

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

14<sup>a</sup> REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

15-19 de mayo de 2023

DOCUMENTO SAC-14-10

PROGRAMA REFORZADO DE MONITOREO PARA CAPTURAS DE ATÚN PATUDO:  
RESULTADOS PRELIMINARES DEL ESTUDIO PILOTO Y PLAN DE TRABAJO PARA  
2023

Cleridy E. Lennert-Cody, Cristina De La Cadena, Luis Chompoy, Ernesto Altamirano Nieto, Nickolas W. Vogel, Brad A. Wiley, Mark N. Maunder, Alexandre Aires-da-Silva

ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ANTECEDENTES .....	3
A. ESTUDIO PILOTO DEL PRM .....	4
A.1 Fase 1: Simulaciones para probar diseños de muestreo .....	5
A.2 Fase 2: prueba de campo del diseño de muestreo que se seleccionó en la Fase 1 .....	16
A.3 Comparación de las estimaciones del PRM y el RDL .....	18
A.4 Metodología de la mejor estimación científica (BSE) para la captura de BET por viaje.....	19
B. PLAN DE TRABAJO PARA 2023 .....	20
AGRADECIMIENTOS .....	22
REFERENCIAS.....	22

RESUMEN

La resolución [C-21-04](#), que la Comisión adoptó a finales de 2021, incluyó medidas nuevas con el objetivo de abordar las preocupaciones de conservación relacionadas con el atún patudo (BET), incluido el establecimiento de umbrales en las capturas anuales de BET de buques cerqueros individuales que activarán días de veda adicionales para un buque. Para ayudar a monitorear las capturas de los buques en relación con estos umbrales, la resolución creó un Programa Reforzado de Monitoreo (PRM), que incluye un estudio piloto para desarrollar y probar protocolos de muestreo en puerto para la estimación de la captura de BET a nivel de viaje. En este documento se presentan detalles de la implementación y los resultados de dicho estudio piloto, el cual se realizó en los puertos de Manta y Posorja, Ecuador, durante septiembre de 2022 a febrero de 2023. Los principales resultados del estudio piloto del PRM pueden resumirse de la siguiente manera:

- El muestreo intensivo de la composición de la captura durante la descarga de bodegas con capturas de lances sobre objetos flotantes reveló una variación sistemática a gran escala en la proporción de BET en el transcurso de la descarga de bodegas individuales. Esta variación a gran escala, que el PRM debe abordar en el protocolo de muestreo dentro de la bodega, estaba

relacionada, en parte, con el número de lances desde los que se cargaban las capturas en la bodega.

- Un estudio de simulación realizado a partir de los datos de muestreo determinó que un protocolo de muestreo sistemático con una cobertura del 3.33 % de las unidades de peces<sup>1</sup> descargadas de una bodega debería constituir un compromiso razonable entre un bajo nivel de error y la practicidad. En la implementación real, este protocolo de muestreo dentro de la bodega es el siguiente: se muestrea una de cada 30 unidades de peces descargadas de una bodega, desde el principio hasta el final de la descarga de la bodega, empezando en una unidad seleccionada aleatoriamente de las 30 primeras unidades descargadas.
- Se estimó que la varianza entre bodegas era aproximadamente un orden de magnitud mayor que la que existía dentro de las bodegas, lo que respalda la decisión de no asignar recursos adicionales a la estimación de la varianza dentro de las bodegas en este momento.
- Teniendo en cuenta los resultados de un segundo estudio de simulación, que se utilizó para determinar el número de bodegas por muestrear por viaje, el PRM utilizará el siguiente protocolo de muestreo en dos etapas: 1) se muestrearán al menos seis bodegas por viaje, seleccionadas aleatoriamente para el estrato (o estratos) principal de captura de interés; y 2) se recolectará una muestra sistemática por bodega, utilizando el protocolo descrito anteriormente, en el que para cada unidad de peces muestreada se obtendrá la identificación de la especie y la talla o el peso de cada atún tropical en la unidad.
- Este protocolo preliminar del PRM, que se puso a prueba durante la última parte del estudio piloto, generó estimaciones razonablemente fiables de la captura de BET a nivel de viaje para los principales estratos de captura de interés, con coeficientes de variación situados en gran medida entre 0.22 y 0.39.
- Una comparación de las estimaciones de BET a partir de los datos de observadores con las estimaciones basadas en el protocolo del PRM, para los mismos viajes, sugirió que las estimaciones del PRM deberían ser más fiables que las estimaciones de los observadores, y que es posible que haya una tendencia de algunos observadores a subestimar sistemáticamente la captura de BET.
- Por último, en lo que respecta al uso de los datos del PRM para calcular las mejores estimaciones científicas (BSE, por sus siglas en inglés) de la captura de BET a nivel de viaje, una comparación de las estimaciones de BET de los observadores con las de las enlatadoras, utilizando datos históricos, mostró que, usualmente, las estimaciones de las enlatadoras eran inferiores a las de los observadores para los mismos viajes. A raíz de estos resultados, se deduce que: 1) las estimaciones del PRM sobre la captura de BET serán más fiables que las de las enlatadoras; y, 2) las estimaciones de los observadores se preferirán a las de las enlatadoras, cuando estén disponibles. (No fue posible realizar una comparación directa de las estimaciones del PRM y las enlatadoras para los viajes muestreados durante la última parte del estudio piloto porque los datos de las enlatadoras para cada viaje aún no estaban disponibles).

Dados los resultados del estudio piloto del PRM, se considera que estos, así como los que se recolectaron en el marco del PRM, serán útiles para otras investigaciones científicas que apoyan la ordenación de los

---

<sup>1</sup> Una unidad se define como un contenedor físico lleno de peces o un número fijo de peces que se descargan de la bodega de manera individual, donde el número fijo de peces puede considerarse una unidad virtual.

atunes, incluidos estudios sobre posibles mejoras del protocolo de muestreo del programa regular de muestreo en puerto de la Comisión para la estimación de la composición de la captura a nivel de flota.

El plan de trabajo del PRM para lo que resta del año 2023 se describe al final de este documento. Este plan de trabajo incluye propuestas de análisis de sensibilidad que pueden llevar a perfeccionar el actual protocolo de muestreo del PRM. Los detalles de los aspectos logísticos del estudio piloto pueden encontrarse en el documento SAC-14 INF-I.

## ANTECEDENTES

El personal de la CIAT ha recolectado datos en puerto sobre las capturas de buques atuneros cerqueros comerciales del Océano Pacífico oriental (OPO) desde 1953 (Tomlinson *et al.* 1992; Suter 2010). Antes del año 2000, la recolección de datos se centraba en el muestreo en puerto de la composición por talla, por especie. En 2000, la recolección de datos se amplió para incluir el muestreo en puerto de la composición por especie (Tomlinson 2002; 2004). En el marco de este programa regular de muestreo en puerto, el personal de la CIAT obtiene información sobre las capturas de los buques al final de sus viajes, incluidas las características operacionales asociadas a las bodegas donde se almacenan las capturas. Los viajes y las bodegas se seleccionan para el muestreo en función de varias características operacionales, como el tipo de lance y el área de pesca asociada a las capturas en cada bodega. Normalmente, se muestrean una o dos bodegas por viaje. El protocolo de muestreo actual (ver el Anexo de Suter 2010) consiste generalmente en alternar entre el conteo de un número fijo de peces para la composición por especie y la medición de la talla furcal de otro número fijo de peces para la composición por talla, hasta alcanzar totales predeterminados de conteos y tallas de peces. Estos datos de muestreo en puerto se utilizan en la estimación de la composición de la captura a nivel de flota y en las evaluaciones de las poblaciones de atunes del OPO.

La resolución [C-21-04](#), que la Comisión adoptó en la 98ª reunión de la CIAT a finales de octubre de 2021, estableció un Programa Reforzado de Monitoreo (PRM) con el fin de fortalecer el monitoreo de la captura de atún patudo (BET; *Thunnus obesus*) de los buques cerqueros, y como apoyo a los armadores y capitanes de los buques en el monitoreo de sus capturas, para un mejor cumplimiento de los objetivos de la resolución. Las medidas de conservación para los atunes tropicales durante el periodo 2022-2024 que se establecieron en la resolución incluyen una veda extendida, con posibles días adicionales basados en las cantidades de captura de BET por buque<sup>2</sup>. Sin embargo, el proceso de atribución de captura de BET por buque en virtud de la resolución fue diferente en 2022 de lo que tendrá lugar en 2023 y 2024. En 2022, los CPC de pabellón eran responsables de la atribución por buque de la captura de BET utilizando las fuentes de datos de las que disponían, incluidos los datos de observadores, los datos de bitácora y los registros de descarga de las enlatadoras. Para 2023 y 2024, tras la finalización del estudio piloto del PRM, la resolución indica al personal de la CIAT que proporcione a las autoridades del pabellón mejores estimaciones científicas (BSE) de la captura de BET por cada buque tras la finalización de cada viaje, utilizando estas mismas fuentes de datos, más los resultados del muestreo del PRM, cuando estén disponibles. Posteriormente, estas BSE se comunican a las autoridades del pabellón para su confirmación o ajuste antes de finalizar la atribución por viaje. Esta diferencia en el proceso entre 2022 frente a 2023 y

---

<sup>2</sup> Según el párrafo 5 de la resolución C-21-04, los umbrales de captura de BET son los siguientes: "... Para los años 2023 y 2024, los CPC asegurarán que los buques que durante el año anterior rebasen el límite de 1,200 toneladas de captura de patudo al año, incrementarán en el año siguiente en 10 días adicionales el periodo de veda establecido en el párrafo 3 de esta resolución. Si en este mismo periodo un buque rebasa el límite de captura anual de patudo de 1,500 toneladas, aumentará su veda en 13 días; si rebasa el límite de captura anual de 1,800 toneladas, aumentará su veda en 16 días; si rebasa el límite de captura anual de 2,100 toneladas, aumentará su veda en 19 días; y si rebasa el límite de captura anual de 2,400 toneladas, aumentará su veda en 22 días, en adición a la veda estipulada en el párrafo 3 de esta resolución....".

2024 fue necesaria para dar tiempo al personal de la CIAT para realizar el estudio piloto del PRM con el propósito de desarrollar y probar en campo protocolos de muestreo en puerto que se adapten a la estimación de la composición de la captura a nivel de viaje.

El protocolo de muestreo utilizado en el PRM debe ser necesariamente diferente del utilizado por el programa regular de muestreo en puerto de la CIAT porque las nuevas medidas de conservación que se describen en la resolución C-21-04 se aplican a nivel de viaje para buques individuales, mientras que el programa regular de muestreo en puerto no toma en consideración expresamente ni los buques ni los viajes en su protocolo de muestreo. Las medidas de conservación adicionales que se incluyen en la resolución C-21-04 tienen por objeto promover modificaciones por buque y por viaje de las prácticas pesqueras habituales de buques individuales mediante la asignación de días adicionales de veda a los buques que rebasen determinados umbrales de captura de BET. Es posible que la naturaleza y el efecto de cualquier modificación del comportamiento pesquero varíen a lo largo del tiempo para un buque individual a medida que se acerca a un umbral de captura de BET. Por consiguiente, el protocolo de muestreo que el PRM utilice debe centrarse en la recolección de datos adecuados para estimar la composición de la captura a nivel de viaje.

El estudio piloto del PRM se desarrolló en dos fases. En la Fase 1, se recolectaron datos para un estudio de simulación para probar diseños de muestreo. El muestreo realizado durante esta fase se centró en un muestreo intensivo de la captura procedente de bodegas específicas, que era necesario para identificar y caracterizar cualquier tendencia en la composición por especie y talla de la captura a medida que se descarga de una bodega. Investigaciones previas que el personal de la CIAT llevó a cabo (Wild 1994; [SAC-13 INF-E](#)) indicaron que podrían ocurrir tendencias en la composición de la captura durante la descarga. Estas tendencias, si están presentes, podrían dar lugar a sesgos en las estimaciones de la composición de la captura, tanto a nivel de bodega como de viaje, si no se tienen en cuenta a la hora de elaborar el diseño de muestreo. En la Fase 2, se realizaron pruebas de campo del diseño de muestreo que se desarrolló en la Fase 1 para identificar y resolver cualquier problema logístico antes del inicio del PRM en 2023. Estas pruebas de campo implicaron el muestreo de múltiples bodegas del mismo viaje, con el mismo protocolo que se aplicará en el PRM en 2023 y 2024. Los datos recolectados durante la Fase 2 se utilizaron para estimar la captura de BET de dichos viajes muestreados. Estas estimaciones se compararon con las de los observadores para los mismos viajes para ayudar al personal de la CIAT en su determinación de la fuente de datos preferida para las BSE de la composición de la captura para los viajes no muestreados por el PRM.

Este documento resume los resultados preliminares del estudio piloto del PRM (Sección A) y presenta un plan de trabajo para lo que queda de 2023 (Sección B). En la sección A.1, se presentan los resultados de los análisis de datos y los estudios de simulación para probar los diseños de muestreo, tanto para los peces de una bodega como para las bodegas de un viaje. La Sección A.2 presenta los resultados de las pruebas de campo del diseño de muestreo seleccionado mediante los estudios de simulación de la Sección A.1. En la Sección A.3, las estimaciones de captura de BET se comparan con las estimaciones de los observadores para las mismas bodegas y viajes. En la Sección A.4, se describe el uso previsto de los datos del PRM para calcular las BSE de BET a nivel de viaje. Dado que el PRM comenzó a principios de marzo de 2023, en la Sección B se discutirán los trabajos que se llevarán a cabo para evaluar posibles mejoras del actual protocolo de muestreo del PRM, incluidos análisis de sensibilidad para los estudios de simulación que se presentan en las secciones A.1 y A.2.

## **A. ESTUDIO PILOTO DEL PRM**

El estudio piloto del PRM se llevó a cabo durante un periodo de seis meses, de septiembre de 2022 a febrero de 2023. Estaba previsto inicialmente para julio- diciembre de 2022 ([SAC-13 INF-E](#)), pero se retrasó

dos meses. Como resultado, el trabajo intensivo de muestreo y simulación de la Fase 1 tuvo lugar entre septiembre y diciembre de 2022, y la Fase 2, las pruebas de campo del diseño de muestreo seleccionado en la Fase 1, tuvo lugar entre enero y febrero de 2023. El estudio piloto del PRM se llevó a cabo en Manta y Posorja, Ecuador, debido a la gran proporción de capturas de BET que se descargan en estos puertos ([SAC-13 INF-L](#)), y a los plazos, la complejidad y las limitaciones presupuestarias del estudio piloto del PRM, que impidieron viajar a otros países. La selección de los viajes y las bodegas que debían ser objeto de muestreo se basó en la información de los datos del Resumen de Lances que los observadores remiten antes de la llegada de los buques a puerto. Todos los muestreos que se realizaron en ambas fases del estudio piloto tenían como objetivo minimizar cualquier impacto negativo sobre el proceso de descarga y la calidad de la captura. Para más detalles sobre los protocolos de recolección de datos, incluidas las instrucciones de muestreo y videos de la recolección de datos, consulte el documento SAC-14 INF-I. Todos los análisis estadísticos y simulaciones se realizaron con el software estadístico gratuito R (R Core Team 2021).

## **A.1 Fase 1: Simulaciones para probar diseños de muestreo**

### **A.1.1 Recolección de datos de la Fase 1**

#### *Muestreo intensivo de peces en una bodega*

Los viajes y las bodegas se seleccionaron de manera oportunista durante la Fase 1 del estudio piloto y se dio prioridad a muestrear los viajes con capturas de BET notificadas por observadores y los buques con capturas anuales de BET históricamente elevadas, con el fin de lograr un protocolo de muestreo eficaz para la estimación de la captura de BET. Al inicio de la Fase 1, se tomó la decisión de priorizar el muestreo de bodegas que tuvieran capturas de lances sobre objetos flotantes (OBJ), especialmente aquellas con capturas realizadas al oeste de 110°O, sobre las bodegas con capturas de otros tipos de lances. A las bodegas con capturas de múltiples tipos de lances se les dio una prioridad baja de muestreo. Esta decisión estuvo impulsada por el hecho de que, desde 2015, en promedio, el 68 % de las capturas anuales de BET notificadas por los observadores o registradas en las bitácoras de los buques, para todos los tipos de lance y clases de tamaño de buques, proceden de lances OBJ realizados al oeste de 110°O (Tabla 1).

