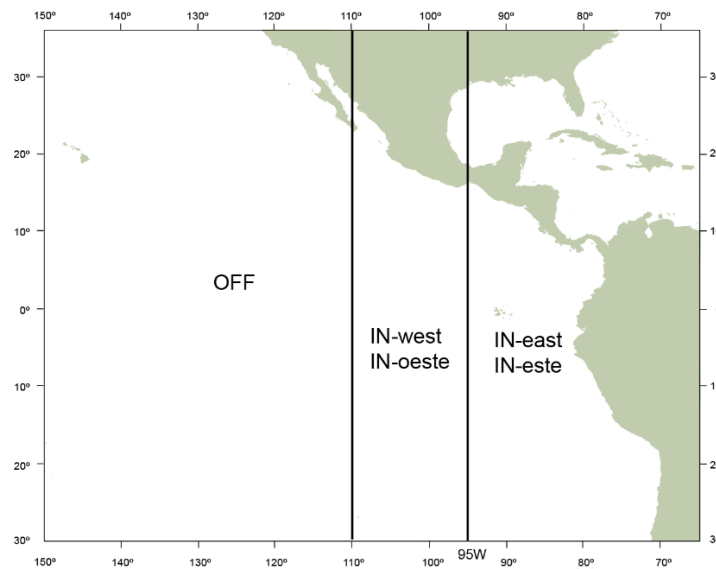


FIGURE 2. Fishing areas established by the EMP for estimates of BET catch per trip. OFF: sets made west of 110°W; OBJ IN-west: sets made between 110°W and 95°W; OBJ IN-east: sets made east of 95°W. The combination of the catch area and the set type used (NOA, OBJ or DEL) defines the strata established by the EMP.

FIGURA 2. Áreas de pesca establecidas por el PRM para las estimaciones de captura de BET por viaje. OFF: lances realizados al oeste de 110°O; OBJ IN-oeste: lances realizados entre 110°O y 95°O; OBJ IN-este: lances realizados al este de 95°O. La combinación del área de captura más el tipo de lance empleado (NOA, OBJ o DEL), definen los estratos establecidos por el PRM.

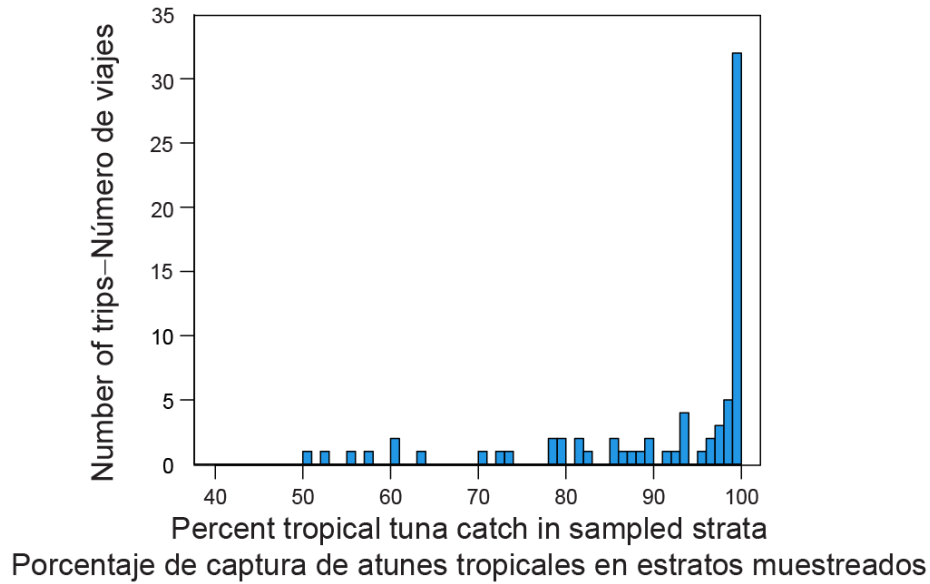


FIGURE 3. Frequency distribution of the percentage of tropical tuna catch of a trip that was present in the EMP-sampled strata for the trip (tropical tuna catch obtained from sets made outside the EPO is not considered in this figure; wells with catch from outside the EPO were not sampled by the EMP and did not factor into the EMP estimation). Not included are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 3. Distribución de frecuencia del porcentaje de captura de atunes tropicales, por viaje, presente en los estratos muestreados por el PRM (la captura de atunes tropicales obtenida de lances realizados fuera del OPO no fue considerada en esta figura, bodegas con capturas realizadas fuera del OPO no fueron muestreadas y por tanto no fueron un factor en las estimaciones del PRM). No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

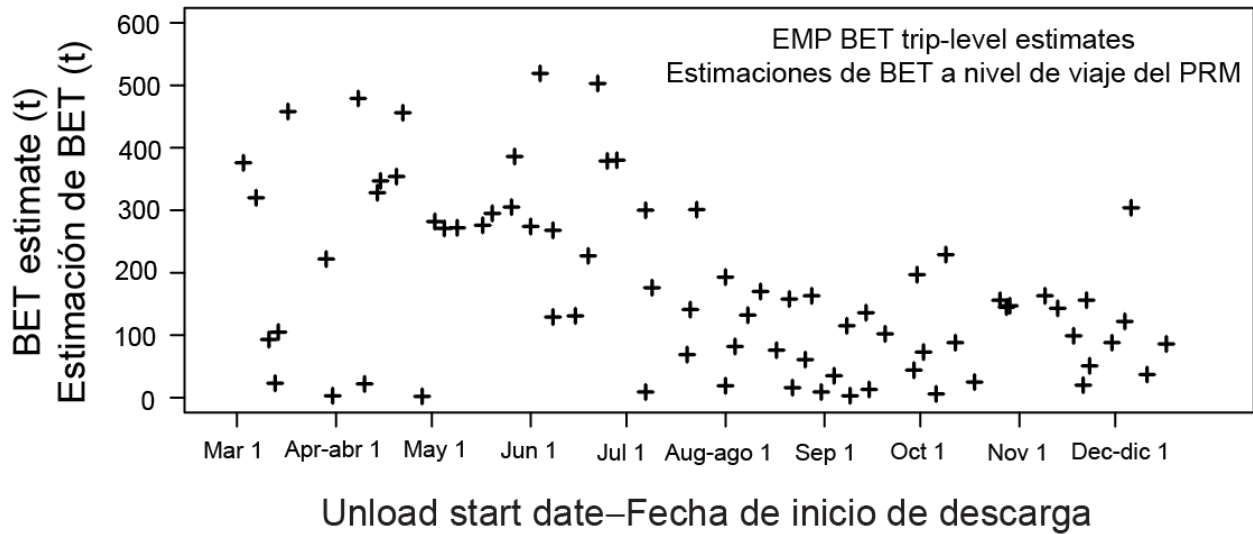


FIGURE 4. Trip-level estimates of BET catch (in metric tons), ordered according to the date of catch unloading in port, between March and December 2023. Every cross symbol represents an individual trip. For any trip with strata that were not sampled by the EMP, the RDL estimate of BET, by stratum, was added to the EMP estimates for sampled strata to obtain the trip estimate. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 4. Estimaciones de captura de BET a nivel de viaje (en toneladas métricas), ordenadas de acuerdo con la fecha de descarga en puerto, entre marzo y diciembre de 2023. Cada símbolo de cruz representa un viaje individual. Para cada viaje con estratos que no fueron muestreados por el PRM, la estimación de BET del RDL, por estrato, fue incluido a la estimación de estratos muestreados por el PRM para obtener la estimación a nivel de viaje. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

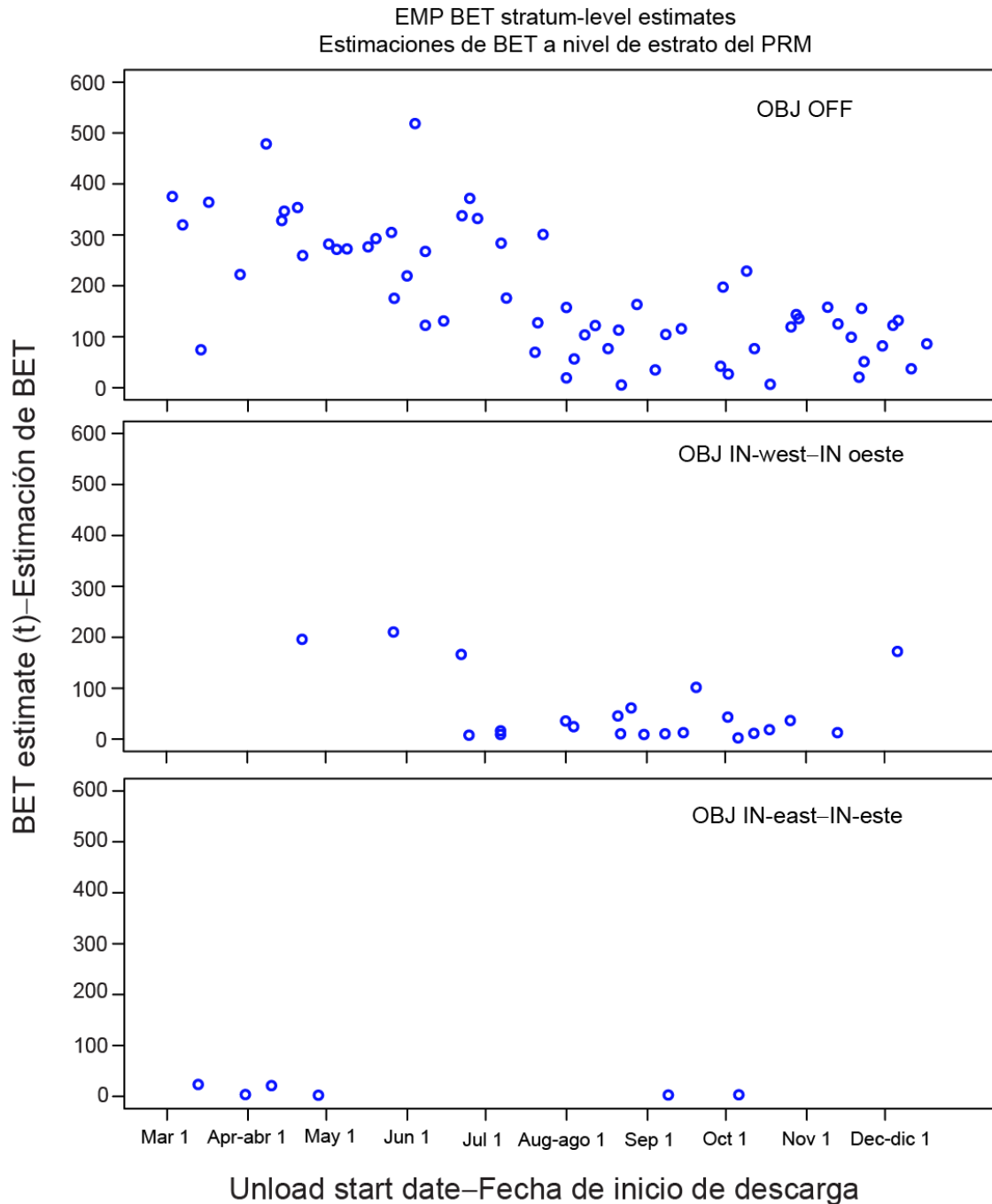


FIGURE 5. BET catch estimates (in metric tons) by sampled stratum. Each open blue circle represents one sampled trip. A trip may be represented in one or more panels, depending on whether one or more strata were sampled for the same trip. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 5. Estimaciones de captura de BET (en toneladas métricas) por estrato muestreado. Cada círculo azul hueco representa un viaje muestreado. Un viaje puede estar representado en una o más paneles, dependiendo de si uno o más estratos fueron muestreados para un mismo viaje. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

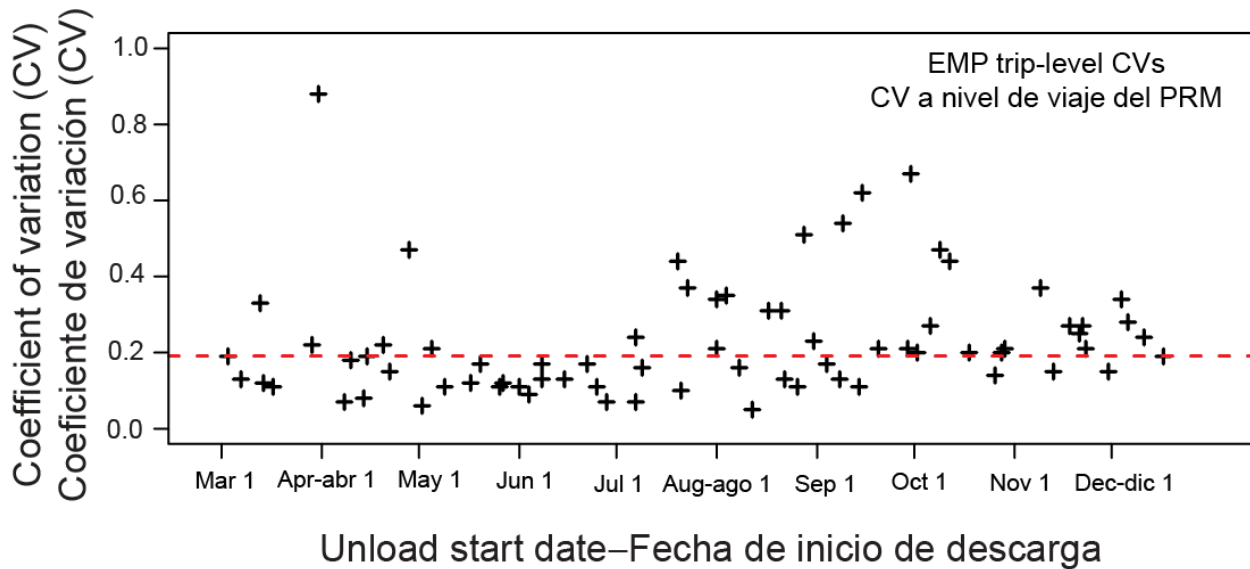


FIGURE 6. Coefficient of variation (CV) of BET catch estimates per trip sampled between March and December 2023. Each cross symbol represents a sampled trip. The red dashed line indicates the overall median CV value of 0.19. For trips where not all strata could be sampled, an approximation of the variance for each stratum that was not sampled was obtained using the method described in Appendix B. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 6. Coeficiente de variación (CV) de las estimaciones de captura de BET por viaje muestreado entre marzo y diciembre de 2023. Cada símbolo de cruz representa un viaje muestreado. La línea discontinua roja indica el valor mediano global de CV de 0.19. Para aquellos viajes en donde no todos los estratos pudieron ser muestreados, una aproximación de la varianza para cada estrato que no fue muestreado fue obtenida usando el método descrito en el apéndice B. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

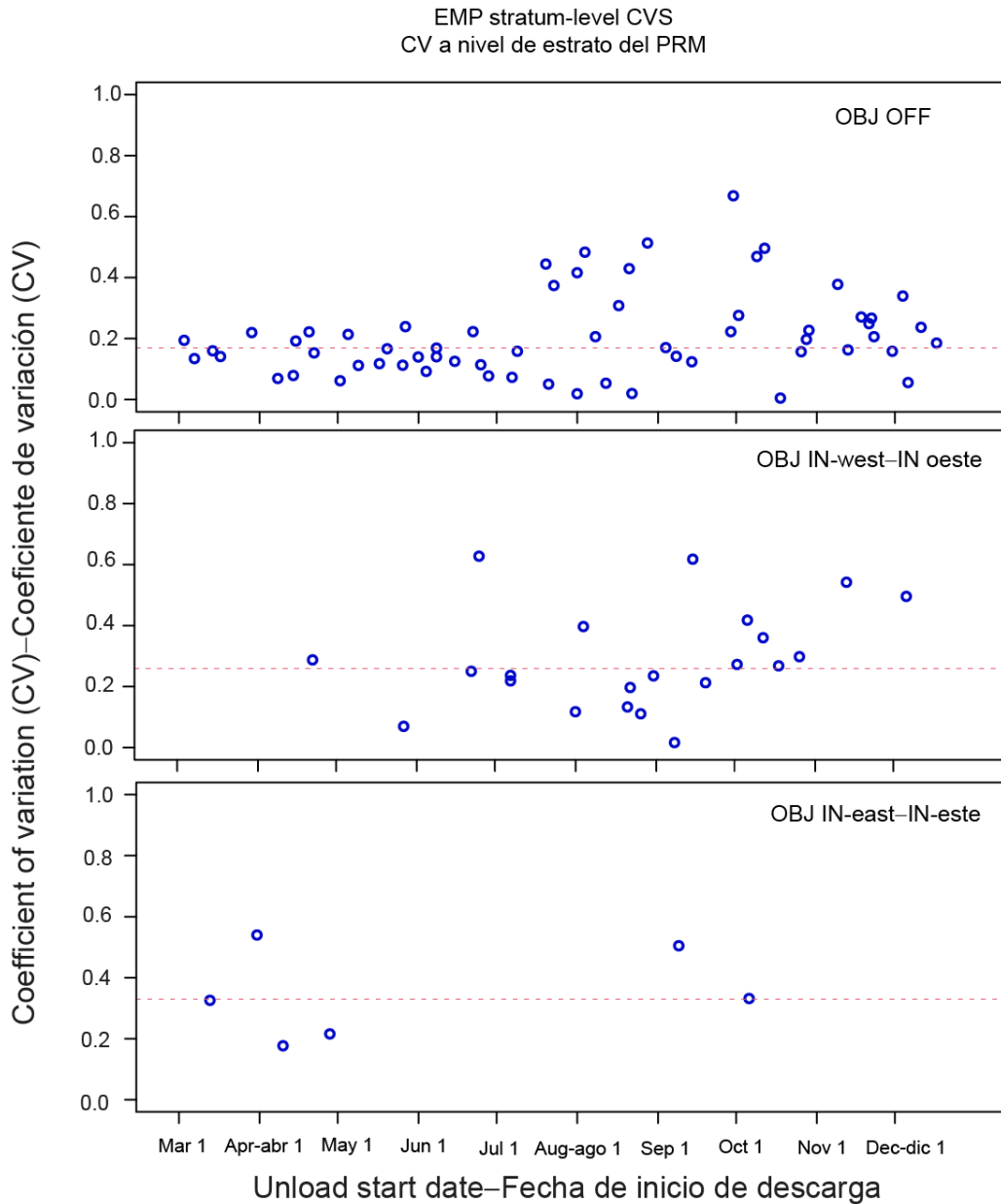
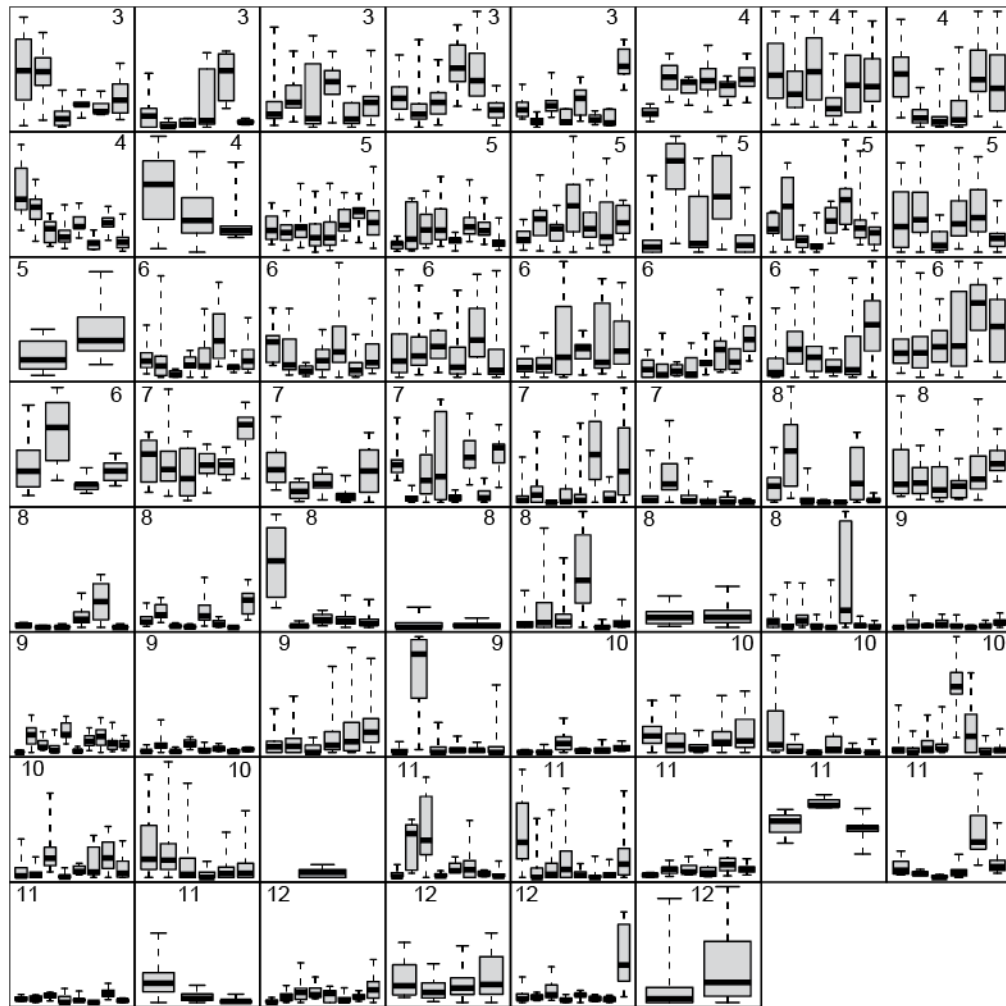