Al principio de la Fase 1, se observó que había dos métodos principales de descarga de captura en Manta y Posorja (SAC-14 INF-I). En el 89 % de los buques estudiados hasta la fecha (76 de 85 buques), la captura de muchas o todas sus bodegas<sup>3</sup> se descarga completamente a través de la boca de la bodega, ya sea con diversas formas de contenedores pequeños en una descarga en seco (en la que la salmuera refrigerada se bombea fuera de la bodega) o como peces individuales aprovechando sus propiedades flotantes en bodegas con salmuera refrigerada. En lo sucesivo, estos tipos de descarga se denominarán colectivamente descargas “estándar”. En ellas, los muestreadores tienen acceso a la captura en la boca de la bodega, en un entorno de trabajo seguro. El otro método de descarga, en lo sucesivo denominado descarga con “red de carga”, implica el uso de grandes redes de carga que se llenan dentro de la bodega y se transportan directamente a un contenedor en el muelle o a la cubierta principal del buque. Una distinción importante entre los métodos estándar y de red de carga es que, sin ayuda especial de la empresa de descarga, el muestreo de las descargas con red de carga solo es posible en la cubierta principal del buque, la cual representa un entorno de trabajo difícil con mayores problemas de seguridad. Además, en estas descargas, el muestreo no puede ser tan intensivo debido a la cantidad de peces en la red de carga; solo puede muestrearse un número limitado de peces, independientemente de la capacidad de la red de carga.

---

<sup>3</sup> De los 76 buques que utilizan el método de descarga estándar, 64 buques lo utilizan para todas sus bodegas y 12 lo utilizan para muchas de sus bodegas.

En consecuencia, durante la Fase 1 solo se muestreó un pequeño número de descargas de redes de carga y no se realizaron estudios de simulación con datos de este tipo de descargas.

El protocolo de muestreo de la Fase 1 para las descargas estándar implicó el muestreo de cada 10 “unidades” de peces descargados de una bodega (protocolo 1 de 10), desde el inicio hasta el final de la descarga (Figura 1). Una unidad se define como un contenedor físico lleno de peces o un número fijo de peces que se descargan de la bodega de manera individual, donde el número fijo de peces puede considerarse una “unidad virtual”. Las unidades virtuales solo se utilizaron cuando los peces se descargaban individualmente de la bodega, como ocurre durante la flotación o al principio de una descarga en seco, cuando los descargadores están creando espacio dentro de la bodega. Fue necesario crear unidades virtuales para intentar mantener un nivel uniforme de cobertura de muestreo en toda la descarga. El número de peces utilizado para definir una unidad virtual era fijo para toda la descarga y era determinado por los muestreadores al inicio de ésta al llenar de peces el tipo de contenedor que se iba a utilizar durante la descarga. Este protocolo dio lugar a muestras con un 10% de cobertura de unidades. El muestreo se inició a partir de una unidad seleccionada aleatoriamente en las 10 primeras unidades descargadas de la bodega y, posteriormente, se muestreó cada 10 unidades hasta finalizar la descarga de la bodega. Los peces de cada unidad muestreada se identificaron en uno de los cuatro grupos de especies: BET; atún aleta amarilla (YFT; *Thunnus albacares*); barrilete (SKJ; *Katsuwonus pelamis*); u otros peces. Además, se midió la talla furcal (al milímetro más cercano) de todos los BET, YFT y SKJ en cada unidad muestreada. Se intentó realizar un muestreo intensivo con una frecuencia mayor, al muestrear una de cada ocho unidades (cobertura del 12.5 % de las unidades; protocolo 1 de 8), pero se consideró que era demasiado difícil llevarlo a cabo con un equipo de cuatro muestreadores cuando la mayor parte de la captura estaba conformada por peces pequeños (SAC-14 INF-I).

Se recolectaron datos de muestreo intensivo de un total de 71 bodegas muestreadas en su totalidad para las descargas estándar (Tabla 2), de las cuales, en ocho se utilizó el protocolo 1 de 8 y el protocolo 1 de 10 en las 63 restantes. El muestreo intensivo requirió que el equipo de muestreo de cuatro personas estuviera presente durante toda la descarga, que normalmente toma de uno a dos días por bodega, y se realiza usualmente en turnos de 12 horas, desde la primera hora de la mañana hasta la noche (Figura 2). Se muestrearon alrededor de 30 unidades o más por bodega y se midieron más de 1,000 atunes (Figura 2). Las 71 bodegas que se muestrearon representan 42 viajes de 37 buques.

Durante la Fase 1 (SAC-14 INF-I) se exploraron diversos métodos de recolección de datos de las descargas de redes de carga. De las ocho bodegas en las que fue posible muestrear toda la descarga (Tabla 2), el protocolo que se utilizó consistió en muestrear el 10% de los peces de cada red de carga (3 bodegas) o un número fijo de peces (por ejemplo, 30 o 40 peces) de cada dos redes de carga (4 bodegas) o de cada 10 redes de carga (1 bodega).

### **A.1.1 Recolección de datos de la Fase 1**

#### *Composición de la captura de cada bodega de un viaje*

Aunque durante la Fase 1 se intentaron muestrear varias bodegas por viaje, pronto quedó claro que no sería posible muestrear de forma intensiva más que unas pocas por viaje y aun así poder muestrear un conjunto diverso de buques. Sin embargo, los datos de solo unas pocas bodegas por viaje se consideraron insuficientes para realizar estudios de simulación, dado que los buques de clase 6 suelen tener más de 10 bodegas ([SAC-13 INF-E](#)). Por lo tanto, el énfasis del muestreo intensivo de la Fase 1 se puso en muestrear unas pocas bodegas del mayor número posible de buques para intentar obtener un conjunto de datos representativo de los buques con más probabilidades de ser muestreados en el marco del PRM; los datos de observadores se utilizaron para el estudio de simulación sobre el número de bodegas por muestrear por viaje.

Para el estudio de simulación se necesitaron estimaciones de la captura de cada bodega de un viaje, junto con los tipos de lance y los lugares de pesca de los lances correspondientes de los que se extrajeron las capturas para llenar la bodega. Se armó un conjunto de datos con esta información a partir de los datos de la base de datos de observadores permanente y de la base de datos que contiene la información registrada por los observadores en los Registros de Seguimiento de Atún (RSA). La base de datos de RSA es la única en la que se registran los datos editados de la captura de cada lance que entró en una bodega. Por lo tanto, para obtener el conjunto de datos necesario para las simulaciones, se desarrolló un programa informático para cotejar la base de datos de RSA con la base de datos de observadores permanente<sup>4</sup>, utilizando los números de los viajes y las fechas (los números de lance no están disponibles en la base de datos de RSA). Para el periodo 2000-2021, solo el 2.1% de las bodegas del RSA no pudieron vincularse a lances específicos de la base de datos de observadores permanente. Los datos de los años 2017 a 2019 y los lances OBJ realizados al oeste de 110°O se utilizaron para el análisis de simulación porque representan los años más recientes antes de la pandemia y el área y el tipo de lance que ha producido gran parte de la captura cerquera anual de BET (Tabla 1). Este conjunto de datos incluirá datos de viajes de buques de tamaño inferior a la clase 6 de la CIAT, si llevaban un observador. En lo sucesivo, este conjunto de datos se denominará datos de observadores del RDL reconstruidos.

Cabe señalar que toda la información del conjunto de datos descrito en el párrafo anterior está disponible en una fuente de datos de observadores preliminares denominada Resumen de Lances (RDL). Los datos del RDL, que están disponibles antes de que el buque descargue en un puerto, se consideran información preliminar porque no están sujetos al proceso completo de control de calidad de datos del programa de observadores de la CIAT. Tras la incorporación de los datos editados de los observadores en las bases de datos de la CIAT, la información sobre el RDL puede obtenerse de fuentes editadas; sin embargo, el plazo para ello varía. En el caso de los viajes observados por la CIAT, la incorporación de los datos editados suele finalizarse a los pocos meses de la llegada del buque a puerto. Para los viajes cubiertos por observadores de programas nacionales, la incorporación de los datos editados puede requerir más tiempo. Por lo tanto, aunque los datos del RDL no están sujetos al proceso completo de control de calidad de datos del programa de observadores de la CIAT, al terminar un viaje de pesca, son los únicos datos independientes del buque que están inmediatamente disponibles sobre la composición de la captura por bodega, la composición por tipo de lance y los lugares de pesca para cada bodega de un viaje y, por lo tanto, para ciertos fines, se deben usar. En particular, los datos del RDL se utilizarán para estimar la BSE de BET a nivel de viaje (ver la Sección A.4) debido al plazo en el que se prevé que deben elaborarse dichas estimaciones tras la finalización de un viaje (según la resolución C-21-04). Las comparaciones entre los datos del RDL y los de la base de datos de observadores permanente han revelado escasas o nulas diferencias en las capturas de atunes.

### **A.1.2 Análisis exploratorio de los datos de la Fase 1**

#### *Variabilidad entre unidades muestreadas de la misma bodega*

Se realizaron análisis exploratorios para determinar si se producen patrones en la composición de la captura a lo largo de la descarga de una bodega, con especial atención en la variabilidad de la proporción de BET. Para cada unidad muestreada, se calcularon dos medidas de resumen de la composición por especie: 1) la proporción de cada una de las tres especies de atunes tropicales en la unidad, calculada a partir del número de peces; y 2) la proporción de cada una de las tres especies de atunes tropicales en la unidad, calculada a partir del peso. Para estos últimos, la talla furcal (en milímetros) de cada pez se

---

<sup>4</sup> La base de datos de observadores permanente es la base de datos que contiene todos los datos recolectados por los observadores, que han pasado por el proceso completo de control de calidad de datos del programa de observadores de la CIAT.

convirtió en peso (en kilogramos) utilizando las mismas relaciones talla–peso que las que se emplearon para obtener las estimaciones de la composición de la captura a nivel de flota. De los 147,354 peces que se midieron, 11 (0.0075 %) presentaron errores en los datos de talla que se registraron. A estos peces se les asignó la talla promedio de su especie en la unidad donde se encontraban.

En el caso de las descargas estándar, los resultados preliminares indican que puede haber una variabilidad considerable en la proporción de BET por unidad en el transcurso de la descarga de una bodega (Figuras 3 y 4). Por ejemplo, diferentes bodegas con una proporción promedio similar de BET tenían diferentes patrones en la proporción de BET por unidad, incluso para bodegas del mismo viaje (por ejemplo, en la Figura 3, compare las bodegas de los viajes 2 y 3). Se observó que la proporción de BET por unidad podía ser elevada al principio, a la mitad o al final de la descarga (Figura 3). Estos patrones eran evidentes tanto en la proporción de BET a partir de números o de peso, lo que indica que esta variabilidad no es un artefacto de la conversión de números a peso. Este tipo de variabilidad se observó con frecuencia en los datos del estudio piloto del PRM (Figura 4). Dado que los viajes y las bodegas muestreados en la Fase 1 no se seleccionaron aleatoriamente, no se puede inferir la prevalencia de estos patrones en la flota de forma más general. Sin embargo, cualquier diseño de muestreo dentro de la bodega debe ser robusto ante este tipo de variabilidad para evitar sesgar la estimación de la proporción de BET en una bodega y para el viaje.

Aunque es probable que el nivel de variabilidad en la proporción de BET por unidad se deba a múltiples factores, el número de lances asociados a la captura en la bodega parece ser relevante (Figura 5). Para las bodegas con alguna captura de BET, cuando la captura en una bodega muestreada procedía de un solo lance, la variabilidad en la proporción de BET entre las unidades muestreadas de la bodega era significativamente menor que cuando la captura en la bodega muestreada procedía de múltiples lances<sup>5</sup>. Una comparación cualitativa de la composición de la captura por lance con la variabilidad en la proporción de BET por unidad muestreada sugiere que, en el caso de las bodegas con capturas de varios lances, la variabilidad en la composición de la captura entre lances puede contribuir a la variabilidad en la composición de la captura durante la descarga de la bodega (Figura 5). Dado que no todos los lances tienen cantidades similares de captura de BET, incluso en el caso de los viajes con mayores cantidades de BET (Sección A.1.2), los análisis futuros evaluarán cuantitativamente la relación entre la variabilidad de las cantidades de captura de BET específicas por lance y la variabilidad en la proporción de BET por unidad durante la descarga (ver la Sección B).

Los datos de muestreo disponibles para las bodegas descargadas con redes de carga, aunque limitados, indican que el protocolo de muestreo a nivel de bodega que debe utilizarse para las descargas de este tipo puede tener que ser similar al utilizado para las descargas estándar. Para las ocho bodegas muestreadas de siete viajes diferentes (siete buques diferentes; Figura 6), se observaron patrones similares en la proporción de BET en la descarga (Figura 7) que para las bodegas de descargas estándar (Figura 3). En particular, para las cuatro bodegas que implicaron el muestreo de 30 o 40 peces de cada dos redes de carga, dos tuvieron un patrón a gran escala en la proporción de BET en el transcurso de la descarga.

### A.1.2 Análisis exploratorio de datos de la Fase 1

---

<sup>5</sup> Se aplicó una prueba de permutación a los datos, utilizando el paquete *ImPerm* de R (Wheeler y Torchiano 2016). Se ajustó un modelo de análisis de varianza unidireccional para comprobar si el rango intercuartil (IQR, por sus siglas en inglés) era el mismo cuando la bodega contenía capturas de un solo lance que cuando contenía capturas de múltiples lances. El valor *p* de esta prueba fue de 0.008. Una prueba de permutación basada en el ajuste de un modelo lineal simple a los mismos datos (es decir,  $IQR = a + b \cdot \text{número de lances}$ ) arrojó un valor *p* para la pendiente de 0.063.



### *Variabilidad entre bodegas del mismo viaje*

Con base en el análisis de los datos de observadores del RDL reconstruidos para el periodo 2017-2019, se encontró una variabilidad considerable en la proporción de BET entre las bodegas de un viaje<sup>6</sup>, para muchos viajes, incluidos los que capturaron mayores cantidades de BET (Figura 8). En el caso de los viajes de grandes capturas de BET, el rango intercuartil<sup>7</sup> de la proporción de BET por bodega se situó a menudo entre 0.2 y 0.6, aunque esos mismos viajes tuvieran bodegas con una proporción de BET tan pequeña como 0.05 y tan grande como alrededor de 0.8 o superior. En los tres años se observaron patrones similares. Este nivel de variabilidad en la proporción de BET entre bodegas del mismo viaje indica que el número de bodegas muestreadas por viaje será una consideración importante en el desarrollo del diseño de muestreo. La variabilidad en la captura de BET por lance dentro de un viaje (Figura 9), probablemente contribuye a la variabilidad en la proporción de BET entre las bodegas del mismo viaje, dado que la captura de múltiples lances puede cargarse en una sola bodega.

#### *Principales conclusiones — análisis exploratorios de datos*

- La proporción de BET que se encontró durante la descarga de una bodega puede ser elevada al principio, a la mitad o al final de la descarga. El diseño de muestreo dentro de la bodega debe ser robusto ante este tipo de variabilidad para evitar sesgar la estimación de la proporción de BET en una bodega y para el viaje.
- Puede haber una considerable variabilidad en la proporción de BET entre bodegas del mismo viaje, lo que indica que el número de bodegas muestreadas por viaje será una consideración importante en el desarrollo del diseño de muestreo.

### **A.1.3 Estudio de simulación de la Fase 1**

Se realizaron estudios de simulación con los datos a nivel de bodega y a nivel de viaje descritos en la Sección A.1.1 para evaluar el rendimiento de diferentes opciones de diseño de muestreo para las dos etapas del muestreo: 1) muestreo de bodegas de un viaje; y 2) muestreo de unidades de una bodega. Cabe señalar que, dado que las descargas estándar suelen implicar la descarga de gran parte de la captura en la bodega con contenedores, un protocolo de muestreo basado en el muestreo de peces individuales requeriría ayuda adicional de los descargadores. Por lo tanto, este enfoque no se consideró para el PRM (ver la Sección B).