FIGURE 7. Coefficients of variation (CV) of BET catch estimates per catch stratum sampled. Each open blue circle represents a trip. A trip may be represented in one or more panels, depending on whether one or more strata were sampled for the same trip. The red dashed lines indicate the overall median CVs, by stratum; 0.17 for OBJ OFF; 0.26 for OBJ In-west; and, 0.33 for OBJ IN-east. These stratum-level CVs were estimated exclusively for EMP data. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level EMP catch estimates with EMP data.

FIGURA 7. Coeficientes de variación (CV) de las estimaciones de captura de BET por estrato de captura muestreado. Cada círculo azul hueco representa un viaje muestreado. Un viaje puede estar representado en uno o más paneles, dependiendo de si uno o más estratos fueron muestreados para un mismo viaje. La línea discontinua roja indica el valor mediano global de los CV, por estrato: 0.17 para OBJ OFF; 0.26 para OBJ In-oeste; y, 0.33 para OBJ IN-este. Estos CV a nivel de estrato fueron estimados exclusivamente para datos del PRM. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

Proportion BET per unit, by well
 Proporción de BET por unidad, por bodega



Trip - well - Viaje - bodega

FIGURE 8. Box-and-whisker plots of the proportion of BET per unit, for wells with catches from the OBJ OFF stratum. Each panel represents a trip sampled between March and December 2023; the month in which the catch of the trip was unloaded is shown at the top of each panel. Each box-and-whisker plot represents a sampled well; the horizontal black bar shows the median proportion of BET per unit for the well, the gray box represents the middle 50% of the unit values for the well, and the whiskers extend to the extremes. The ranges of the x and y axes are the same for all panels (values between 0 and 1).

FIGURA 8. Gráficas de cajas y bigotes de la proporción de BET por unidad, para bodegas con capturas del estrato OBJ OFF. Cada panel representa un viaje muestreado entre marzo y diciembre de 2023, con el mes en el que se descargó la captura del viaje se muestra en la parte superior de cada panel. Cada gráfica de cajas y bigotes representa una bodega muestreada; la barra negra horizontal muestra la proporción mediana de BET por unidad para la bodega, la caja gris representa el 50% medio de los valores de la unidad para la bodega, y los bigotes se extienden hasta los extremos. Los rangos de los ejes 'x' y 'y' son los mismos para todos los paneles (tomando valores de entre 0 y 1).

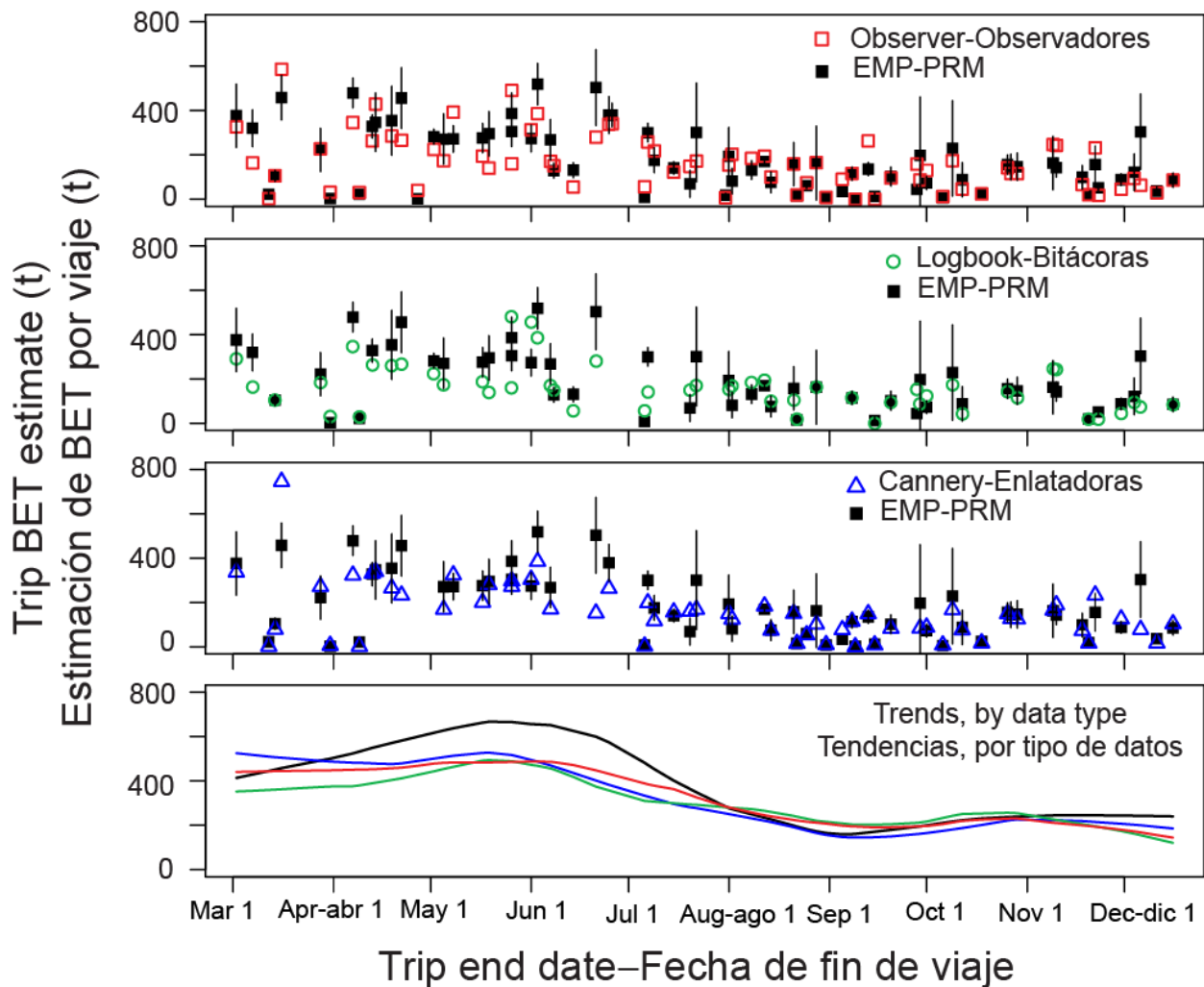


FIGURE 9. Estimated BET catch (in metric tons), by trip, for the EMP (black filled squares; vertical bars are the 95% confidence intervals), along with estimates from other data sources: observer (RDL; open red squares), first panel; logbook (open green circles), second panel; and, cannery (open blue triangles), third panel. The bottom panel shows a smoothed curve for the estimates from each data source to facility comparison of the large-scale patterns. The smooth curves were computed using a LOESS with a span of 1/3 and a degree of 1. The number of trips shown per panel differs, due to availability of the other data sources; top panel: 73 trips; middle panel: 52 trips; bottom panel: 62 trips. Not shown in any panel are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 9. Estimación de captura de BET (en toneladas métricas), por viaje, para el PRM (cuadrados negros; las barras verticales son los intervalos de confianza del 95%), junto con las estimaciones de las otras fuentes de datos: observadores (RDL; cuadrados rojos huecos), primer panel; bitácoras (círculos verdes huecos), segundo panel; y enlatadoras (triángulos azules huecos), tercer panel. El panel inferior muestra una curva suavizada de las estimaciones de cada fuente de datos para facilitar la comparación de los patrones a gran escala. Las curvas suavizadas se calcularon utilizando LOESS con un intervalo de 1/3 y un grado de 1. El número de viajes mostrado por panel difiere debido a la disponibilidad de las otras fuentes de datos: panel superior, 73 viajes; panel central, 52 viajes; panel inferior, 62 viajes. No se incluyen en ningún panel los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

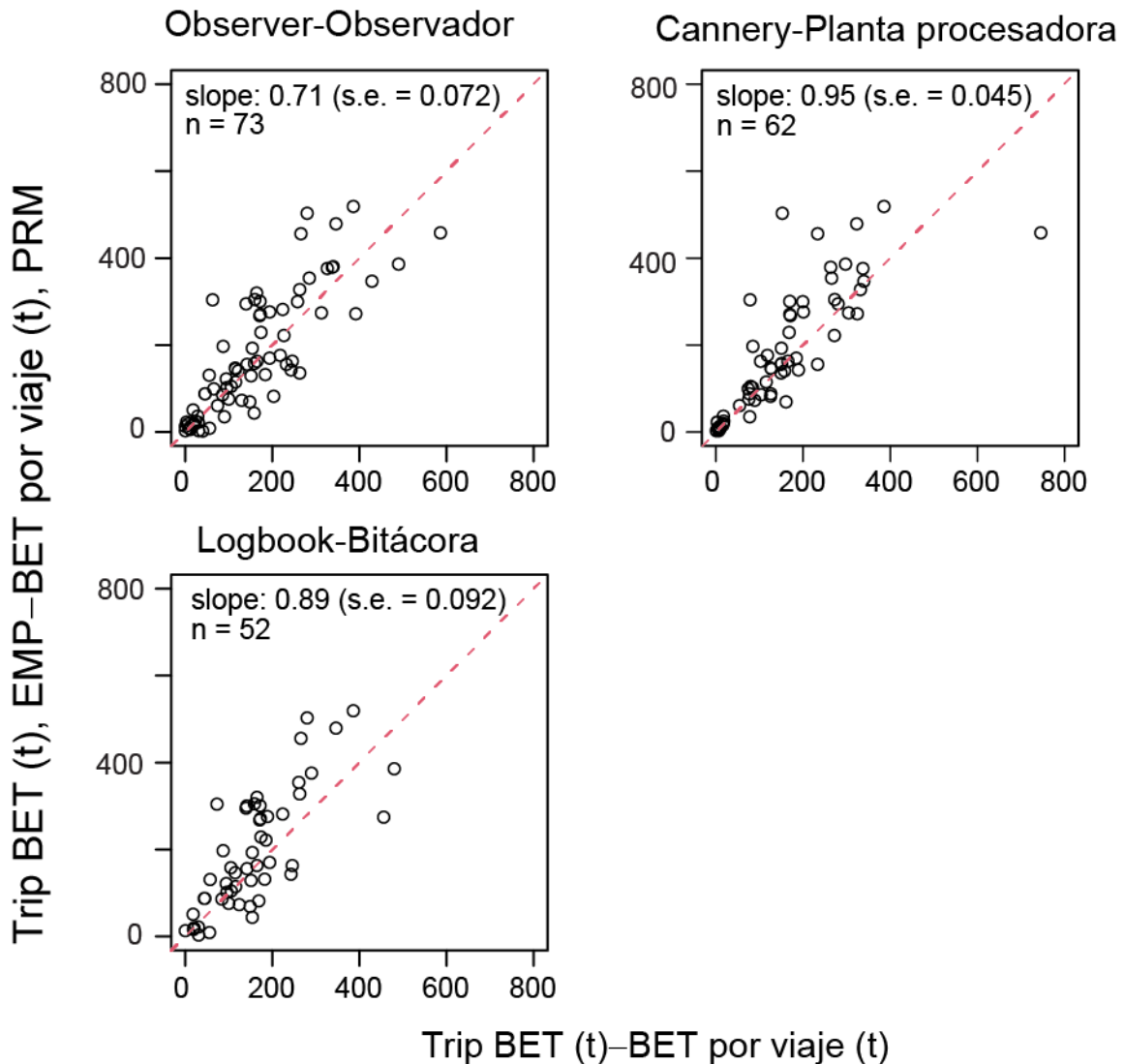
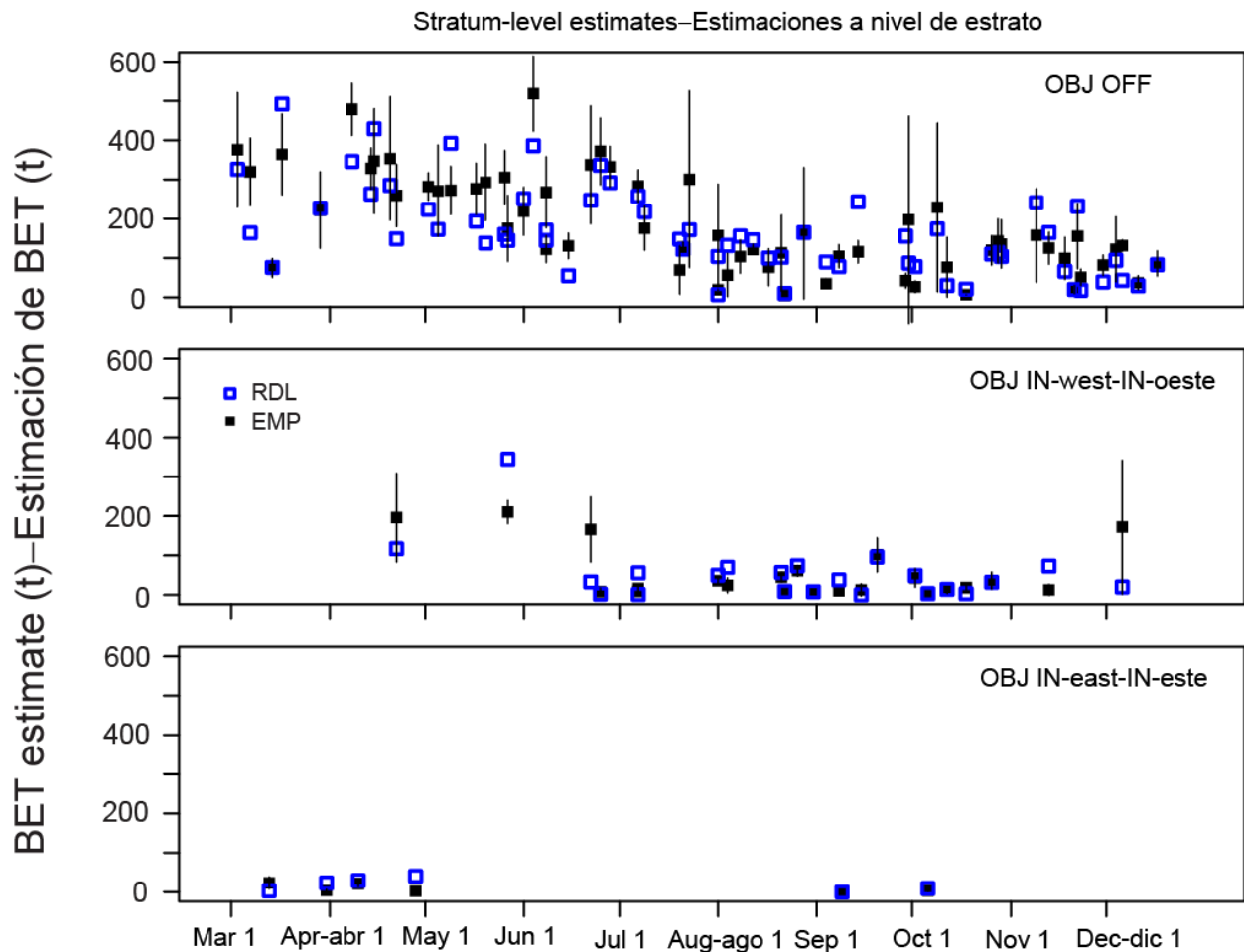


FIGURE 10. BET catch estimates (in metric tons), by trip, from the EMP versus estimates from the other three data sources, where available (observer: upper left; cannery: upper right; logbook: lower left). Each open circle is an individual trip. “slope”: slope estimate for the relationship (based on weighted least squares, with variance on the EMP estimates used as weights). “s.e.”: standard error on the estimated slope. “n”: number of trips shown in each plot. The red dashed line is the 1-to-1 line. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 10. Estimaciones de captura de BET (en toneladas métricas), por viaje, del PRM versus estimaciones de las otras tres fuentes de datos, conforme a su disponibilidad (observador: superior izquierdo; planta procesadora: superior derecho; bitácora: inferior izquierdo). Cada círculo hueco es un viaje individual. “pendiente”: pendiente estimada para la relación (basado en mínimos cuadrados ponderados, con la varianza de la estimaciones del PRM utilizada como peso). “s.e.”: error estándar de la pendiente estimada. “n”: número de viajes mostrados en cada gráfico. La línea discontinua roja es la línea 1 a 1. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.



Unloading start date–Fecha de inicio de descarga

FIGURE 11. BET stratum-level catch estimates (in metric tons) for the three main strata, for EMP and observer (RDL). EMP estimates with 95% confidence interval are represented by filled black squares and vertical lines, respectively, and RDL estimates are represented by open blue squares. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 11. Estimaciones de captura de BET a nivel de estrato (en toneladas métricas) para los tres principales estratos, para el PRM y el RDL. Las estimaciones del PRM con el 95% de intervalo de confianza están representadas por los cuadros negros y la línea vertical, respectivamente, y las estimaciones del RDL están representadas por los cuadros azules huecos. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

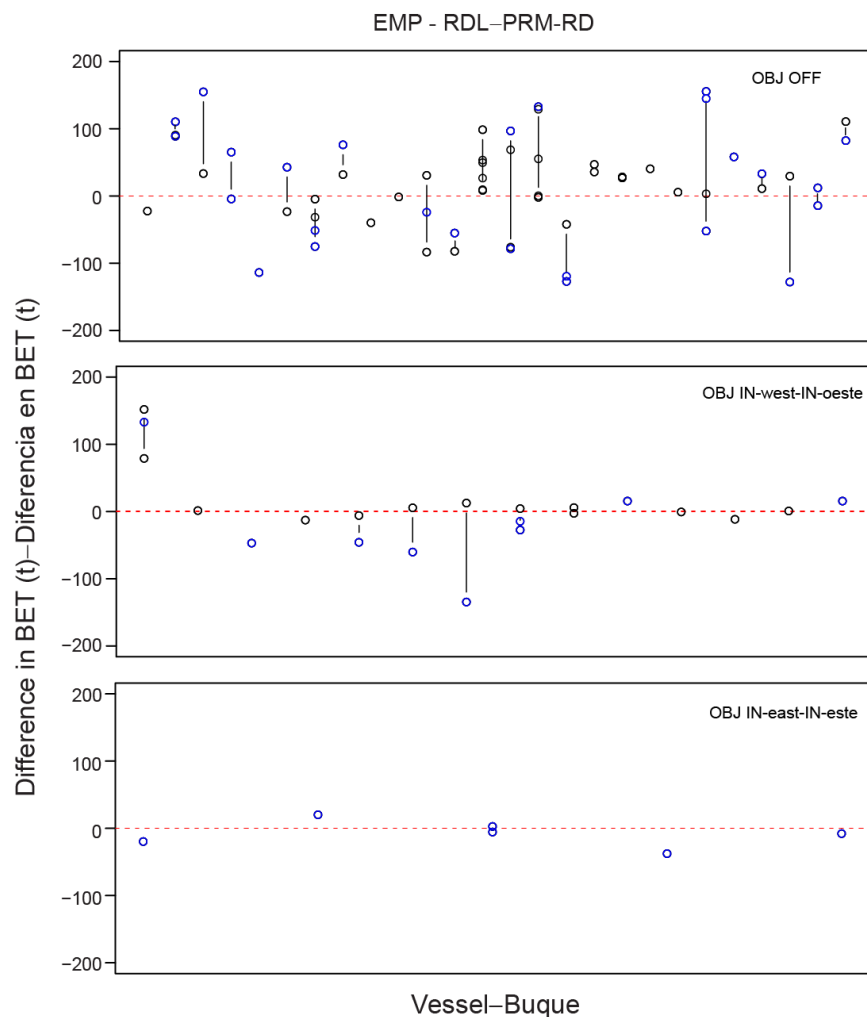


FIGURE 12. Differences in EMP and RDL stratum-level catch estimates (EMP – RDL; in metric tons), by trip, grouped by vessel. Each open circle is the difference in stratum-level estimates from the two data sources for a trip; trips are grouped by vessel (a black vertical line connects stratum-level differences of those trips from the same vessel). Open blue circles represent stratum-level estimates for which the RDL estimate was outside the 95% confidence interval on the EMP estimate. The red dashed lines indicate a difference value of 0 t. If the same vessel appears in more than one panel, it is not necessarily in the same position along the x-axis. Not shown are the data of two trips (out of 75) for which it was not possible to make any stratum-level catch estimates with EMP data.