Para evaluar el rendimiento del diseño de muestreo, fue necesario determinar primero un estimador de la proporción de BET y la cantidad de captura de BET para un viaje, así como sus varianzas. Como se ha señalado en estudios anteriores (Wild 1994), el muestreo aleatorio simple de peces de una bodega no se considera práctico por razones de logística, por lo que se supone que el protocolo general de muestreo debe ser un proceso en dos etapas, en el que la primera (selección de bodegas de un viaje) es un muestreo aleatorio estratificado, y la segunda (selección de unidades de una bodega) es un muestreo sistemático a partir de una primera unidad seleccionada aleatoriamente. Esta sección se estructura de la siguiente manera: los estimadores y sus varianzas se presentan en la Sección A.1.3.1; las simulaciones que prueban

<sup>6</sup> En cuanto a las cantidades de BET por bodega, en todos los viajes, para los lances OBJ realizados al oeste de 110°O, los valores oscilaron entre 0 t y un máximo de 85 t en 2017 (IQR: 4 t, 23 t), 92 t en 2018 (IQR: 6 t, 26 t), y 124 t en 2019 (IQR: 7 t, 26 t). (Hay que tener en cuenta que la cantidad máxima de captura por bodega está limitada por la capacidad de estas). IQR: rango intercuartil.

<sup>7</sup> El rango intercuartil es la diferencia entre los dos valores que corresponden a los percentiles de 75% y 25% de los datos. Es decir, el rango intercuartil se define como el 50 % medio de los valores de los datos, ordenados de menor a mayor.

los protocolos dentro de una bodega en la Sección A.1.3.2; y las simulaciones que prueban los protocolos para el número de bodegas por viaje en la Sección A.1.3.3.

### A.1.3.1 Metodología de estimación de la captura

El estimador de la captura de una especie a nivel de viaje que se utilizará es un estimador estratificado, en el que los estratos de un viaje se definen por los tipos de lance y las áreas de pesca asociadas a la captura del viaje. El estimador puede escribirse como

$$\widehat{W}_s = \sum_{t=1}^T W_t \hat{p}_{t,s} \quad (1)$$

donde  $\widehat{W}_s$  es la captura estimada de la especie  $s$  para el viaje (en peso),  $W_t$  es el peso de los atunes tropicales (YFT + SKJ + BET) para el estrato  $t$  del viaje (que se supone que se conoce),  $T$  es el número total de estratos para el viaje, y  $\hat{p}_{t,s}$  es la proporción estimada de la captura en el estrato  $t$  de la especie  $s$  (a partir del peso). En el caso de estimar la proporción de especies y la captura de una bodega individual, entonces  $T = t = 1$ . Las fuentes de datos utilizadas para obtener  $W_t$  dependerán de la disponibilidad en el momento en que se requiera una estimación de captura. Para los viajes que llevaron un observador,  $W_t$  será la captura de atunes tropicales que el observador notifique para el estrato, o se calculará a partir de la captura total de atunes tropicales que la enlatadora notifique, prorrateada por estratos usando los datos del observador (los datos que las enlatadoras proporcionan a la CIAT no contienen información detallada sobre las características operacionales a nivel de viaje). En el caso de los viajes que no llevaron un observador,  $W_t$  será o bien la captura de atunes tropicales notificada en la bitácora del buque para el estrato, o bien se calculará a partir de la captura total de atunes tropicales notificada por la enlatadora, prorrateada por estratos utilizando los datos de la bitácora del buque. El tipo de lance y el área de pesca se utilizaron para definir  $t$ . Para el área de pesca, el OPO se dividió en tres regiones: al oeste de 110°O; 110°O – 95°O; y al este de 95°O.

La estimación de la proporción de especies de la captura en el estrato  $t$  se obtiene mediante:

$$\hat{p}_{t,s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{m_i}\right) \sum_j^{m_i} y_{tsij}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{m_i}\right) \sum_j^{m_i} x_{tij}} \quad (2)$$

donde  $y_{tsij}$  es la suma del peso de los peces de la especie  $s$  en la  $j^{\text{ésima}}$  muestra sistemática (conglomerados) de la  $i^{\text{ésima}}$  bodega,  $x_{tij}$  es el peso de los atunes tropicales en las  $j^{\text{ésimas}}$  muestras de conglomerados de la  $i^{\text{ésima}}$  bodega (es decir, igual a la suma sobre  $s$  de  $y_{tsij}$ ),  $m_i$  es el número de muestras de conglomerados tomadas de la  $i^{\text{ésima}}$  bodega,  $M_i$  es el número de posibles muestras de conglomerados para la  $i^{\text{ésima}}$  bodega, y  $n$  es el número de bodegas muestreadas del viaje para el estrato  $t$ . La cantidad  $\frac{M_i}{m_i}$  es la inversa de la fracción de posibles muestras de conglomerados para la bodega que fueron muestreadas, y por lo tanto expande los datos de la muestra a un total para la bodega. Este estimador es una adaptación de Cochran (1977, páginas 292 a 326) (Lennert-Cody *et al.* 2022).

Dado que  $W_t$  se expresa en peso, pero los datos de la Fase 1 se expresan en número de peces, debe utilizarse la talla de los peces para convertir los números en peso. El peso de cada pez de la muestra se estimará a partir de su talla (en milímetros) y de las relaciones talla-peso específicas de cada especie que se utilizaron para estimar la composición de la captura a nivel de flota. Por el momento, se supondrá que se conoce el peso de cada pez al estimar la varianza de la captura de especies; sin embargo, el trabajo futuro sobre el desarrollo de métodos podría incluir la incorporación del error de la conversión talla-peso en la varianza de la captura de especies.

Cabe señalar que en el PRM se puede obtener el peso, en lugar de la talla, para la mayoría de los peces de una muestra. Durante la última parte de la Fase 2 del estudio piloto del PRM, se probó el uso de básculas portátiles, ya que la recolección de datos de peso no solo mitigará los problemas asociados a la medición precisa de peces dañados o curvos, sino que también puede ser más eficiente, al requerir menos muestreadores por bodega. Suponiendo que se utilicen básculas en el PRM, la conversión a peso no será necesaria, salvo en el caso de los peces de mayor tamaño cuyo peso supere la capacidad de la báscula (y, por lo tanto, deban medirse), o en el caso de que no sea posible utilizar la báscula por razones de logística (por ejemplo, espacio inadecuado cerca de la boca de la bodega). El uso de básculas para la segunda etapa de muestreo se analiza detalladamente en el documento SAC-14 INF-I. Cuando se usen básculas, los datos de composición por talla recolectados por el PRM serán diferentes de los que actualmente recolecta el programa regular de muestreo en puerto de la CIAT, el cual recolecta datos de talla. Históricamente, se han recolectado datos de talla porque las evaluaciones de las poblaciones de atunes requieren estimaciones de la composición por talla de la captura. Un tema para tratarse en el futuro será determinar si la recolección de datos de peso en lugar de los de talla, de forma más general, puede ser beneficiosa, especialmente si se dispone de relaciones talla-peso actualizadas. (Ver el documento SAC-14 INF-J para conocer acerca de la necesidad y las oportunidades de actualizar las relaciones morfométricas para las especies prioritarias en el OPO).

El estimador de la varianza de la captura de la especie  $s$  para un viaje, suponiendo que los estratos son independientes (y se conoce  $W_t$ ), se obtiene mediante:

$$Var(\widehat{W}_s) = \sum_{t=1}^T W_t^2 Var(\hat{p}_{t,s}) \quad (3)$$

Para estimar la varianza de  $\hat{p}_{t,s}$  consideramos métodos para la relación de dos variables aleatorias, donde las muestras de conglomerados se seleccionan con igual probabilidad pero son de talla desigual (ver Cochran 1977, páginas 303 a 306 y 311 a 313). Con un muestreo aleatorio simple de bodegas dentro de un estrato, la varianza de la proporción de especies en el estrato  $t$  se da por la ecuación 11.51 de Cochran (1977), ajustada para obtener la varianza de una proporción, no de un total, al dividir por  $W_t^2$ :

$$Var(\hat{p}_{t,s}) = \frac{1}{W_t^2} \left( \frac{N^2}{n} (1 - f_1) \frac{\sum_i^n (\hat{Y}_{tsi} - \hat{p}_{t,s} X_{ti})^2}{n-1} + \frac{N}{n} \sum_i^n \frac{M_i^2 (1 - f_{2i}) \hat{S}_{d2i}^2}{m_i} \right) \quad (4)$$

donde

$$\hat{S}_{d2i}^2 = \left( \frac{1}{(m_i-1)} \sum_{j=1}^{m_i} [(y_{tsij} - \hat{p}_{t,s} x_{tij}) - (\hat{Y}_{tsi} - \hat{p}_{t,s} \bar{X}_{ti})]^2 \right) \quad (5)$$

y  $n$  y  $N$  son el número de bodegas muestreadas y en el viaje, respectivamente, para el estrato  $t$ ,  $\hat{Y}_{tsi}$  es el peso total estimado de la especie  $s$  en la  $i$ ésima bodega (igual al producto de  $X_{ti}$  y la proporción estimada de BET para la  $i$ ésima bodega, que es la ecuación 2 aplicada solo a la  $i$ ésima bodega),  $X_{ti}$  es el peso total de los atunes tropicales en la  $i$ ésima bodega,  $f_1$  y  $f_{2i}$  son las fracciones de muestreo para bodegas y muestras de conglomerados, respectivamente;  $f_1 = \frac{n}{N}$  y  $f_{2i} = \frac{m_i}{M_i}$ . Las medias  $\hat{Y}_{tsi}$  y  $\bar{X}_{ti}$  se evalúan sobre los conglomerados  $m_i$  en la  $i$ ésima bodega y representan el peso promedio de la especie  $s$  y el de los atunes tropicales en una muestra de conglomerados, respectivamente. Por ahora, las bodegas de estratos mixtos no se contabilizan al calcular  $N$ , pero esto puede revisarse en el futuro, ya que puede considerarse que subestima la ponderación  $N/n$ .

Para poder estimar  $\hat{S}_{d2i}^2$  directamente a partir del diseño de muestreo, es necesario obtener al menos dos muestras de conglomerados por bodega (es decir,  $m_i \geq 2$ ); si  $m_i = 1$ , entonces no se puede evaluar  $\hat{S}_{d2i}^2$  y no se puede calcular el segundo término de la ecuación para la varianza de  $\hat{p}_{t,s}$ . En el ejercicio, por razones prácticas, una aproximación simplificadora para evaluar la ecuación 4 es que  $\hat{S}_{d2i}^2$  puede ignorarse efectivamente cuando  $n/N$  es pequeño y la selección en la primera etapa (bodegas de un viaje) es aleatoria (Cochran 1977). Aunque no se prevé que  $n/N$  sea necesariamente pequeño en nuestra situación, se espera que las limitaciones de los recursos hagan que obtener  $m_i > 1$  sea problemático. Por lo tanto, salvo en circunstancias especiales, la varianza de la segunda etapa (ecuación 5) se ignorará al evaluar la ecuación 4, hasta el momento en que quede claro que es posible recolectar muestras adicionales por bodega con los recursos disponibles; para compensar, el término  $(1 - f_i)$  de la ecuación 5 también se ignorará. Esto puede dar lugar a una sobreestimación de la varianza (Cochran 1977). Para explorar el posible impacto de la decisión de ignorar la varianza de la segunda etapa, en la Sección A.1.3.2 se utilizan los datos de la Fase 1 para aquellos viajes en los que se muestreó más de una bodega con el fin de comparar la magnitud relativa de las varianzas dentro de la bodega y entre bodegas.

Cabe señalar un aspecto práctico de la definición de los estratos asociados a la muestra de una bodega individual. Dado que las bodegas pueden contener capturas de varios lances, la captura de una bodega puede proceder de varios tipos de lance o de varios estratos espaciales. Esto no supone un problema para los viajes que llevaban un observador, en cuanto a obtener la captura de atunes tropicales de una bodega, ya que la captura de cada lance en los datos de observadores del RDL se desglosa en las bodegas que reciben a los peces. Sin embargo, los datos de la muestra no pueden diseccionarse de forma similar. En general, las bodegas con tipos de lance mixtos solo se muestrearán si se cuestiona la exactitud de los tipos de lance asignados a la captura en la bodega. Por lo que se refiere a los estratos espaciales, el enfoque adoptado consiste en aplicar un colchón de longitud de  $2^\circ$  a las definiciones de estrato mencionadas anteriormente. Si una proporción menor de la captura en la bodega se encuentra en un radio de  $2^\circ$  del área asociada a la proporción dominante de la captura en la bodega, se considera que la bodega representa un estrato espacial. Si la proporción menor de captura en la bodega está más de  $2^\circ$  fuera de los límites del área asociada a la proporción dominante de la captura, se considera que la bodega representa dos estratos espaciales, y solo se muestrearía si se cuestiona la exactitud de las áreas asignadas a la captura en la bodega.

### A.1.3.2 Estudio de simulación de la Fase 1

#### *Métodos: muestreo dentro de la bodega*

Las simulaciones que se llevaron a cabo para evaluar diversas opciones de protocolos de muestreo dentro de la bodega para las descargas estándar, que se basaron en los datos de la Fase 1, se hicieron por estrato. Esto se debe a que la estimación de la captura a nivel de viaje se hará por estrato, en previsión de que no se disponga de recursos suficientes para muestrear cada bodega de un viaje. La estimación de la captura por estrato solo requiere que se muestree un número suficiente de bodegas por estrato, lo que es probablemente menos que cada bodega del viaje. Estas simulaciones preliminares se centraron en bodegas con captura del tipo de lance y área del OPO que, en los últimos años, han generado gran parte de la captura de BET (Tabla 1): Lances OBJ realizados al oeste de  $110^\circ\text{O}$ . Se seleccionó un límite en  $110^\circ\text{O}$  para ser coherente con el límite espacial principal utilizado en las definiciones de las pesquerías de la evaluación actual de la población de BET (Xu *et al.* 2020). Los datos de la Fase 1 de 39 bodegas muestreadas en su totalidad (de 21 viajes), para el protocolo 1 de 10, estuvieron disponibles para las simulaciones de este estrato. El futuro trabajo de simulación (Sección B) también incluirá los datos de la Fase 1 muestreados con el protocolo 1 de 8.

Dada la impracticabilidad de la selección aleatoria de peces de una bodega (Wild 1994) y los patrones a gran escala en la proporción de BET que pueden ocurrir durante la descarga (Figura 3), las simulaciones para los protocolos de muestreo dentro de la bodega se centraron en probar varios diseños de muestreo sistemático. Estos protocolos simulados pretendían aproximarse a los protocolos reales, que serían menos intensivos que los que se utilizaron en la Fase 1 del estudio piloto del PRM (Figura 1). Los protocolos de muestreo que se probaron (Figura 10) consistieron en seleccionar una unidad muestreada de cada  $k$  unidades muestreadas. Se probaron valores de  $k$  de 2 a 5. En todos los casos, la unidad inicial se eligió aleatoriamente entre las posibles candidatas del primer grupo de unidades muestreadas (ver la Figura 10). Por ejemplo, para un protocolo que selecciona una de cada tres unidades muestreadas, la primera unidad seleccionada era una de las tres primeras unidades muestreadas, y había tres posibles muestreos sistemáticos (conglomerados) para una bodega según este protocolo simulado: 1) la muestra de conglomerados que contiene las unidades muestreadas 1, 4, 7, etc.; 2) la muestra de conglomerados que contiene las unidades muestreadas 2, 5, 8, etc.; y 3) la muestra de conglomerados que contiene las unidades muestreadas 3, 6, 9, etc. En los análisis preliminares también se probó un protocolo basado en la selección de bloques contiguos de unidades muestreadas, pero no se observó ninguna mejora con respecto a la selección de unidades muestreadas individuales, por lo que no se siguió considerando debido a su mayor complejidad de implementación.