FIGURA 12. Diferencias en las estimaciones de captura a nivel de estrato del PRM y el RDL (PRM – RDL; en toneladas métricas), por viaje, agrupadas por buque y estrato. Cada círculo hueco es la diferencia en las estimaciones a nivel de estrato de las dos fuentes de datos para un viaje; los viajes están agrupados por buque (una línea vertical negra conecta las diferencias a nivel de estrato de aquellos viajes del mismo buque). Los círculos azules huecos representan estimaciones a nivel de estrato para las que la estimación del RDL estuvo fuera del 95% de intervalo de confianza de la estimación del PRM. Las líneas discontinuas rojas indican un valor de diferencia de 0 t. Si el mismo buque está presente en más de un panel, no es necesariamente en la misma ubicación a lo largo del eje x. No se incluyen los datos de dos viajes (del total de 75) para los que no fue posible realizar estimaciones de captura a nivel de estrato con los datos del PRM.

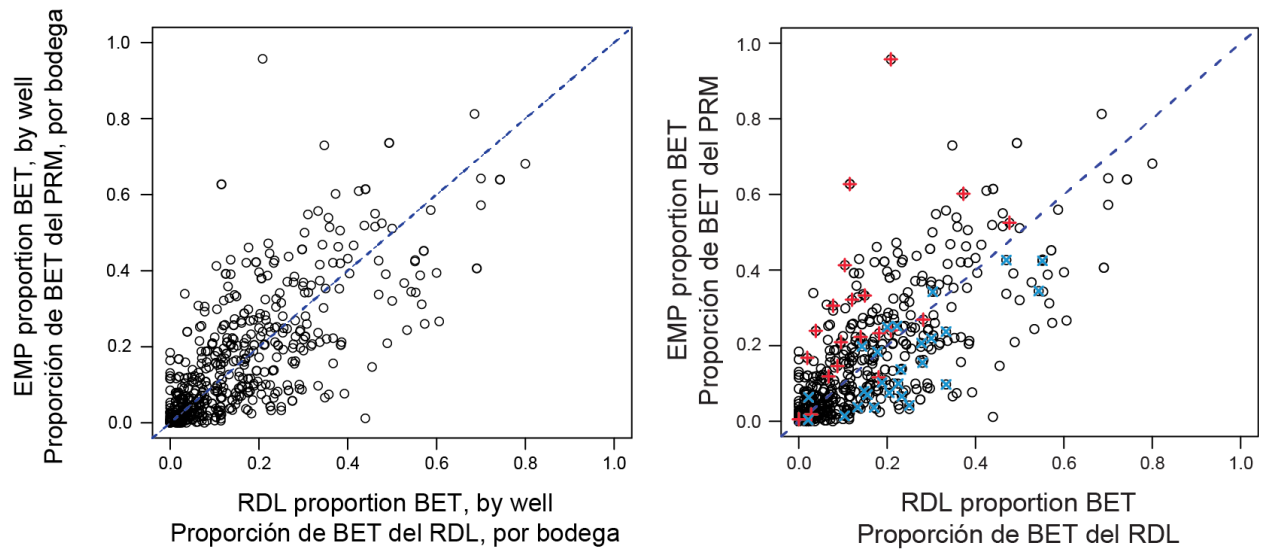


FIGURE 13. Comparison of EMP and RDL well-level estimates of the proportion of BET. Each open circle represents an individual well. The two figures show the same estimates, but in the figure on the right, estimates for several vessels have been highlighted to illustrate vessel-specific patterns. The red and blue crosses represent two different vessels, where for the wells of the vessel shown in red, the EMP estimates mostly higher than those of the RDL, and for wells of the vessel shown in blue the RDL estimates were mostly higher than those of the EMP.

FIGURA 13. Comparación PRM – RDL de las estimaciones a nivel de bodega de la proporción de BET (cada círculo hueco representa una bodega individual). Las dos figuras muestran las mismas estimaciones, pero en la figura de la derecha, las estimaciones para varios buques han sido resaltadas para ilustrar patrones específicos por buque. Las cruces rojas y azules representan dos buques diferentes, donde para las bodegas del buque que se muestra en rojo, las estimaciones del PRM fueron en su mayoría mayores que las del RDL, y para las bodegas del buque que se muestra en azul las estimaciones del RDL fueron en su mayoría mayores que las del PRM.

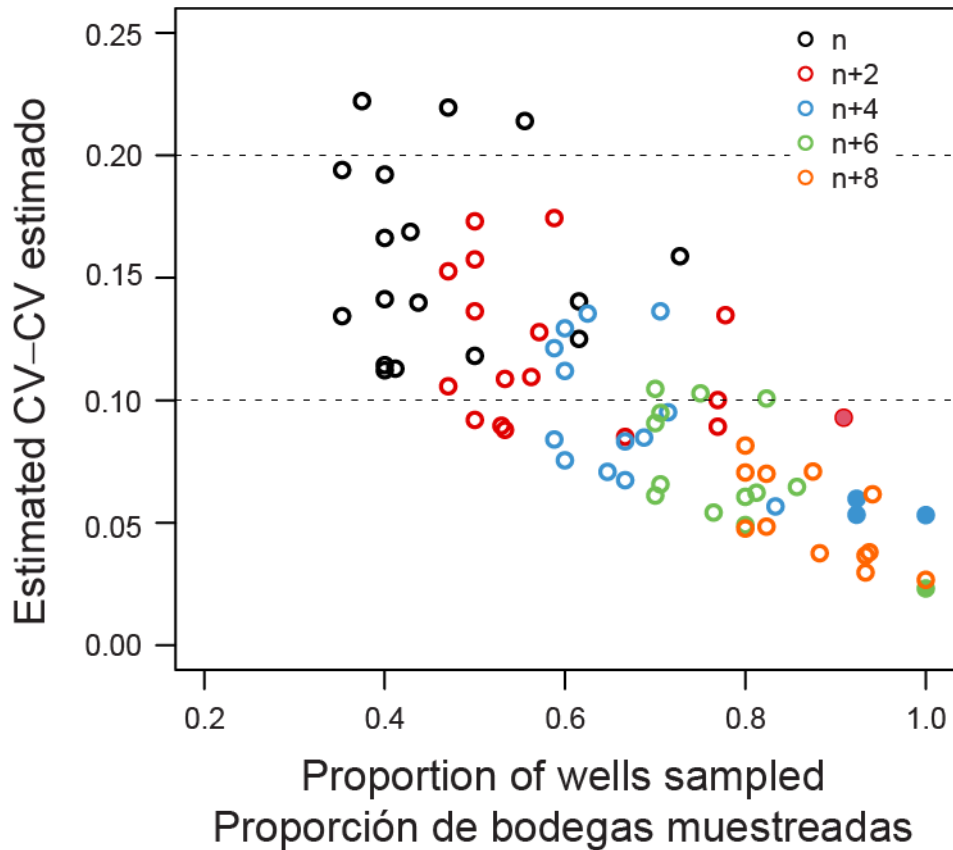


FIGURE 14. Estimated CVs at different hypothetical numbers of wells sampled for BET catch by trip, OBJ OFF stratum, for the early period (trips unloading prior to July 16, 2023). ‘n’: original number of wells sampled for the trip in this stratum. Black open circles: original CV; red open circles: original number of wells + 2; blue open circles: original number of wells + 4; green open circles: original number of wells + 6; open orange circles: original number of wells + 8. Filled circles indicate trips with CVs that could not be improved further in the simulation because at the step indicated by the color of the filled circle, almost all wells of the stratum were already sampled (e.g. if there were 9 total wells with catch from OBJ OFF for a trip, and 6 of those wells were originally sampled, then a change in CV could be simulated for n+2 wells, i.e. 7 out of 9 wells sampled, but not n+4 since that would imply sampling 10 out of 9 wells).

FIGURA 14. CV estimados con diferentes números hipotéticos de bodegas muestreadas para la captura de BET por viaje, estrato OBJ OFF, para el periodo temprano (viajes descargando antes del 16 de julio de 2023). ‘n’: número original de bodegas muestreadas para el viaje en este estrato. Círculos negros: CV original; círculos rojos: número original de bodegas + 2; círculos azules: número original de bodegas + 4; círculos verdes: número original de bodegas + 6; círculos anaranjados: número original de bodegas + 8. Los círculos rellenos indican viajes con CV que no pudieron mejorarse más en la simulación porque en el paso indicado por el color del círculo relleno, casi todas las bodegas del estrato ya estaban muestreadas (por ejemplo, si había 9 bodegas totales con captura de OBJ OFF para un viaje, y 6 de esas bodegas estaban muestreadas originalmente, entonces podría simularse un cambio en el CV para n+2 bodegas, es decir, 7 de 9 bodegas muestreadas, pero no n+4 ya que eso implicaría muestrear 10 de 9 bodegas).