Los protocolos simulados pretendían aproximarse a la cobertura de muestreo real de las unidades, del 2% al 5% (Tabla 3). Por ejemplo, el protocolo que selecciona una de cada dos unidades muestreadas ('1 de 2') equivale a la mitad de la cobertura de muestreo de los datos originales, que era del 10% (Figura 1), por lo que se supone que se aproxima a una cobertura del 5%. Del mismo modo, el protocolo que selecciona una de cada tres unidades muestreadas ('1 de 3') pretendía aproximarse a una cobertura de muestreo real del 3.33 %. La equiparación de la cobertura de la simulación con la cobertura real lleva implícito el supuesto de que la composición de la captura fue bastante constante dentro de los grupos originales de 10 unidades representados por cada unidad muestreada (Figura 1). Es decir, para los datos originales, se supone que cada unidad muestreada tiene una composición de captura casi idéntica a la de las otras nueve unidades de su grupo que no fueron muestreadas. Las futuras simulaciones (Sección B) mejorarán esta situación construyendo secuencias plausibles de unidades dentro de cada uno de los bloques originales de 10 unidades representados por cada unidad muestreada, de modo que puedan realizarse simulaciones más extensas de protocolos dentro de las bodegas.

El rendimiento de las simulaciones dentro de la bodega se evaluó utilizando dos métricas: error y error relativo. Para cada protocolo considerado, se calcularon el error y el error relativo para cada muestra de conglomerados. El error se definió como la proporción estimada de BET en la bodega a partir de los datos de la muestra de conglomerados menos la proporción "verdadera" de BET en la bodega. La estimación de la muestra de conglomerados se calculó a partir de la ecuación 2 anterior ( $n = 1$  y  $m_i = 1$ ), y la proporción verdadera supuesta es la estimada a partir de todos los datos originales de la bodega (los datos completos de 1 de 10) utilizando la ecuación 2 con  $n = 1$  y  $M = m$ . El error relativo se definió como el error dividido por la proporción "verdadera" de BET en la bodega. Para resumir el error y el error relativo de un protocolo en todas las muestras de conglomerados generadas para una bodega, se tomó el valor absoluto y luego se promedió entre los conglomerados; en lo sucesivo, se denominarán error absoluto promedio y error relativo absoluto promedio. El rendimiento general de cada protocolo simulado se resumió en todas las bodegas calculando el porcentaje de bodegas con un error absoluto promedio superior al 5%. Para el error relativo, el resumen general fue el porcentaje de bodegas con un error relativo absoluto promedio superior a 0.20. Cabe señalar que las futuras simulaciones (Sección B) evaluarán el rendimiento del protocolo de muestreo utilizando conjuntos de datos sintéticos para evitar la posibilidad de sobrestimar el rendimiento.

### A.1.3.2 Estudio de simulación de la Fase 1

#### *Resultados: muestreo dentro de la bodega*

En general, los resultados de la simulación (Figura 11, Tabla 3) indican que cuanto menor es la cobertura, mayor es el error y el error relativo, aunque el rendimiento en términos de error absoluto promedio para los protocolos 1 de 3 y 1 de 4 fue muy similar (diferiendo por el equivalente en puntos porcentuales de una bodega). El rango de los valores mayores de error negativo y positivo también aumentó con la disminución de la cobertura (Tabla 3). El error absoluto promedio aumentó con la proporción real de BET en la bodega, como se esperaba, mientras que el error relativo absoluto promedio fue mayor con proporciones reales de BET más bajas (Figura 11). Un error relativo grande asociado a proporciones pequeñas estimadas no se considera un problema porque la contribución al error total es reducida. No hubo una tendencia clara a subestimar o sobrestimar (es decir, una tendencia a que los errores fueran mayoritariamente positivos o negativos) (Figura 11).

Debido a estos resultados preliminares, se consideró que una cobertura de muestreo del 3.33% era un compromiso razonable entre un error bajo y la practicidad (Tabla 3). Habría sido preferible realizar un muestreo para alcanzar una cobertura del 5 % debido al error generalmente más bajo y al error relativo que se obtuvieron en las simulaciones. Sin embargo, se determinó que probablemente sería demasiado intensivo para mantenerlo como parte del PRM. La cobertura simulada del 2.5% tuvo un rendimiento ligeramente inferior, en relación con la cobertura simulada del 3.33%, en términos del rango de error y error relativo absoluto promedio. Así pues, en la Fase 2 del estudio piloto del PRM, se probó el muestreo dentro de la bodega utilizando un protocolo de muestreo sistemático con una cobertura del 3.33% de las unidades. La implementación real de este protocolo consistió en muestrear una de cada 30 unidades, desde el principio hasta el final de la descarga de una bodega, empezando por una unidad seleccionada de manera aleatoria de las 30 primeras unidades descargadas de la bodega (ver la Sección A.2).

En 13 de los 21 viajes con bodegas que contenían capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, se muestrearon de 2 a 3 bodegas por viaje, lo que permitió comparar las varianzas entre bodegas y dentro de ellas en esos 13 viajes con el protocolo simulado de cobertura del 3.33%. Para esta comparación, el componente de varianza entre bodegas de la ecuación 4

$$\frac{N \sum_i^n (\hat{Y}_{tsi} - \hat{p}_{t,s} \hat{X}_{ti})^2}{n - 1}$$

se comparó con el componente de varianza dentro de las bodegas de la ecuación 4

$$M \sum_i^n \hat{S}_{d2i}^2$$

donde se ignoraron los factores de corrección de población finita,  $(1 - f_1)$  y  $(1 - f_2)$ , y se supuso  $N = n$  ( $= 2$  o  $3$ ) y  $M = m = 3$ . Las 13 relaciones de la varianza entre bodegas dividida por la varianza dentro de las bodegas oscilaron entre 0.6 y 459, con un valor mediano de 10.6. Esto sugiere que la variación entre bodegas podría ser aproximadamente un orden de magnitud mayor que la variación dentro de las bodegas, lo que respalda la decisión de no asignar recursos adicionales a la estimación de la varianza dentro de las bodegas en este momento. No obstante, hay que señalar que el tamaño de la muestra (13 viajes) es pequeño y que las bodegas no se seleccionaron aleatoriamente.

*Principales conclusiones: estudio de simulación dentro de la bodega*

- Un protocolo de muestreo sistemático con una cobertura del 3.33% de las unidades de peces descargadas de una bodega se considera un compromiso razonable entre el bajo nivel de error y la practicidad. En el campo, para recolectar una muestra sistemática por bodega, este protocolo consistiría en: muestrear una de cada 30 unidades, desde el principio hasta el final de la descarga de una bodega, empezando por una unidad seleccionada aleatoriamente de las 30 primeras unidades descargadas de la bodega.
- La variación entre bodegas podría ser aproximadamente un orden de magnitud mayor que la variación dentro de las bodegas, lo que respalda la decisión de no asignar recursos adicionales a la estimación de la varianza dentro de las bodegas en este momento.

### **A.1.3.3 Estudio de simulación de la Fase 1**

*Métodos: número de bodegas por muestrear por viaje*

Estas simulaciones, que utilizaron los datos de observadores del RDL reconstruidos para 2017-2019, se centraron en determinar el número de bodegas por muestrear del estrato de captura más importante de un viaje, suponiendo una selección aleatoria de bodegas. Para ser coherentes con los datos de la muestra a nivel de bodega que se recolectaron en la Fase 1, los datos que se utilizaron en estas simulaciones se limitaron a los viajes de los buques que descargaban en Manta o Posorja, Ecuador. Para cada viaje, se seleccionaron aleatoriamente bodegas con capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O y se estimaron la proporción de BET para el estrato (ecuación 2<sup>8</sup>) y su coeficiente de variación (CV). El CV se estimó como la varianza entre bodegas, excluyendo el factor de corrección de la población finita (es decir, el primer componente de la ecuación 4, sin  $[1/f_1]$ ), dividido por la estimación de la proporción de BET para el estrato. El factor de corrección de población finita no se utilizó en esta simulación para ser conservadores en la estimación de la varianza, ya que la fuente de datos para esta simulación (datos de observadores) no es la misma que la que se utilizará en el PRM (datos de muestreo).

El número de bodegas simuladas para el muestreo osciló entre dos y ocho (dos es el número mínimo de bodegas necesario para estimar el componente de varianza entre bodegas de la ecuación 4). Las simulaciones se realizaron para cada viaje que tuviera al menos una bodega más con capturas del estrato que el tamaño de muestra simulado (de lo contrario, solo hay una muestra que extraer). Para cada número simulado de bodegas por muestrear, se obtuvieron todas las combinaciones posibles de ese número de bodegas en el estrato para el viaje, hasta un límite de 100,000, para evitar problemas de administración de la memoria de la computadora. Para cada combinación de bodegas muestreadas en un viaje, se estimó la proporción de BET para el estrato y su CV. Los valores de CV (uno para cada posible muestra aleatoria de un número fijo de bodegas del viaje) se resumieron en una gráfica de caja y bigotes de los valores del CV para el viaje.

### **A.1.3.3 Estudio de simulación de la Fase 1**

*Resultados: número de bodegas por muestrear por viaje*

Hubo entre 140 (2018) y 164 (2017) viajes por año con bodegas que contenían capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O. El número de viajes afectados por el límite de 100,000 combinaciones fue relativamente pequeño. Por ejemplo, para 2019, en seis bodegas muestreadas, hubo dos viajes con más de 100,000 posibles muestras de seis bodegas, y en ocho bodegas muestreadas, hubo 13 viajes con más de 100,000 posibles muestras de ocho bodegas. No obstante, en el futuro, (Sección B) se optimizarán los programas de simulación para cubrir todas las combinaciones posibles. El número de viajes disponibles

<sup>8</sup> La ecuación 2 se simplifica en este ejercicio a la suma de  $y_{tsi}$  sobre  $n$ , dividida por la suma de  $x_{ti}$  sobre  $n$ .

para cada simulación varió con el número de bodegas por muestrear, de 115 (2018) a 132 (2017) con tres o más bodegas en el estrato (para la simulación de muestreo de 2 bodegas por viaje) a 70 (2018) a 88 (2017) viajes con nueve o más bodegas en el estrato (para la simulación de muestreo de ocho bodegas por viaje). Como ejemplo del número de bodegas por viaje con capturas del estrato, ver la distribución de frecuencias para 2019 que se muestra en la Figura 12.

Los resultados preliminares de la simulación indican que, para un viaje con un mayor número de bodegas con capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, el cuartil superior de los posibles valores de CV puede no caer considerablemente por debajo de 0.5 a menos que se muestreen seis o más bodegas (Figura 13). El muestreo de solo dos bodegas por viaje da como resultado muchos viajes con un valor mediano de CV entre 0.5 y 1.0 (Figura 13). Si se toman muestras de seis bodegas, la moda de la distribución de los valores medianos de CV por viaje cae por debajo de 0.35 aproximadamente en cada uno de los tres años (Figura 14). A falta de un nivel específico de precisión detallado en la resolución C-21-04, estos resultados sugieren que el muestreo de seis bodegas por estrato es un compromiso práctico razonable entre la mejora de la precisión y la disponibilidad de recursos para muestrear más viajes. Por lo tanto, en la Fase 2 del estudio piloto del PRM, el muestreo previsto fue de seis bodegas por estrato de un viaje, y se dio prioridad al muestreo de bodegas con capturas de lances OBJ del estrato realizados al oeste de 110°O y, en segundo lugar, a los lances OBJ realizados entre 95°O y 110°O. Si había menos de seis bodegas para el estrato principal, debían muestrearse todas las bodegas del estrato. Las simulaciones para evaluar el número de bodegas por muestrear por viaje para capturas de otros estratos se evaluarán en futuros estudios de simulación (Sección B).

*Conclusión principal: número de bodegas por muestrear por viaje*

- El muestreo de seis bodegas por estrato para un viaje, para el estrato que se espera que produzca la mayor cantidad de captura de BET, se considera un compromiso práctico razonable entre la mejora de la precisión y la disponibilidad de recursos para muestrear más viajes. Sin embargo, sería deseable muestrear más bodegas por viaje, si los recursos lo permiten.

## **A.2 Fase 2: prueba de campo del diseño de muestreo que se seleccionó en la Fase 1**

Tras los resultados preliminares de simulación que se obtuvieron en la Fase 1 (Sección A.1.3), el protocolo de muestreo seleccionado se puso a prueba en la Fase 2. Dicho protocolo consistió en un proceso de muestreo en dos etapas, en el que la primera (selección de bodegas de un estrato de captura para el viaje) es un muestreo aleatorio estratificado, y la segunda (muestreo dentro de una bodega) es un muestreo sistemático de unidades de la bodega, en el que todos los atunes de cada unidad seleccionada se identifican por especie y se miden (o pesan). En concreto, el protocolo que se probó fue: 1) muestrear seis bodegas por viaje, seleccionadas aleatoriamente del estrato (o estratos) que se consideraba que podían tener la mayor probabilidad de generar la mayor cantidad de captura de BET; y 2) para cada una de esas seis bodegas, recolectar una muestra sistemática, al muestrear una de cada 30 unidades por bodega, a partir de una unidad inicial aleatoria en las primeras 30 unidades descargadas, hasta el final de la descarga. A veces puede ser necesaria una modificación práctica de (1) si el momento de la descarga de bodegas individuales o su ubicación impiden el muestreo. En tales casos, se seleccionan aleatoriamente una o varias bodegas alternativas. La aplicación de este protocolo durante enero-febrero de 2023 y los resultados preliminares se presentan en esta sección. Este protocolo de muestreo se utiliza actualmente en el PRM, que comenzó en marzo de 2023.

### *Fase 2: Recolección de datos*



Para implementar el protocolo de muestreo descrito en el párrafo anterior se utilizaron los siguientes criterios. Los viajes (buques) se seleccionaron en función de las capturas de BET del viaje o de las capturas de BET históricas del buque. El estrato que generalmente se considera más importante para el muestreo fue el de los lances OBJ realizados al oeste de 110°O y, en segundo lugar, el de los lances OBJ realizados entre 95°O- 110°O. Dado el tiempo que suele requerir la descarga de una bodega individual (Figura 2), se asignaron seis equipos de tres muestreadores cada uno a cada viaje seleccionado para el muestreo. Con equipos de tres muestreadores, y 20 muestreadores en total en el estudio piloto del PRM, se previó que normalmente solo se podría muestrear un estrato por viaje, o dos si menos de seis bodegas del viaje contenían capturas del principal estrato de interés.

### *Fase 2: Análisis exploratorio de datos*

Durante la Fase 2 se muestrearon un total de 10 viajes con el protocolo preliminar, con el que se pudieron muestrear alrededor de dos viajes por semana. Los equipos muestrearon entre seis y 21 unidades por bodega y entre 150 y 1,700 atunes por bodega (Figura 15). La variabilidad en la proporción de BET entre las unidades muestreadas de la misma bodega que se observó en los datos de la Fase 2 (Figuras 16 y 17) fue similar a la que se vio en los datos de muestreo intensivo recolectados durante la Fase 1 (Figuras 3 y 4). La proporción de BET por unidad muestreada podría ser elevada en cualquier momento del transcurso de la descarga, y bastante variable entre las unidades muestreadas de algunas bodegas. Esto sugiere que la cobertura de muestreo más baja dentro de la bodega no lo fue tanto como para mitigar los cambios a gran escala en la composición de la captura que pueden producirse durante la descarga.

### *Fase 2: Estimaciones de BET a nivel de estrato para los viajes muestreados*

A modo de ilustración de la metodología de estimación de la captura (ecuaciones 2 y 4) con los datos de la Fase 2, se realizó una estimación de la captura de BET para el estrato dominante de cada viaje (Tabla 4). Se calcularon estimaciones, errores estándar e intervalos de confianza aproximados del 95 % para los siguientes estratos: lances OBJ realizados al oeste de 110°O (tres viajes), lances OBJ realizados entre 95°O-110°O (cinco viajes) y lances OBJ realizados al este de 95°O (dos viajes). Los CV de las estimaciones por estrato de la cantidad de captura de BET se situaron entre 0.22 y 0.39 para nueve de las 10 estimaciones (Tabla 4; Figura 18), lo que coincide aproximadamente con la precisión esperada basada en las simulaciones entre bodegas utilizando los datos de observadores del RDL reconstruidos (Figuras 13 y 14). Un viaje con poca captura de BET para el estrato dominante (la proporción estimada de BET fue de 0.0009) tuvo un CV de 0.74; sin embargo, esto no se considera preocupante porque la proporción estimada de BET para el estrato fue muy pequeña. En cuatro de los 10 viajes, el estrato de interés principal para el viaje representó más del 90% de la captura de atunes tropicales del viaje (Tabla 4); es decir, en estos cuatro viajes, la estimación de la captura de BET del estrato fue casi equivalente a la estimación de la captura de BET del viaje. Solo en dos de los 10 viajes la captura de atunes tropicales del estrato principal fue inferior al 60% de la captura del viaje. En otras palabras, solo para dos de los 10 viajes muestreados en la Fase 2 habría sido necesario basarse considerablemente en otra fuente de datos para generar la BSE de BET del viaje. En el caso de un viaje (viaje A de la Tabla 4), toda la captura procedía de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, por lo que la estimación del PRM para el estrato era también la estimación del PRM para el viaje: 538 t de BET.

#### *Conclusión principal: prueba de campo del protocolo preliminar de muestreo*

- El protocolo de muestreo que se seleccionó con base en las simulaciones de la Fase 1 generó estimaciones razonablemente fiables de la captura de BET a nivel de viaje para los principales estratos de captura de interés, con coeficientes de variación situados en gran medida entre 0.22 y 0.39.

### A.3 Comparación de las estimaciones del PRM y el RDL

Se realizaron varias comparaciones entre las estimaciones de la proporción de BET a partir de los datos del estudio piloto del PRM y las estimaciones a partir de los datos de observadores del RDL. En primer lugar, se compararon las estimaciones de la proporción de BET por bodega a partir de los datos de muestreo intensivo de la Fase 1 con las estimaciones del RDL para las mismas bodegas. Suponiendo que las estimaciones basadas en los datos de la Fase 1 representan la verdadera proporción de BET en la bodega, el error asociado a las estimaciones del RDL, calculado como la estimación del RDL menos la estimación del PRM, se comparó con el rango de error del estudio de simulación de la Fase 1 para el protocolo de cobertura del 3.33% (Tabla 3). Además, también se realizó una comparación de las estimaciones a nivel de bodega de la proporción de BET a partir de los datos de la Fase 2 con las estimaciones del RDL para las mismas bodegas. Por último, las estimaciones de BET a nivel de estrato, por viaje, calculadas a partir de los datos de la Fase 2 se compararon con las estimaciones del RDL para los mismos viajes y estratos.

La comparación de la proporción de BET por bodega a partir de los datos de la Fase 1 con las estimaciones del RDL para las mismas bodegas (Figura 19) indica que existe una correlación general positiva entre las estimaciones de las dos fuentes de datos. Al limitar los datos a los viajes con más de una bodega muestreada y ajustar un modelo de regresión lineal con la raíz cuadrada de la proporción de BET del RDL como variable dependiente, la proporción de BET del PRM como variable independiente y el identificador del viaje incluido en el modelo como factor, se obtuvo una relación positiva significativa (estimación de la pendiente = 0.57, valor  $p < 0.01$ ). El factor de viaje no fue significativo al nivel del 5% (valor  $p = 0.07$ ); sin embargo, no se comprobaron las diferencias de la pendiente entre viajes porque solo se muestrearon de dos a tres bodegas por viaje durante la Fase 1 (ver más adelante). El error en las estimaciones del RDL (RDL menos PRM) para bodegas con capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O (Figura 20) estaba inclinado hacia valores negativos, con un mayor rango de error que el que se obtuvo con el protocolo de cobertura simulado del 3.33% (Tabla 3). En otras palabras, el rango de error a nivel de bodega para las estimaciones del RDL es mayor que el que se observó para el protocolo de muestreo simulado. Cuando se agrupan por viaje, se observa que hay múltiples viajes con grandes valores negativos de error del RDL (Figura 20).

Cuando se muestrearon más bodegas por viaje en la Fase 2, quedó claro que la relación entre las estimaciones del RDL y el PRM de la proporción de BET por bodega puede variar considerablemente por viaje (Figura 21), lo que puede deberse a una diferencia de capacidades entre los observadores o a otros factores. Las diferencias en las estimaciones del RDL y el PRM de algunas bodegas de varios viajes, y de la mayoría de las bodegas de los viajes A e I, se sitúan considerablemente fuera del rango de error que se encontró para el protocolo de cobertura simulado del 3.33% (Tabla 3), lo que destaca la importancia de recolectar datos del PRM. Se introducirán mejoras en el estudio de simulación dentro de la bodega con datos de la Fase 1 (Sección B) para verificar este resultado cuando se relaja el supuesto de una composición de la captura casi constante dentro de los grupos originales de 10 unidades.

La comparación de las estimaciones a nivel de estrato del PRM y el RDL ilustra cómo las diferencias en la proporción de BET a nivel de bodega entre las dos fuentes de datos (Figura 21) se traducen en diferencias a nivel de estrato (nivel de viaje) en la captura estimada de BET (Tabla 4). Por ejemplo, para la mayoría de las bodegas de los viajes E, F y H, las estimaciones a nivel de bodega de la proporción de BET fueron relativamente similares a las estimaciones a nivel de bodega del RDL (Figura 21), quedando las estimaciones del RDL dentro de los intervalos de confianza aproximados del 95% para las estimaciones del PRM (Tabla 4). Por el contrario, para los viajes A e I, las estimaciones de la proporción de BET a nivel de bodega del PRM fueron considerablemente mayores que las estimaciones a nivel de bodega del RDL para la mayoría o para todas las bodegas muestreadas (Figura 21), en las que las estimaciones de BET del

RDL para el estrato se situaron muy por debajo, o cerca, del límite inferior de los intervalos de confianza aproximados del 95% en las estimaciones del PRM (Tabla 4). Dado que la mayoría de las diferencias en las estimaciones a nivel de bodega para estos dos viajes quedan fuera del rango de error de las simulaciones (Tabla 3), se da mayor credibilidad a las estimaciones del PRM que a las del RDL.

*Conclusiones principales: comparación de las estimaciones del PRM y el RDL*

- El error en las estimaciones del RDL (RDL menos PRM) para bodegas con capturas de lances OBJ realizados al oeste de 110°O estaba inclinado hacia valores negativos, con un mayor rango de error que el que se obtuvo con el protocolo de cobertura simulado del 3.33%.
- Aunque las estimaciones del PRM pueden ser mayores o menores que las estimaciones del RDL, las diferencias más extremas tendieron a ser negativas (es decir, la estimación del PRM fue considerablemente mayor que la estimación del RDL), lo que sugiere que para algunos viajes, la estimación del RDL puede estar sesgada negativamente.

#### **A.4 Metodología de la mejor estimación científica (BSE) para la captura de BET por viaje**

En esta sección se describe el plan actual de estimación de la BSE de BET por viaje. Este plan podrá revisarse si nuevos análisis en 2023 (Sección B) indican que pueden introducirse mejoras.

##### *Viajes muestreados por el PRM*

Para un viaje muestreado por el PRM, la BSE de BET se basará en la suma de la estimación, o estimaciones, del PRM si se pueden muestrear suficientes bodegas de más de un estrato de captura del viaje, más las estimaciones de otras fuentes de captura para cualquier estrato de captura del viaje que el PRM no haya muestreado. En el caso de los viajes en los que toda su captura procede de uno o dos estratos, se considera posible realizar una estimación del PRM para la totalidad de la captura del viaje, o para la mayor parte, como se ilustró en la Fase 2 del estudio piloto<sup>9</sup>. Si el viaje lleva un observador, se utilizarán los datos del RDL para estimar la captura de los estratos del viaje que no se muestrearon. Si el viaje no lleva un observador, se utilizarán los datos de enlatadoras y de bitácora; los datos de bitácora son necesarios para prorratear por estratos los datos enlatadoras de la captura total del viaje.

##### *Viajes no muestreados por el PRM*

Para los viajes no muestreados por el PRM, se utilizarán los datos del RDL para estimar la captura de BET, si hay un observador a bordo; de lo contrario, se utilizarán los datos de enlatadoras y de bitácora. Aún no se ha realizado una comparación directa de las estimaciones del PRM y de las enlatadoras (ver la Sección B). Por lo tanto, a partir de la redacción de este documento, el énfasis en el uso de los datos del RDL para los viajes observados no muestreados por el PRM está motivado por las siguientes observaciones. En primer lugar, las comparaciones de los datos de observadores y de bitácora (CAE) de los buques de clase 6<sup>10</sup> con las estimaciones de las enlatadoras, por viaje, para el periodo 2015-2019 (año de zarpe del viaje), indicaron que, si bien la captura total de atunes tropicales fue estadísticamente muy similar entre las dos fuentes de datos (enlatadoras, CAE), hubo una tendencia estadísticamente significativa a que la captura de BET que se declaró en los datos de enlatadoras fuera inferior a la que se declaró en los datos de la CAE en los 5 años (Figuras 22 y 23, Tabla 5). Anteriormente se observaron patrones similares en los datos de

<sup>9</sup> Las mejoras en los equipos de muestreo que se implementarán plenamente en el PRM contribuirán a agilizar aún más el proceso de recolección de datos, lo que posiblemente permitirá que los equipos de muestreo sean de dos en lugar de tres muestreadores, excepto para las descargas estándar que utilizan flotación (SAC-14 INF-I). Esto aumentará la capacidad de muestreo, tanto en términos de bodegas como de viajes.

<sup>10</sup> De la base de datos de Captura y Esfuerzo (CAE) de la CIAT, que serán principalmente datos de los observadores para los buques de la clase 6.

principios de la década de 2000 (CIAT sin publicar). En segundo lugar, las estimaciones del PRM por bodega y estrato (Tabla 4, Figuras 19-21) muestran que, aunque las estimaciones del PRM pueden ser mayores o menores que las estimaciones del RDL, las diferencias más grandes tendieron a ser negativas (es decir, la estimación del PRM fue considerablemente mayor que la estimación del RDL), lo que sugiere que, para algunos viajes, la estimación del RDL puede estar sesgada negativamente. Así pues, a la espera de un análisis más detallado (Sección B), se considera que es posible que las estimaciones de las enlatadoras representen una subestimación de la captura de BET, por lo que se utilizarán las estimaciones del RDL, cuando estén disponibles.

## **B. PLAN DE TRABAJO PARA 2023**

En esta sección se describen los trabajos relacionados con el PRM para el resto de 2023. Con este trabajo se pretende mejorar los análisis y simulaciones que se presentan en este documento, además de optimizar los cálculos de la BSE que utilizan datos del PRM. Se anticipa que la tarea B.1 se completará antes de la reunión anual de la CIAT en agosto de 2023, y que será posible generar las BSE de BET de manera oportuna para entonces. Las tareas B.2 a B.4 se iniciarán una vez finalizada la tarea B.1.

### **B.1 Desarrollo de un programa informático para automatizar los cálculos de la BSE a partir de los datos del PRM y el RDL**

Es necesario crear programas informáticos adicionales para automatizar, en la medida de lo posible, los cálculos de la BSE para los viajes muestreados por el PRM. Además, es necesario desarrollar una base de datos y rutinas de introducción y edición de datos para los datos de observadores del RDL, procedentes de viajes muestreados por el PRM.

### **B.2 Identificación de los factores asociados a los patrones en la composición de la captura durante la descarga**

Utilizando los datos de la Fase 1 y los datos de observadores del RDL reconstruidos, se llevarán a cabo más análisis para evaluar la relación entre la proporción de BET en las unidades muestreadas, las cantidades de captura de BET por lance cargadas en la bodega y el orden en que esos lances se cargaron en la bodega. Los resultados podrían permitir evaluar la prevalencia de patrones a gran escala en la composición por especie durante la descarga en todos los buques de clase 6, lo que a su vez podría llevar a perfeccionar el diseño de muestreo dentro de la bodega.

### **B.3 Análisis de sensibilidad para simulaciones de muestreo dentro de la bodega**

Se llevarán a cabo análisis de sensibilidad para investigar el efecto de los supuestos realizados en las simulaciones de muestreo dentro de la bodega, lo que puede llevar a perfeccionar el protocolo actual de muestreo dentro de la bodega, así como a mejorar la cuantificación del rendimiento. Para estos análisis de sensibilidad, los datos de la Fase 1 se utilizarán para crear un conjunto de datos sintéticos de descargas de captura, con información sobre la composición de la captura estimada para cada unidad, muestreada y no muestreada. Los análisis de sensibilidad intentarán:

- 1) Cuantificar el rendimiento del protocolo de muestreo bajo niveles plausibles de variabilidad en la composición por especie dentro de los grupos originales de 10 (8) unidades.
- 2) Evaluar las ventajas y desventajas entre el muestreo de unidades físicas (que a menudo contienen diferentes números de peces, dependiendo de la especie, así como de otros factores) y el muestreo de grupos de un número fijo de peces (unidades virtuales), así como el número óptimo de peces por muestrear en las unidades virtuales. Este análisis de sensibilidad permitirá evaluar cualquier posible sesgo que pudiera surgir si, por ejemplo, los contenedores utilizados para descargar la captura de las bodegas solo tuvieran capacidad para unos pocos peces. (Sin embargo,

cabe señalar que el muestreo de un número fijo de peces para las descargas que utilizan contenedores requeriría una cooperación adicional por parte de los descargadores, así como perfeccionar el protocolo de muestreo actual para minimizar el sesgo de selección de los muestreadores).

- 3) Evaluar la sensibilidad de los resultados de la simulación a la irregularidad en el número de unidades no muestreadas entre las unidades muestreadas en el transcurso de la descarga de una bodega.
- 4) Estimar la captura mínima de BET en una bodega que puede detectarse con fiabilidad mediante el protocolo de muestreo actual.
- 5) Evaluar cualquier efecto de la distribución de los lances entre las bodegas (por ejemplo, bodegas de estrato mixto; un lance individual de captura grande que llena varias bodegas) sobre los factores de ponderación de la varianza que implican  $N$ .
- 6) Evaluar si el muestreo de bodegas de estratos mixtos podría dar lugar a un sesgo de selección.
- 7) Comparar el error del protocolo que se probó en la Fase 2 del PRM con el de un protocolo de muestreo aleatorio simple para ambas fases.
- 8) Evaluar opciones de estimadores estadísticamente más eficientes.

**B.4 Realizar estudios de simulación para evaluar el número de bodegas a muestrear** de estratos de captura importantes distintos de los lances OBJ realizados al oeste de  $110^{\circ}\text{O}$ , tales como los lances OBJ realizados entre  $110^{\circ}\text{O}$  y  $95^{\circ}\text{O}$ . Además, evaluar la mejor forma de asignar los recursos disponibles entre las bodegas de diferentes estratos de captura de un mismo viaje para obtener la mejor estimación de la captura de BET a nivel de viaje.

**B.5 Comparación estadística completa de las estimaciones de las enlatadoras con otras fuentes (PRM, observadores)**

**B.6 Mejorar la eficacia de los equipos de muestreo para todos los tipos de descargas (ver SAC-14 INF-I)**

Tanto las grabadoras de voz para la recolección de datos durante el muestreo como las básculas de precisión para pesar los peces individuales comenzaron a utilizarse en el PRM en marzo de 2023. Se evaluará el uso de estas herramientas y se introducirán los ajustes necesarios en los protocolos de muestreo en un proceso de mejora continua. Se prevé que estas herramientas de muestreo permitirán al PRM aumentar su capacidad de muestreo.

Los muestreadores se distribuirán en grupos de dos para las descargas en seco y en grupos de tres para las de flotación, lo que garantizará el muestreo de al menos seis bodegas por viaje con los recursos humanos y financieros disponibles. También se implementará y mejorará el muestreo de las descargas de redes de carga, que resolverán los problemas de logística específicos de este tipo de descarga.