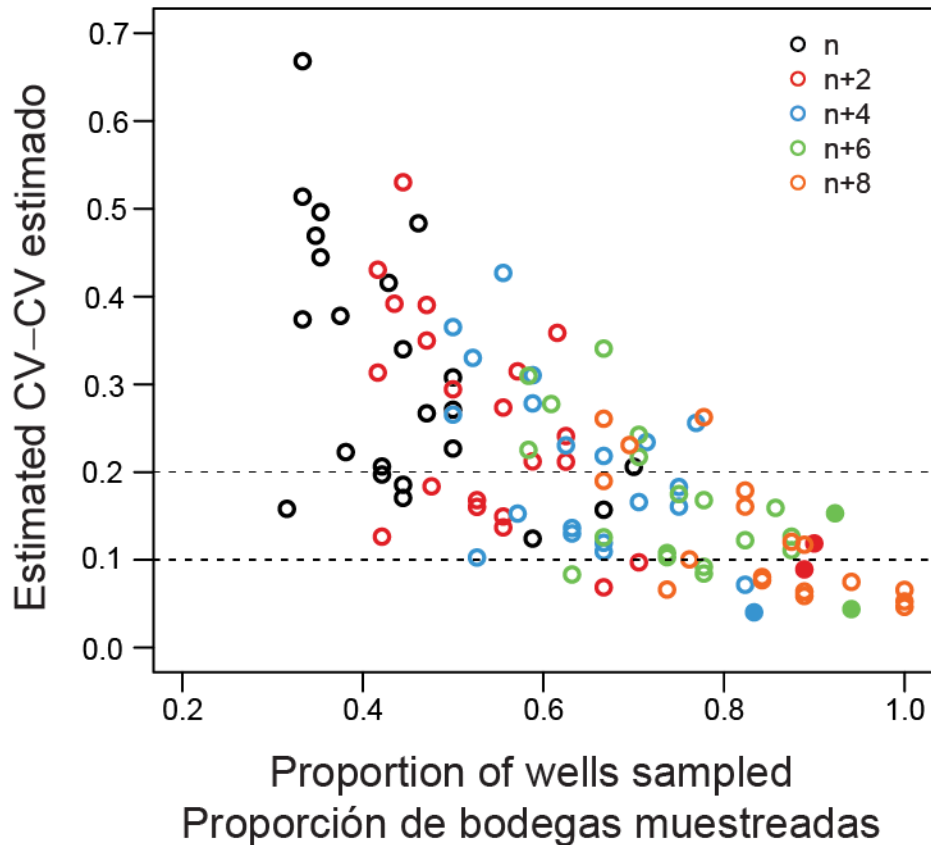


FIGURE 15. Estimated CVs at different hypothetical numbers of wells sampled for BET catch by trip, OBJ OFF stratum, for the late period (trips unloading after July 15, 2023). ‘n’: original number of wells sampled for the trip in this stratum. Black open circles: original CV; red open circles: original number of wells + 2; blue open circles: original number of wells + 4; green open circles: original number of wells + 6; orange open circles: original number of wells + 8. Filled circles indicate trips with CVs that could not be improved further in the simulation because at step indicated by the color of the filled circle, almost all wells of the stratum were already sampled (e.g. if there were 9 total wells with catch from OBJ OFF for a trip, and 6 of those wells were originally sampled, then a change in CV could be simulated for n+2 wells, i.e. 7 out of 9 wells sampled, but not n+4 since that would imply sampling 10 out of 9 wells).

FIGURA 15. CV estimados con diferentes números hipotéticos de bodegas muestreadas para la captura de BET por viaje, estrato OBJ OFF, para el periodo tardío (viajes descargando después del 16 de julio de 2023). ‘n’: número original de bodegas muestreadas para el viaje en este estrato. Círculos negros: CV original; círculos rojos: número original de bodegas + 2; círculos azules: número original de bodegas + 4; círculos verdes: número original de bodegas + 6; círculos anaranjados: número original de bodegas + 8. Los círculos rellenos indican viajes con CV que no pudieron mejorarse más en la simulación porque en el paso indicado por el color del círculo relleno, casi todas las bodegas del estrato ya estaban muestreadas (por ejemplo, si había 9 bodegas totales con captura de OBJ OFF para un viaje, y 6 de esas bodegas estaban muestreadas originalmente, entonces podría simularse un cambio en el CV para n+2 bodegas, es decir, 7 de 9 bodegas muestreadas, pero no n+4 ya que eso implicaría muestrear 10 de 9 bodegas).

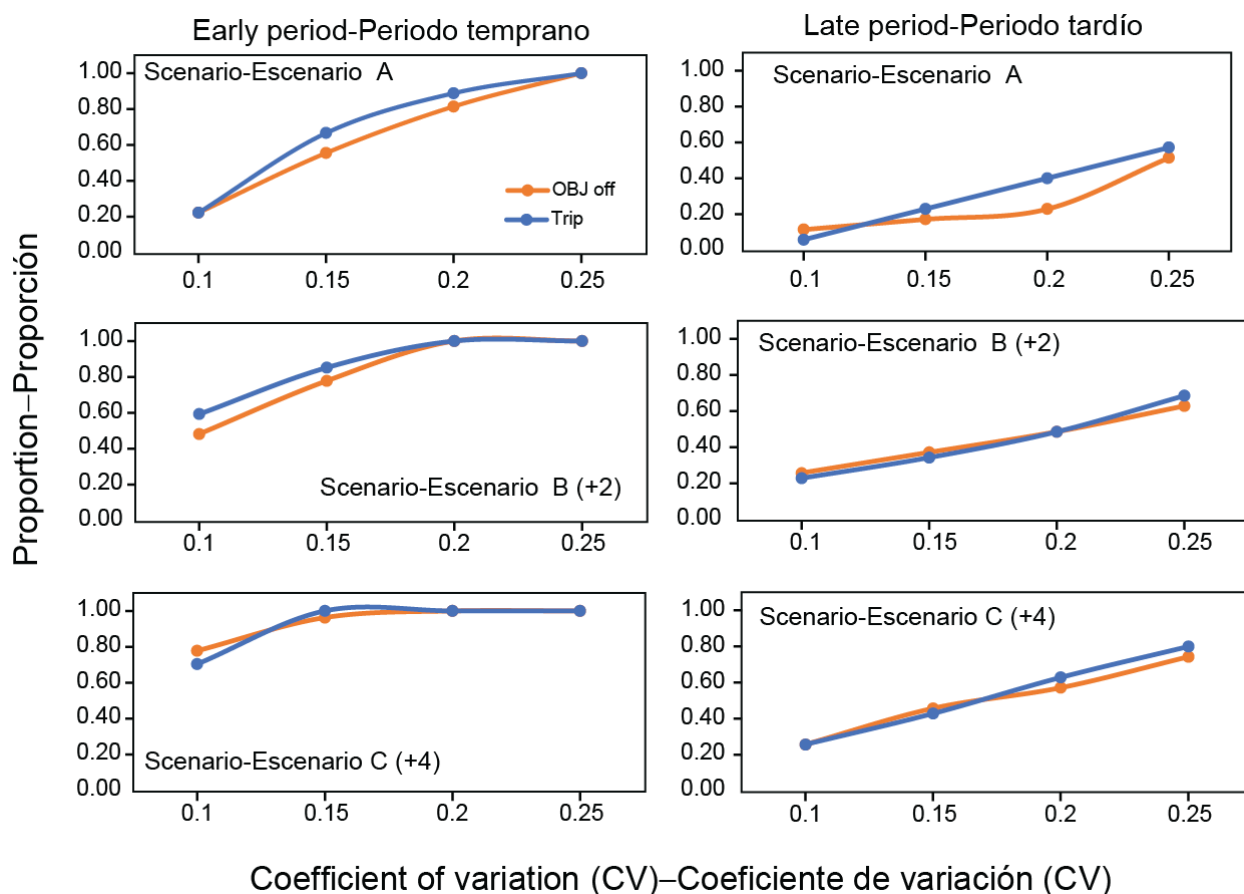


FIGURE 16. Summary of the results of the simulation study conducted for the cost-benefit analysis, with the proportion of all trips sampled by the EMP in 2023 with catch from the OBJ OFF stratum for which the stratum CVs (orange line) and trip CVs (blue line) were below 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25. The figures on the left show the results for the early period and the figures on the right show the summary of the simulation results for the late period. For each period, results are presented for three scenarios: scenario A, original CVs obtained by the EMP in 2023; scenario B: simulation of results with two additional wells sampled per trip; scenario C: simulation of results with four additional wells sampled per trip.

FIGURA 16. Resumen de resultados del estudio de simulación realizado para el análisis costo-beneficio, con la proporción de todos los viajes muestreados por el PRM en 2023 con captura en el estrato OBJ OFF para los que los CV del estrato (línea naranja) y CV del viaje (línea azul) estaban por debajo de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25. Las figuras en la izquierda presentan los resultados para el periodo temprano y las figuras de la derecha presentan el resumen de resultados de la simulación para el periodo tardío. Para cada periodo se presentan los resultados en tres escenarios; escenario A: CV originales obtenidos por el PRM en 2023; escenario B: simulación de resultados con el muestreo de 2 bodegas adicionales por viaje; escenario C: simulación de resultados con el muestreo de 4 bodegas adicionales por viaje.

TABLE 1. Information available by trip from the main data sources (logbook, processing plant and observer) for trips made in 2023 by Class 4-6 vessels (as of 15 January 2024).

TABLA 1. Información disponible por viaje de las fuentes de datos primaria (bitácora de pesca, planta procesadora y observador) de los viajes realizados en 2023 por buques clase 4, 5 y 6 (al 15 de enero del 2024).

Buque clase	Viajes 2023	Bitácora		Planta		Observador	
		Viajes	%	Viajes	%	Viajes	%
4	159	148	93%	16	10%	53	33%
5	148	129	87%	25	17%	105	71%
6	926	586	63%	308	33%	926	100%
TOTAL	1233	863	70%	349	28%	1084	88%

TABLE 2. Cost-benefit analysis. Summary of the results of the simulation study conducted, with the proportion of all trips sampled by the EMP in 2023, with catch from the OBJ OFF stratum, with CVs below 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25. For scenario A: original CVs obtained by the EMP in 2023; scenario B: simulation of results with two additional wells sampled per trip; scenario C: simulation of results with four additional wells sampled per trip.