**B.7 Abordar los retos de logística relacionados con el muestreo de buques (viajes) que no llevan un observador**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen especialmente a los muestreadores Jennifer Aguilar, Grace Álvarez, Carlos Bravo, Pablo Delgado, Jonathan Gaibor, Juan Galarza, José Guillén, Javier Mejía, James Méndez, Diego Montehermoso, Marcos Muñoz, Darío Quimi, Alex Santana, Diego Ureta, Wellington Vásquez, Víctor Vines, Ledin Vizueta, Robinson Zambrano, Tommy Zamora y Alisson Zúñiga; el personal de la oficina regional de Manta, Erick D. Largacha Delgado, Daniel E. Cevallos-Alarcón, Carlos de la A Florencia,

Glenthon Macías Pita, Nilo Pérez, y Alex Urdiales; el personal de la oficina regional de Playas, William E. Paladines Proaño y Felix F. Cruz Vargas; a los programas nacionales de observadores de Ecuador y Panamá, y a Dan W. Fuller, por su esfuerzo para ayudar a garantizar el éxito del estudio piloto del PRM, a Marti McCracken por sus provechosas conversaciones sobre el muestreo del estudio y sus comentarios sobre este documento, y a la industria pesquera y las autoridades ecuatorianas por su colaboración en todos los aspectos de este proyecto.

## REFERENCIAS

- Cochran, W.G., 1977. Sampling Techniques, third ed. John Wiley and Sons, New York. 428 pp.
- Lennert-Cody, C.E., McCracken, M., Siu, S., Oliveros-Ramos, R., Maunder, M.N., Aires-da-Silva, A., Miguel, Carvajal Rodrigues, J. M., Opsomer, J. 2022. Single-cluster sampling designs for shark catch size composition in a Central American longline fishery. Fisheries Research 251 (2022) 106320. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106320>
- 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/>.
- Bob Wheeler and Marco Torchiano (2016). ImPerm: Permutation Tests for Linear Models. R package version 2.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ImPerm>

**TABLE 1.** Percentage of all EPO BET catch of Class 1 – 6 vessels (observer and logbook data; IATTC Catch and Effort (CAE) database), that was produced annually by OBJ sets made west of 110°W, 2015-2021.

**TABLA 1.** Porcentaje de toda la captura de BET del OPO de buques de clases 1 a 6 (datos de observadores y de bitácora; base de datos de Captura y Esfuerzo (CAE) de la CIAT), que fue producida anualmente por lances OBJ realizados al oeste de 110°O, en el periodo 2015–2021.

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
52%	74%	65%	58%	74%	74%	76%

**TABLE 2.** Number of fully-sampled wells (sampled at both 1-out-of-10 and 1-out-of-8), by set type (OBJ; unassociated, NOA) and area (west/east of 110°W) of the catch in the well, for Phase 1 of the EMP pilot study. \*: One well with OBJ catch from both east and west of 110°W, unloaded with standard methods, was also sampled, for a total of 71 wells of standard unloadings.

**TABLA 2.** Número de bodegas muestreadas en su totalidad (tanto con los protocolos 1 de 10 como 1 de 8), por tipo de lance (OBJ; no asociado, NOA) y área (oeste/este de 110°O) de la captura en la bodega, para la Fase 1 del estudio piloto del PRM. \*: También se muestreó una bodega con captura OBJ tanto al este como al oeste de 110°O, descargada con métodos estándar, para un total de 71 bodegas de descargas estándar.

Método de descarga	Al oeste de 110° O	Al este de 110° O	Total
Descargas estándar			
OBJ	44	22	66
NOA	1	1	2
OBJ-NOA mixtos	0	2	2
Total	45	25	70*
Descargas de redes de carga			
OBJ	4	3	7
NOA	0	1	1
Total	4	4	8

**TABLE 3.** Results from the within-well simulations for the 39 sampled OBJ-set wells (sampled at 1-out-of-10) with catch west of 110°W. The error range of each protocol, across all cluster samples of all wells in the simulation, is shown in parentheses in the second column. Note that a difference in percent of 2.5641 (= 100\*(1/39)) corresponds to a difference of 1 well.

**TABLA 3.** Resultados de las simulaciones dentro de la bodega para las 39 bodegas muestreadas de lances OBJ (muestreadas con el protocolo 1 de 10) con capturas al oeste de 110°O. El rango de error de cada protocolo, en todas las muestras de conglomerados de todas las bodegas de la simulación, se muestra entre paréntesis en la segunda columna. Obsérvese que una diferencia porcentual de 2.5641 (= 100\*(1/39)) corresponde a una diferencia de 1 bodega.

Protocolo simulado	% de bodegas con error absoluto promedio > 0.05 (rango de error, todas las muestras de conglomerados y bodegas)	% de bodegas con error relativo absoluto promedio > 0.20
5 % (1 de 2)	10.2564 (-7.5 % a 6.8 %)	7.6923
3.33 % (1 de 3)	17.9487 (-11.0 % a 11.8 %)	7.6923
2.5 % (1 de 4)	15.3846 (-13.7 % a 13.5 %)	12.8205
2 % (1 de 5)	30.7692 (-15.1 % a 16.5 %)	25.6410



**TABLE 4.** Estimates of BET for the dominant catch stratum of each trip sampled in Phase 2 of EMP pilot study. Approximate 95% confidence intervals (CI) are based on the assumption that the estimated proportion of BET, which is a ratio estimate, is approximately normally distributed. "s.e": standard error. Catch amounts are in metric tons. Trip labels (first column) match those shown in bottom panel of Figure 21.

**TABLA 4.** Estimaciones de BET para el estrato de captura dominante de cada viaje muestreado en la Fase 2 del estudio piloto del PRM. Los intervalos de confianza (IC) aproximados del 95% se basan en el supuesto de que la proporción estimada de BET, que es una estimación de razón, tiene una distribución aproximadamente normal. "s.e": error estándar (por sus siglas en inglés). Las cantidades de las capturas se expresan en toneladas métricas. Las identificaciones de los viajes (primera columna) coinciden con las que se muestran en el panel inferior de la Figura 21.

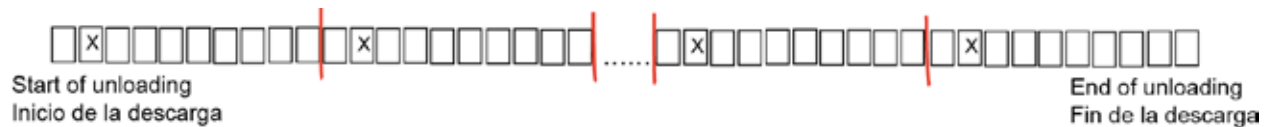
Viaje	Estrato (% de captura de atunes tropicales del viaje en el estrato)	Número de bodegas muestreadas (de las que se podían muestrear)	Estimación de la proporción de BET del PRM	Estimación de BET del PRM (redondeado a toneladas enteras)	IC aproximado del 95% para BET (Est +/- 1,96*s.e.)	RDL BET
A	Lances OBJ al oeste de 110°O (100%)	6 de 18	0.397 (s.e. = 0.0875)	538 t (s.e. = 118.693; CV = 0.22)	(306 t, 771 t)	149 t
B	Lances OBJ al oeste de 110°O (29%)	4 de 4	0.055 (s.e. = 0.0195)	18 t (s.e. = 6.386; CV = 0.35)	(5 t, 31 t)	32 t
C	Lances OBJ al oeste de 110°O (98%)	6 de 20	0.232 (s.e. = 0.0702)	292 t (s.e. = 88.168; CV = 0.30)	(119 t, 465 t)	325 t
D	Lances OBJ 95° O – 110°O (97%)	6 de 15	0.0009 (s.e. = 0.00691)	1 t (s.e. = 0.629; CV = 0.74)	(0 t, 2 t)	10 t
E	Lances OBJ 95° O – 110°O (83%)	6 de 11	0.131 (s.e. = 0.0429)	71 t (s.e. = 23.367; CV = 0.33)	(25 t, 117 t)	90 t
F	Lances OBJ 95° O – 110°O (40%)	4 de 8	0.392 (s.e. = 0.0981)	236 t (s.e. = 59.125; CV = 0.25)	(121 t, 352 t)	170 t
G	Lances OBJ 95°O – 110°O (63%)	5 de 5	0.192 (s.e. = 0.0628)	81 t (s.e. = 26.644; CV = 0.39)	(19 t, 123 t)	14 t
H	Lances OBJ 95°O – 110°O (77%)	5 de 7	0.289 (s.e. = 0.0962)	146 t (s.e. = 48.504; CV = 0.33)	(51 t, 241 t)	98 t

I	Lances OBJ al este de 95° O (84 %)	4 de 10	0.311 (s.e. = 0.1128)	353 t (s.e. = 128.395; CV = 0.36)	(102 t, 605 t)	109 t
J	Lances OBJ al este de 95° O (91 %)	6 de 14	0.147 (s.e. = 0.0560)	204 t (s.e. = 77.650; CV = 0.38)	(51 t, 356 t)	169 t

**TABLE 5.** Estimated slopes from generalized linear models (GLMs) fitted between trip-level catch estimates from cannery data and catch estimates from the IATTC CAE data base (observer and logbook data) (Class-6 vessels only). The analysis, which was limited to trips with any BET catch in the cannery data, resulted in a loss of BET catch from the CAE of 1% – 2.3%, depending on the year; to avoid this restriction, mixture models may be used in the future for a more refined comparison (see Section B). GLM specifics: the model fitted was cannery catch =  $\beta_0 + \beta_1 * \text{CAE catch}$ , with gamma error and identity link function. “Tropical tuna”: YFT + SKJ + BET; “% Dev”: percent deviance explained by the model; “s.e.”: standard error; “p”: p-value. Catches per trip for 2019 are shown in Figures 22 – 23. The p-values, for a test of Ho: the slope from the model for BET is 1.0, were all less than 0.01.

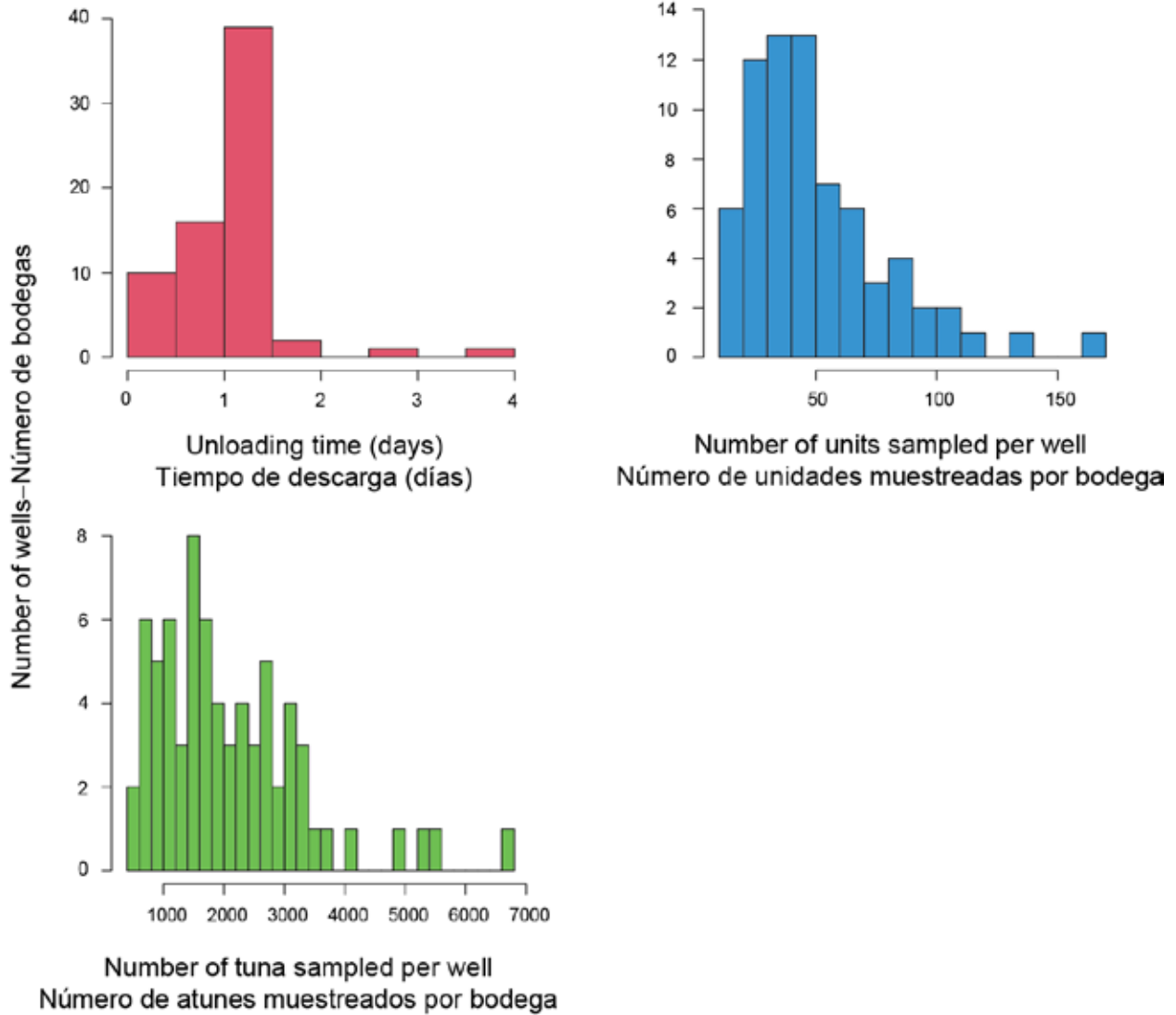
**TABLA 5.** Pendientes estimadas a partir de modelos lineales generalizados (MLG) ajustados entre las estimaciones de captura a nivel de viaje de los datos de enlatadoras y las estimaciones de captura de la base de datos CAE de la CIAT (datos de observadores y de bitácora) (solo buques de clase 6). El análisis, que se limitó a los viajes con alguna captura de BET en los datos de enlatadoras, dio como resultado una pérdida en la captura de BET de CAE del 1%- 2.3%, dependiendo del año; para evitar esta restricción, es posible que en el futuro se utilicen modelos mixtos para una mejor comparación (ver la Sección B). Especificaciones del MLG: el modelo ajustado fue de captura de enlatadoras =  $\beta_0 + \beta_1 * \text{captura de CAE}$ , con error gamma y función de enlace de identidad. “Atunes tropicales”: YFT + SKJ + BET; “% Dev”: desviación porcentual explicada por el modelo; “s.e.”: error estándar; “p”: valor p. Las capturas por viaje para 2019 se muestran en las Figuras 22 y 23. Los valores p, para una prueba de Ho: la pendiente del modelo para BET es 1.0, todos fueron inferiores a 0.01.