TABLA 2. Análisis costo-beneficio. Resumen de resultados del estudio de simulación realizado, con la proporción de todos los viajes muestreados por el PRM en 2023, con captura en el estrato OBJ OFF, con CV por debajo de 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25; para el escenario A: CV originales obtenidos por el PRM en 2023; escenario B: simulación de resultados con el muestreo de 2 bodegas adicionales por viaje; escenario C: simulación de resultados con el muestreo de 4 bodegas adicionales por viaje.

Periodo temprano									
Escenario	Bodegas por viaje	Proporción debajo de CV objetivo							
		OBJ OFF				Viaje			
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.1	0.15	0.2	0.25
A	6 a 8	0.22	0.56	0.81	1.00	0.22	0.67	0.89	1.00
B (+2)	8 a 10	0.48	0.78	1.00	1.00	0.59	0.85	1.00	1.00
C (+4)	10 a 12	0.78	0.96	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00
Periodo tardío									
Escenario	Bodegas por viaje	Proporción debajo de CV objetivo							
		OBJ OFF				Viaje			
		0.1	0.15	0.2	0.25	0.1	0.15	0.2	0.25
A	6 to 8	0.11	0.17	0.23	0.51	0.06	0.23	0.40	0.57
B (+2)	8 to 10	0.26	0.37	0.49	0.63	0.23	0.34	0.49	0.69
C (+4)	10 to 12	0.26	0.46	0.57	0.74	0.26	0.43	0.63	0.80

TABLE 3. Cost-benefit analysis, presentation of estimated costs by scenarios of coverage of wells sampled per trip (Table 2). For the cost estimation, an average of four sampled trips per month was considered, based on EMP activities in the port of Manta in 2023.

TABLA 3. Análisis costo-beneficio, presentación de costos estimados por escenarios de cobertura de bodegas muestreadas por viaje (Tabla 2). Para la estimación de costos se ha considerado un promedio de 4 viajes muestreados por mes, basado en las actividades del PRM en el puerto de Manta en 2023.

Escenarios	Bodegas por viaje	Equipos muestreo	Costos logísticos		Costos administrativos		Costo Total	
			Viaje	Año	Viaje	Año	Viaje	Año
A	6 a 8	6	\$ 4,993.76	\$239,700.36	\$ 3,438.79	\$ 165,062.08	\$ 8,432.55	\$ 404,762.44
B (+2)	8 a 10	8	\$ 6,611.69	\$317,361.04	\$ 3,438.79	\$ 165,062.08	\$ 10,050.48	\$ 482,423.12
C (+4)	10 a 12	10	\$ 8,356.22	\$401,098.72	\$ 3,438.79	\$ 165,062.08	\$ 11,795.02	\$ 566,160.80

APPENDIX A.

Examples of patterns in well-level estimates of the proportion of BET, EMP versus RDL, by vessel, pooled over trips (Figure A-1), and by-trip for several vessels (Figure A-2).

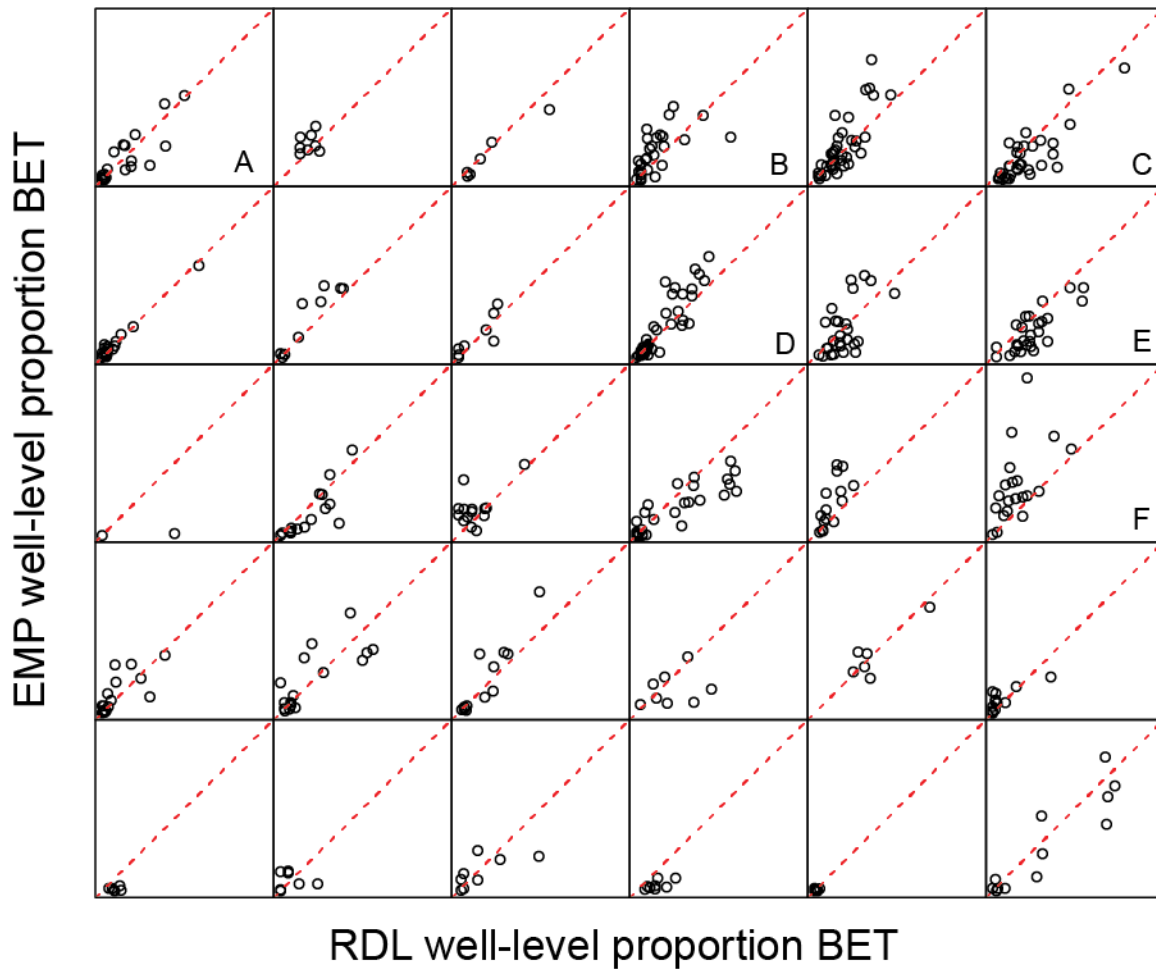


FIGURE A-1. Relationship between the RDL and EMP estimates of the proportion of BET per wells, by vessel. Each panel corresponds to the data of one vessel, each open black circle corresponds to the estimate for one well. The red dashed line is the 1-to-1 line. The letters in the lower-left corner of some panels correspond to trip-by-trip graphs shown in Figure A-2.

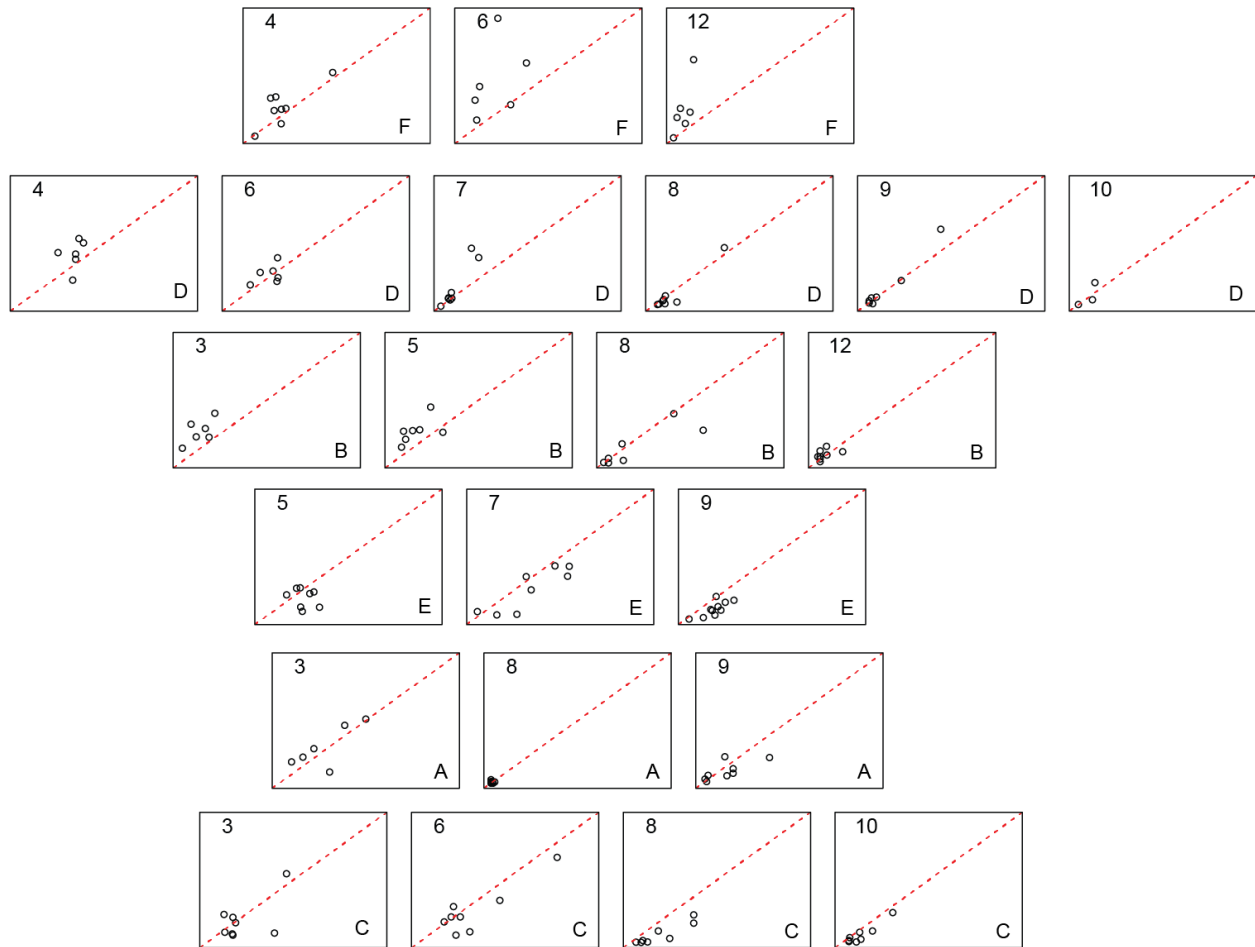


FIGURE A-2. Relationship between the RDL and EMP estimates of the proportion of BET per wells, by trip, for several of the vessels shown in Figure A-1. Each row corresponds to the data of one vessel; each panel of a row corresponds to the data of one trip for that vessel; and, each open black circle corresponds to the estimate for one well. The red dashed line is the 1-to-1 line. The letters in the lower-left corner of each panel indicate the corresponding vessel of Figure A-1.

APPENDIX B.

This appendix contains details of the methodology used to obtain the variance on the estimated BET catch per trip (for trips sampled by the EMP) and the coefficient of variation (CV). All statistical analyses were performed with the statistical freeware R (R Core Team (2021)).

Variance estimation

This section provides a brief description of the methodology used to obtain the variance on the EMP trip-level estimates of BET catch. The details of the methodology depend on whether or not all strata of the trip were sampled by the EMP. This is because the RDL data were used as the estimate of the BET catch for strata that were not sampled by the EMP (Section 2.2 above).

1) All strata of the trip were sampled by the EMP

The variance on the BET estimate for each stratum is given by (from eq. (7) of Lennert-Cody et al. *Submitted*), adapted for estimating the variance of the BET stratum catch):

$$\left[\left(\frac{N}{n} \right) \delta_{among}^2 \right] (N(1 - f_1) + \gamma) \quad (\text{B-1})$$

where N is the total number of sampleable wells for the stratum, n is the number of wells sampled for the stratum, f_1 is equal to (n/N) , δ_{among}^2 is the among-well variance (first component of eq. (6) of Lennert-Cody et al. *Submitted*). γ , which is the ratio of the within-well variance to the among-well variance, was assigned a value of 0.50. This approximation is based on the results of simulation studies conducted with EMP pilot study data (Lennert-Cody et al. *Submitted*). The value represents the average of trimmed mean values⁷ from each synthetic data type (linear interpolation, loess plus error) for the 1-out-of-30 simulation (for a graphical summary of values of γ see Figure 14 of Lennert-Cody et al. *Submitted*). γ cannot be estimated directly from EMP data because only one systematic sample is collected per well, and thus, the within-well variance is not estimable.

If a trip had catch from more than one stratum, the variance for the trip is the sum of variances for each stratum. In the unusual situation where only one well was sampled for a stratum, the variance for the stratum was obtained by the method described below in (2).

2) Not all strata of the trip were sampled by the EMP

The approach to obtain an approximate measure of error for each catch stratum of a trip that was not sampled can be summarized as follows:

1) Use the RDL BET estimate as an approximation for the EMP estimate. This was typically necessary for low priority strata (e.g. OBJ IN-east, NOA). On occasion the RDL was used for priority strata (e.g., OBJ IN-west) represented by very few wells (i.e. representing little trip catch of tropical tunas). By doing this, more wells could be sampled for the dominant priority stratum (e.g. OBJ OFF), leading to a catch estimate for that stratum with smaller variance.

2) Obtain an approximation to the standard error (s.e.) on the stratum BET catch estimate using the fitted relationship between EMP BET estimates and their unscaled s.e.'s (described below) to predict the s.e. for the unsampled stratum. This approximation was not scaled for sampling coverage of wells in the stratum nor was an adjustment for within-well variance applied. This approach will be improved as more EMP data become available in 2024 and a better

⁷ Trimming the lowest and highest values.

understanding of the well-level relationship between EMP and RDL estimates is obtained (as described in Section 3.1 above).

The relationship between the EMP BET estimate and its unscaled among-well s.e. (i.e., the square root of δ_{among}^2) was estimated using a generalized additive model (GAM) for 75 EMP stratum-level estimates (all strata; data available as of early December 2023). This increasing relationship (Figure B-1), which had increasing dispersion at higher BET catch amounts, was fitted using a Tweedie distribution with a parameter p of 1.6 for the relationship between the mean and variance of the response variable (i.e., the s.e.), and a power function for the link function with parameter 0.7; i.e. the relationship between the s.e. and the BET catch was assumed to be: $s.e. = (BET\ catch)^{0.7}$. This model was fitted using the *mgcv* library (and function *Tweedie*) in R (Wood 2017). The parameter for the Tweedie variance-mean relationship and the exponential of the power function were determined from inspection of diagnostic plots (provided by the function *gam.check*) and the GCV and adjusted R^2 values. The model summary statistics are:

Family: Tweedie(1.6)

Link function: mu^0.7

Formula:

$se \sim s(BET.sampling.est, k = 4)$

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.8783	0.2025	19.15	<2e-16

Approximate significance of smooth terms:

	Edf	Ref.df	F	p-value
s(BET.sampling.est)	2.841	2.981	49.28	<2e-16

R-sq.(adj) = 0.475 Deviance explained = 59.5%

GCV = 0.77729 Scale est. = 0.84734 n = 75

A s.e. was predicted for each stratum of each sampled trip for which the s.e. could not be estimated from EMP sample data. The predicted s.e. was then squared to get the predicted variance. When the RDL BET catch estimate was 0, the s.e. was predicted assuming a catch value of 0.10 t. To note that the GAM predicts a s.e. greater than zero at 0 t catch. Forcing the intercept of the model through zero led to model convergence issues. In addition, because the fitted GAM was primarily used to make predictions of the s.e. for strata that were not of primary importance, the relationship was used for predicting at the left-hand part of the fitted curve, where there is less dispersion.

Estimation of the CV on the trip BET catch

The general formula for the CV is given by: $CV = s.e. / estimate$. Estimation of the CV for the BET catch of a trip involved the following steps: a) estimate the s.e. on the catch of each stratum and square those values to obtain variance estimates on the catch for each stratum; (b) compute the s.e. on the BET catch of the trip as the square root of the sum of stratum variances; and c) divide the trip s.e. by the trip BET catch estimate (equal to the sum of stratum BET catch estimates).

For the cost-benefit analysis simulation study (Section 4.2), the simulated variance at increased sampling coverage of wells of a stratum was computed by replacing the actual number of wells sampled (n of equation B-1) with the simulated increased number of wells sampled (e.g. $n+2$ or $n+4$). Computing the simulated variance in this way assumes that the among-well variance, δ_{among}^2 , was well-estimated at the actual sampling coverage.

REFERENCES

Lennert-Cody, C.E., De La Cadena, C., McCracken, M., Chompoy, L., Vogel, N.W., Maunder, M.N., Wiley, B.A., Altamirano Nieto, A., Aires-da-Silva, A. *Submitted*. Within-well patterns in bigeye tuna catch composition and implications for purse-seine port-sampling and catch estimation for the Eastern Pacific Ocean. Submitted it Fisheries Research.

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

Wood, S.N. 2017. Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd edition). Chapman and Hall/CRC. 391pp.

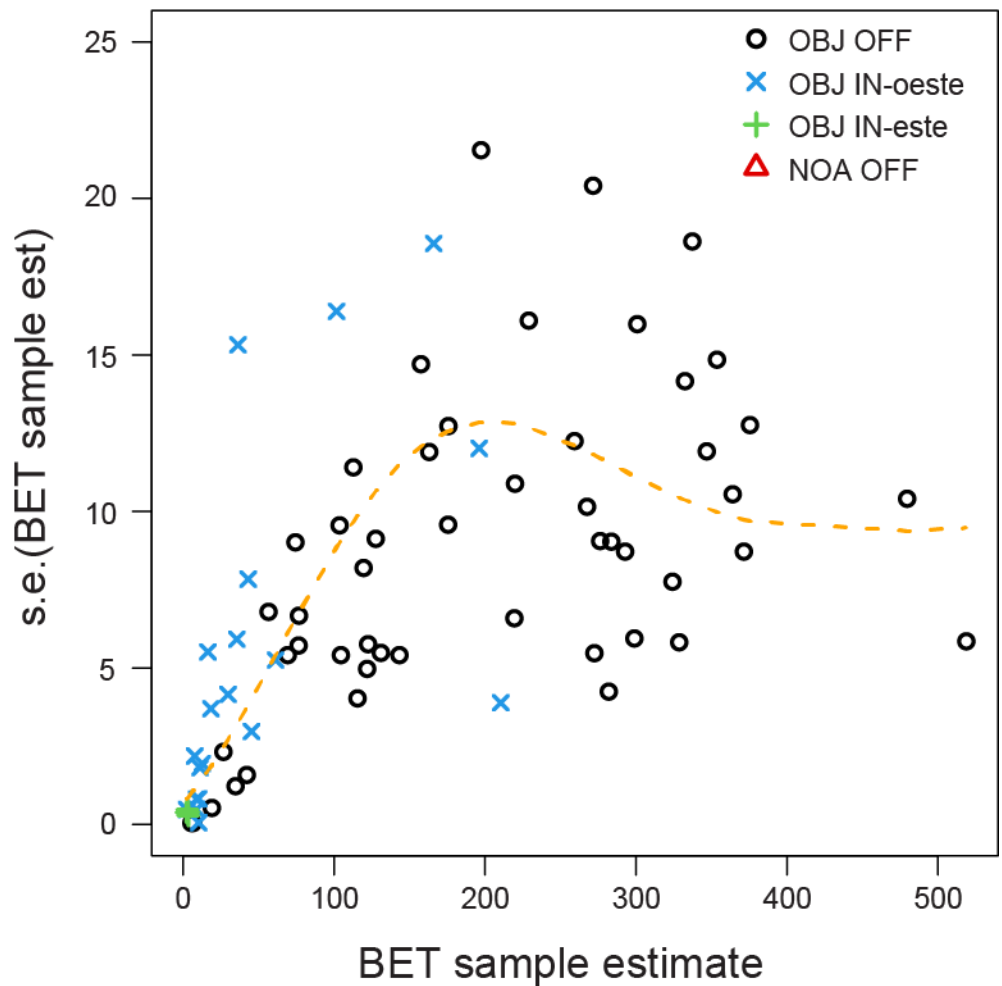


FIGURE B-1. Relationship between stratum-level EMP BET estimates and their standard errors. The orange dashed line is the fitted GAM curve. Black circles: OBJ OFF; blue ‘x’s: OBJ IN-west; green crosses: OBJ IN-east; and, red triangles: NOA OFF.