Año (número de viajes)	MLG de BET		MLG de atunes tropicales	
	Pendiente estimada	% Dev	Pendiente estimada	% Dev
2015 (232)	0.64 (s.e. = 0.104;< 0.01)	54%	0.96 (s.e. = 0.005;< 0.01)	99%
2016 (221)	0.64 (s.e. = 0.049;< 0.01)	62%	0.96 (s.e. = 0.007;< 0.01)	98%
2017 (250)	0.79 (s.e. = 0.083;< 0.01)	58%	0.97 (s.e. = 0.004;< 0.01)	99%
2018 (230)	0.74 (s.e. = 0.053;< 0.01)	69%	0.99 (s.e. = 0.008;< 0.01)	99%
2019 (201)	0.75 (s.e. = 0.061;< 0.01)	69%	0.96 (s.e. = 0.005;< 0.01)	98%

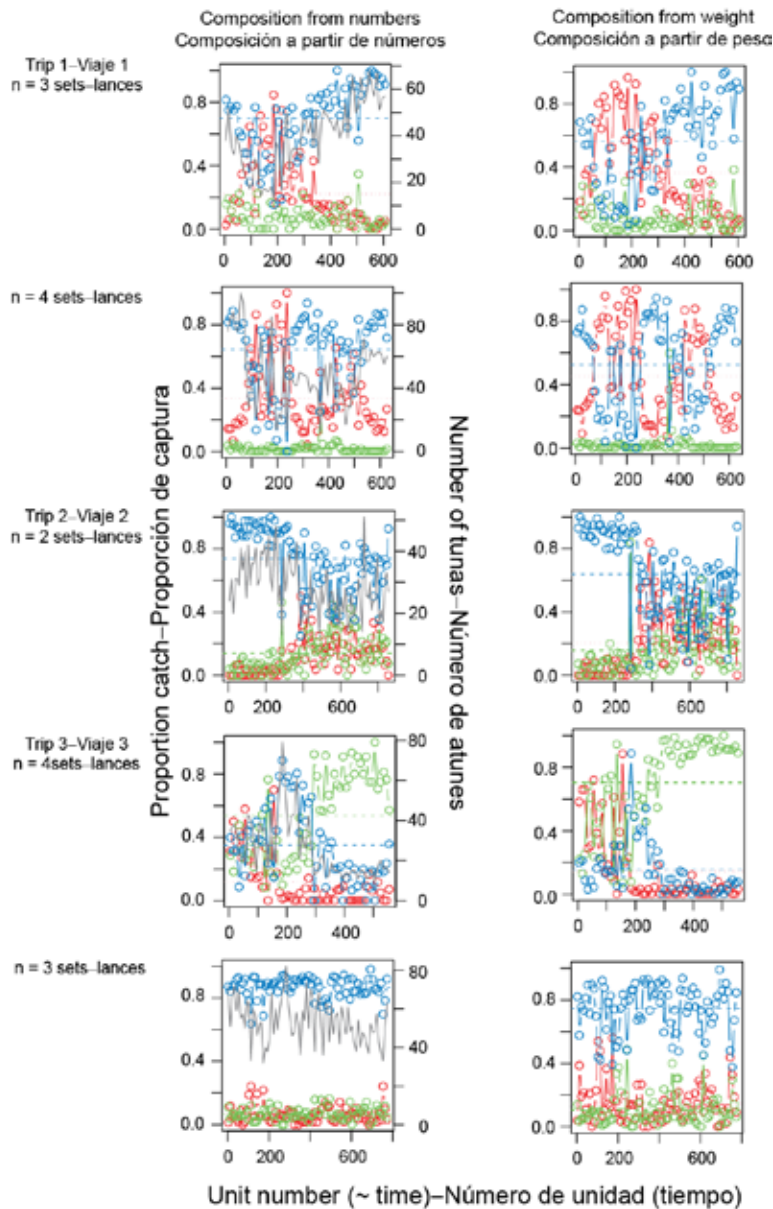


**FIGURE 1.** Schematic illustrating the EMP pilot study intensive sampling protocol for standard unloadings. Each rectangle represents a unit of fish. A unit was defined as either a physical container full of fish or a fixed number of fish unloaded individually from the well. The red vertical lines delineate consecutive blocks of 10 units. Each “X” indicates a unit that would be sampled, starting from the second unit (selected randomly out of the first 10 units), and then sampling every subsequent 10<sup>th</sup> unit from that random starting point (i.e., sampling units 2 (selected at random), unit 12, unit 22, unit 32, etc.).

**FIGURA 1.** Diagrama que ilustra el protocolo de muestreo intensivo del estudio piloto del PRM para descargas estándar. Cada rectángulo representa una unidad de peces. Una unidad se define como un contenedor físico lleno de peces o un número fijo de peces que se descargan de la bodega de manera individual. Las líneas verticales rojas delimitan bloques consecutivos de 10 unidades. Cada “X” indica una unidad que se muestrearía, empezando por la segunda unidad (seleccionada aleatoriamente de entre las 10 primeras unidades) y, posteriormente, muestreando cada 10 unidades subsecuentes a partir de ese punto de partida aleatorio (es decir, muestreando las unidades 2 (seleccionada aleatoriamente), la unidad 12, la unidad 22, la unidad 32, etc.).

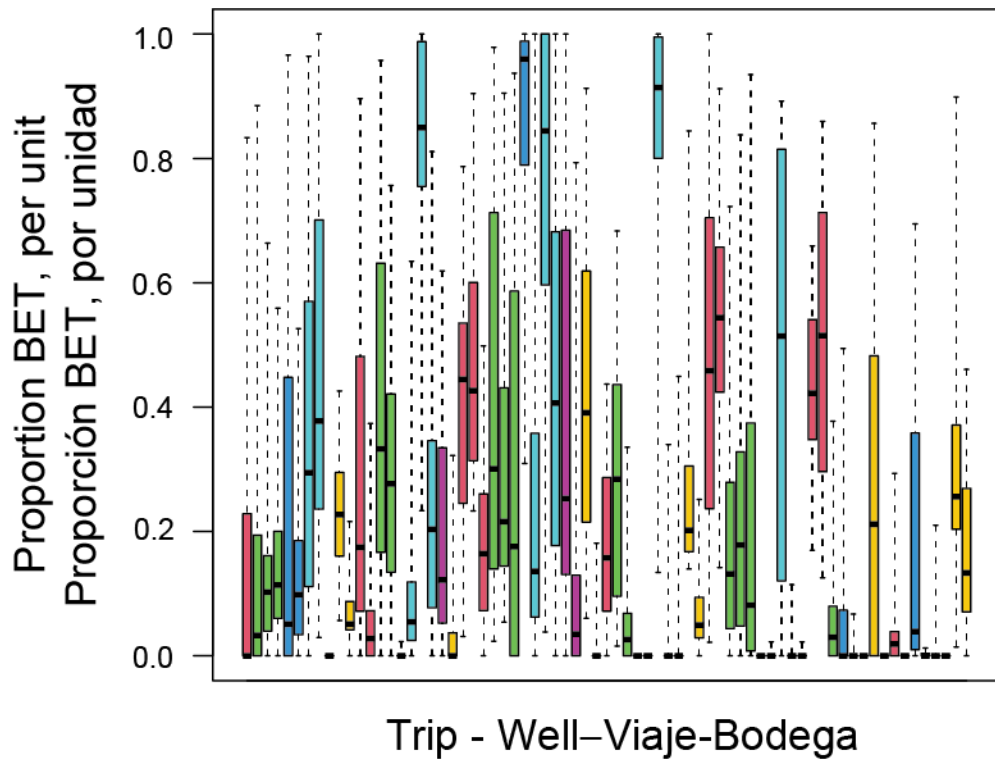


**FIGURE 2.** Histograms showing the unloading times (top left), numbers of units sampled (top right) and numbers of tuna sampled (bottom left), for the 71 intensively sampled standard-unloading wells of Phase 1.  
**FIGURA 2.** Histogramas que muestran los tiempos de descarga (arriba a la izquierda), el número de unidades muestreadas (arriba a la derecha) y el número de atunes muestreados (abajo a la izquierda), para las 71 bodegas de descarga estándar que se muestrearon intensivamente en la Fase 1.



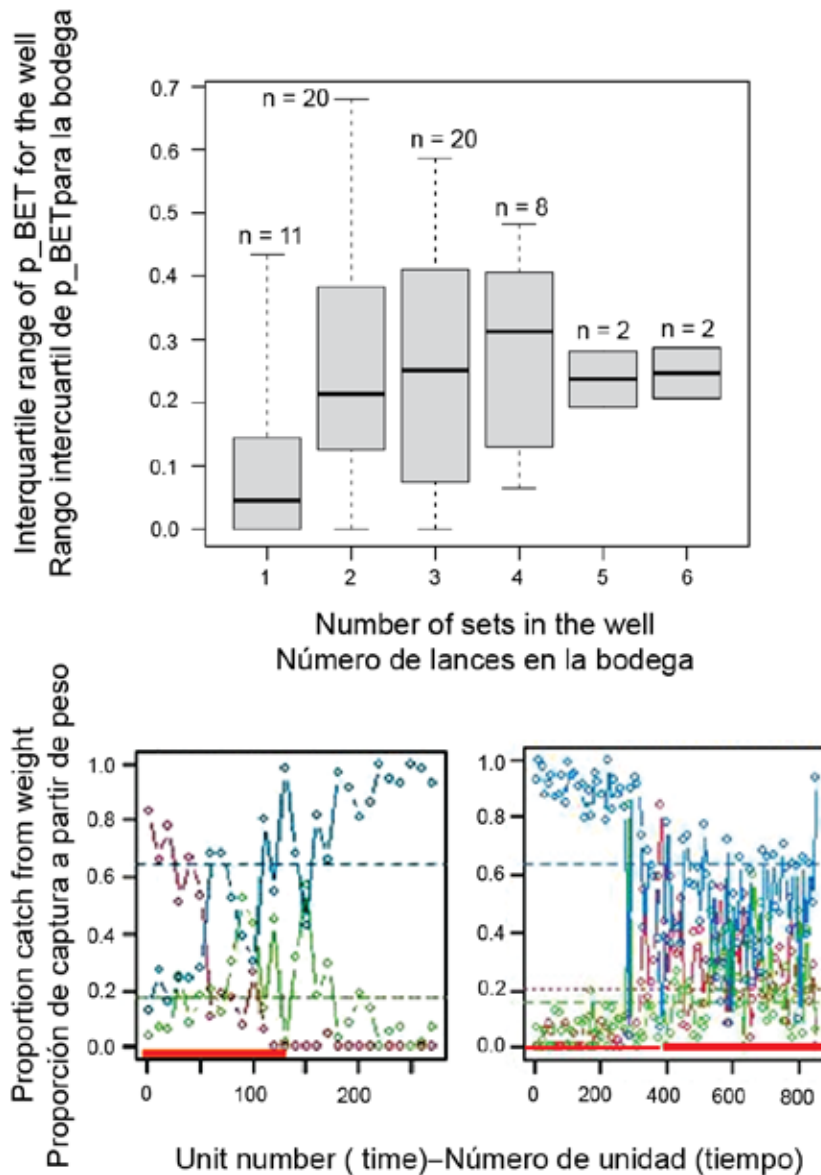
**FIGURE 3.** Tropical tuna species composition, by sampled unit, computed from numbers of fish (left-hand side) and from weight (right-hand side), for 6 standard-unloading wells of three trips (each row is a different well). There are two wells shown for Trip 1, one well for Trip 2, and 2 wells for Trip 3. Red: BET; green: YFT; blue: SKJ; gray: number of the three species combined. Dashed lines indicate the average species proportion (computed over sampled units of the well). The x-axis shows the unit number, from the start (left) to the end (right) of the unloading. 'n': number of purse-seine sets associated with the catch in the well.

**FIGURA 3.** Composición por especie de atunes tropicales, por unidad muestreada, calculada a partir del número de peces (lado izquierdo) y del peso (lado derecho), para seis bodegas de descarga estándar de tres viajes (cada fila es una bodega diferente). Se muestran dos bodegas para el Viaje 1, una para el Viaje 2 y dos para el Viaje 3. Rojo: BET; verde: YFT; azul: SKJ; gris: número de las tres especies combinadas. Las líneas punteadas indican la proporción promedio (calculada a partir de las unidades muestreadas de la bodega). El eje x muestra el número de la unidad, desde el inicio (izquierda) hasta el final (derecha) de la descarga. 'n': número de lances de cerco asociados a la captura en la bodega.



**FIGURE 4.** Box-and-whisker plots of the proportion of BET, per sampled unit, for each of the 71 standard-unloading wells. Each box-and-whisker plot represents a separate well. Wells sampled from the same trip are arranged consecutively and have the same color. Horizontal black bars indicate the median proportion, the colored box indicates the interquartile range, and the whiskers extend to the extremes of the unit proportions for the well.

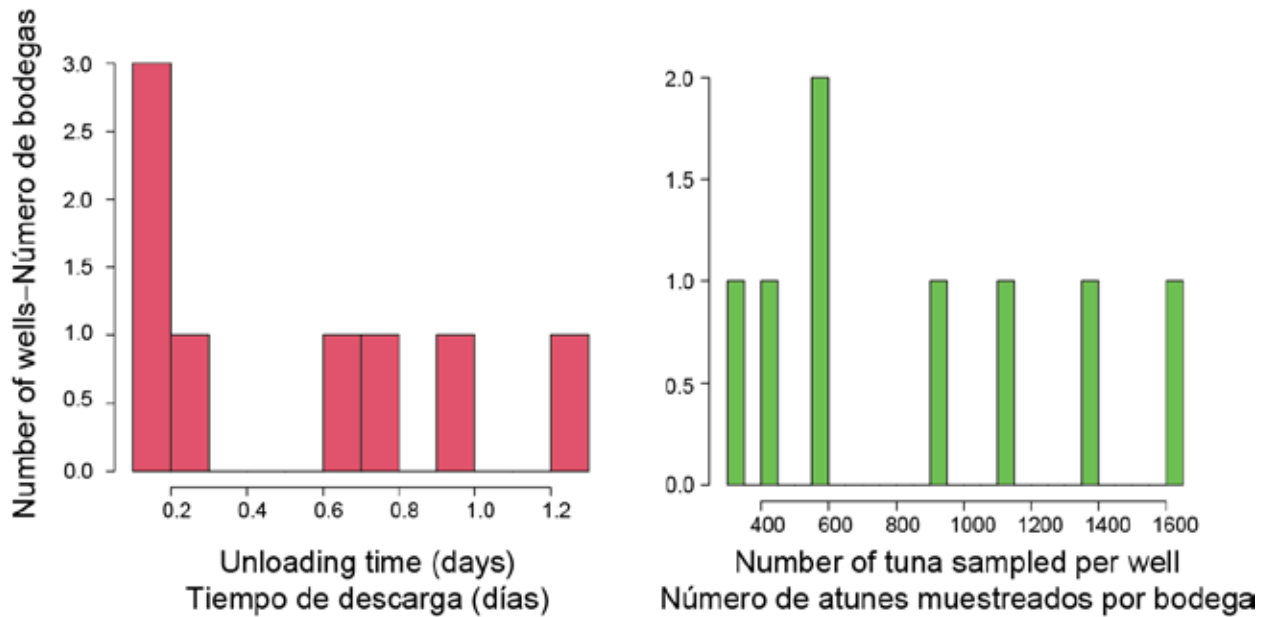
**FIGURA 4.** Gráfica de cajas y bigotes de la proporción de BET, por unidad muestreada, para cada una de las 71 bodegas de descarga estándar. Cada gráfica representa una bodega distinta. Las bodegas muestreadas del mismo viaje se ordenan consecutivamente y tienen el mismo color. Las barras negras horizontales indican la proporción mediana, la caja de color indica el rango intercuartil y los bigotes se extienden hasta los extremos de las proporciones de la unidad de la bodega.



**FIGURE 5.** Box-and-whisker plots (top) of the interquartile ranges of the proportion of BET by unit ('p-BET'), for standard-unloading wells that had any amount of BET, grouped according to the number of purse-seine sets from which catch was loaded into the well ('n': number of wells). The interquartile range is the difference between the values of the proportion of BET that correspond to the upper and lower edges of the colored boxes shown in Figure 4. (bottom) Two examples of species composition per sampled unit (from weight), along with a qualitative indicator of the distribution of BET loaded into the well (orange bar; the thicker the bar, the more BET per set); catch in these two wells was from OBJ sets.

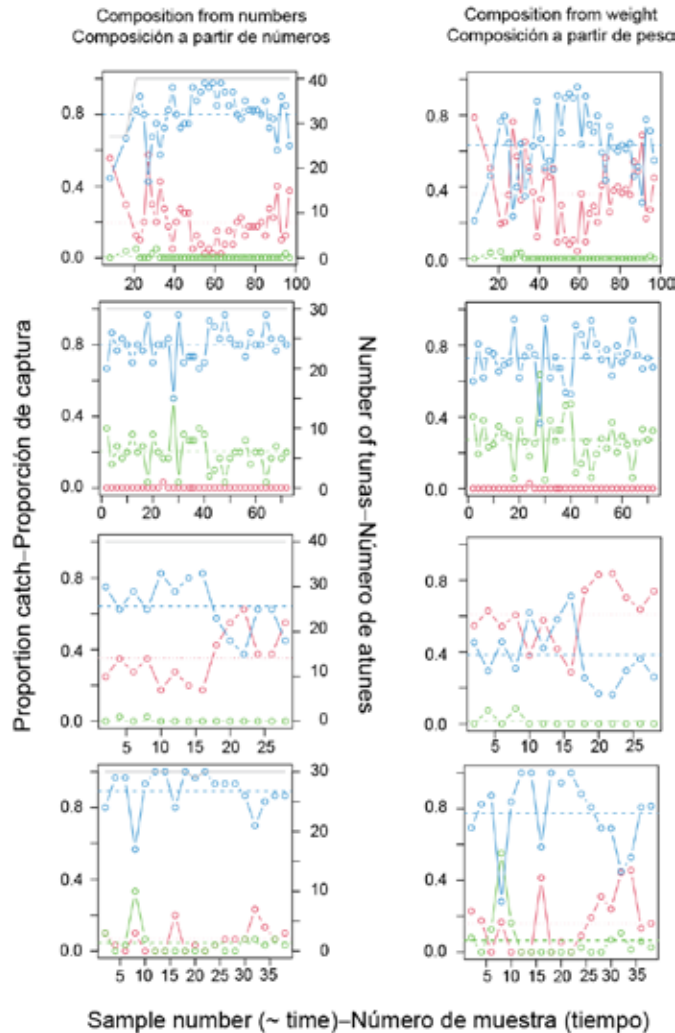
**FIGURA 5.** Gráficas de cajas y bigotes (arriba) de los rangos intercuartiles de la proporción de BET por unidad ('p-BET'), para las bodegas de descarga estándar que tenían cualquier cantidad de BET, agrupadas según el número de lances de cerco de los que se cargaron las capturas en la bodega ('n': número de bodegas). El rango intercuartil es la diferencia entre los valores de la proporción de BET que corresponden a los bordes superior e inferior de las cajas de color que se muestran en la Figura 4. (Abajo) Dos ejemplos de composición por especie por unidad muestreada (a partir del peso), junto con un indicador cualitativo de la distribución de BET cargado en la bodega (barra anaranjada; cuanto más gruesa es la barra, mayor es la cantidad de BET por lance); la captura en estas dos bodegas procedía de lances OBJ.





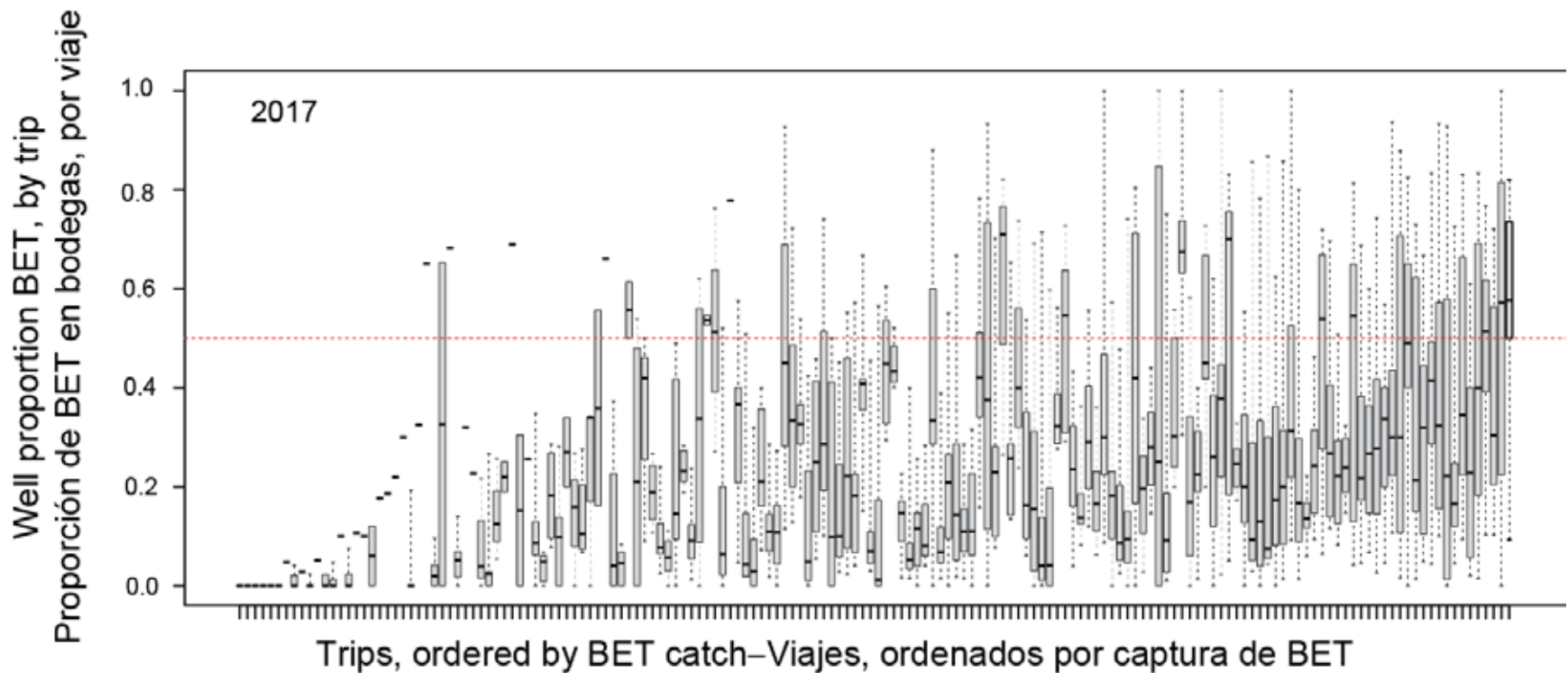
**FIGURE 6.** Histograms showing the unloading times (left) and numbers of tuna sampled (right), for the 8 fully-sampled wells of Phase 1 that were unloaded using cargo nets.

**FIGURA 6.** Histogramas que muestran los tiempos de descarga (izquierda) y el número de atunes muestreados (derecha), para las ocho bodegas muestreadas en su totalidad en la Fase 1 que fueron descargadas utilizando redes de carga.



**FIGURE 7.** Tropical tuna species composition for four wells of 3 trips unloaded using cargo nets, by sampled group of fish ('sample number'), computed from numbers of fish (left-hand side) and from weight (right-hand side). Each row represents a well; the last two rows correspond to two wells from the same trip. With exception of the second well (second row), which had catch from one set, the other three wells were each loaded with catch from two sets. The first three wells had catch from OBJ sets made west of 110°W, and the last from OBJ sets made east of 110°W. Red: BET; green: YFT; blue: SKJ; gray: number of the three species combined. Dashed lines indicate the average species proportion (computed over sampled groups of fish from the well). The x-axis shows the sample number, from the start (left) to the end (right) of the unloading.

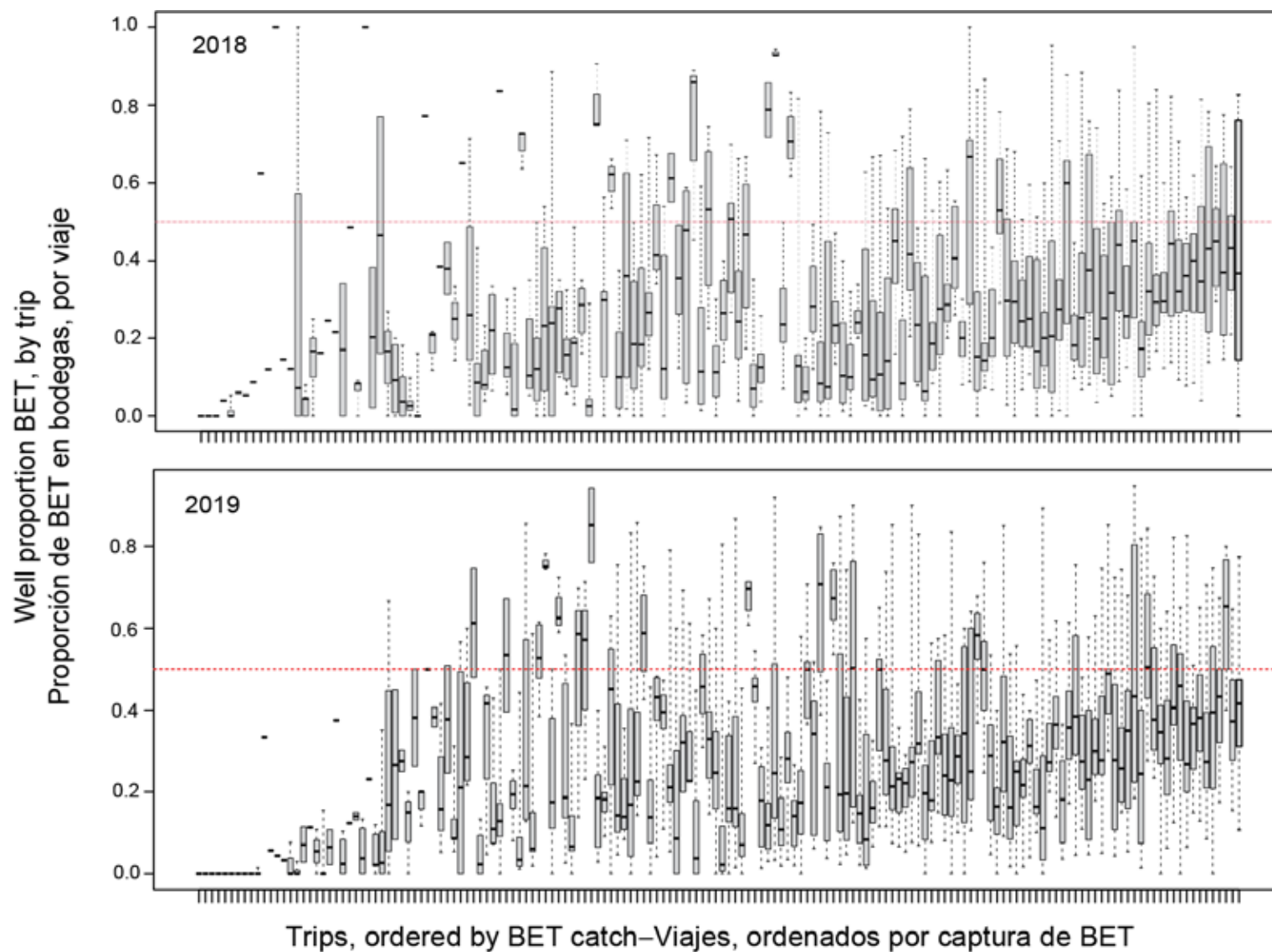
**FIGURA 7.** Composición por especie de atunes tropicales para cuatro bodegas de tres viajes descargados con redes de carga, por grupo de peces muestreados ("número de muestra"), calculada a partir del número de peces (lado izquierdo) y del peso (lado derecho). Cada fila representa una bodega; las dos últimas filas corresponden a dos bodegas del mismo viaje. A excepción de la segunda bodega (segunda fila), que tenía captura de un lance, las otras tres bodegas estaban cargadas con capturas de dos lances cada una. Las tres primeras bodegas tenían captura de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, y la última de lances OBJ realizados al este de 110°O. Rojo: BET; verde: YFT; azul: SKJ; gris: número de las tres especies combinadas. Las líneas punteadas indican la proporción promedio de las especies (calculada a partir de los grupos de peces muestreados de la bodega). El eje x muestra el número de la muestra, desde el inicio (izquierda) hasta el final (derecha) de la descarga.

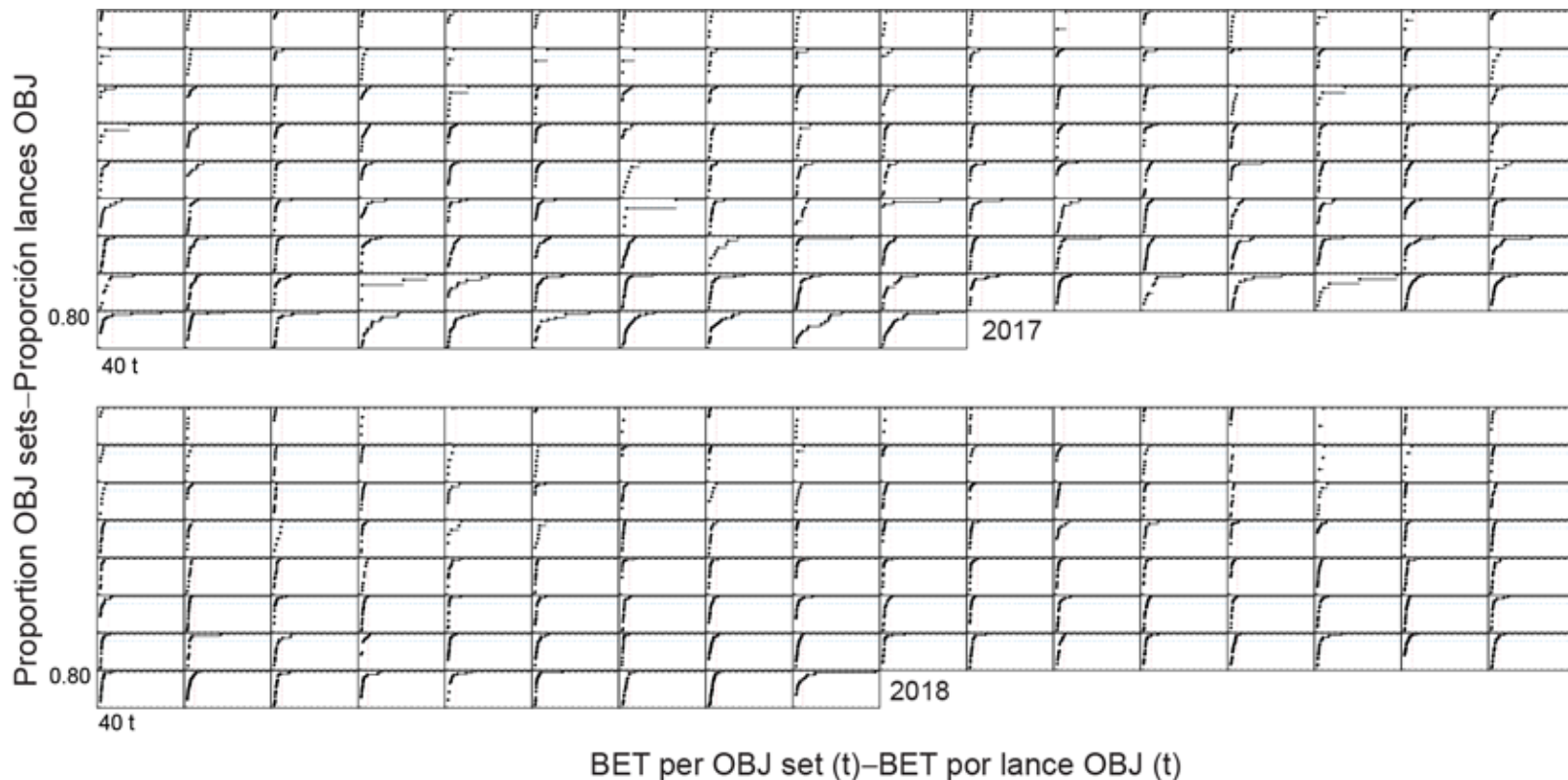


**FIGURE 8.** Box-and-whisker plots of the proportion of BET per well, by trip, from reconstructed RDL observer data, for wells with catch from OBJ sets made west of 110°W, 2017 – 2019. For each year, trips are ordered by BET catch amounts, from smallest (left) to largest (right). Each box-and-whisker plot represents a single trip. The black horizontal bar within each box indicates the median proportion of BET per well for the trip, the box represents the interquartile range (lower 25<sup>th</sup> percentile to upper 75<sup>th</sup> percentile), and the whiskers extend to the largest and smallest values.

**FIGURA 8.** Gráficas de cajas y bigotes de la proporción de BET por bodega, por viaje, a partir de los datos de observadores del RDL reconstruidos, para bodegas con captura de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, en el periodo 2017-2019. Para cada año, los viajes se ordenan por cantidades de captura de BET, de menor (izquierda) a mayor (derecha). Cada gráfica representa una bodega distinta. La barra horizontal negra dentro de cada caja indica la proporción mediana de BET por bodega para el viaje, la caja representa el rango intercuartil (del percentil 25 inferior al percentil 75 superior) y los bigotes se extienden a los valores más grandes y más pequeños.

FIGURA 8. Continuación.

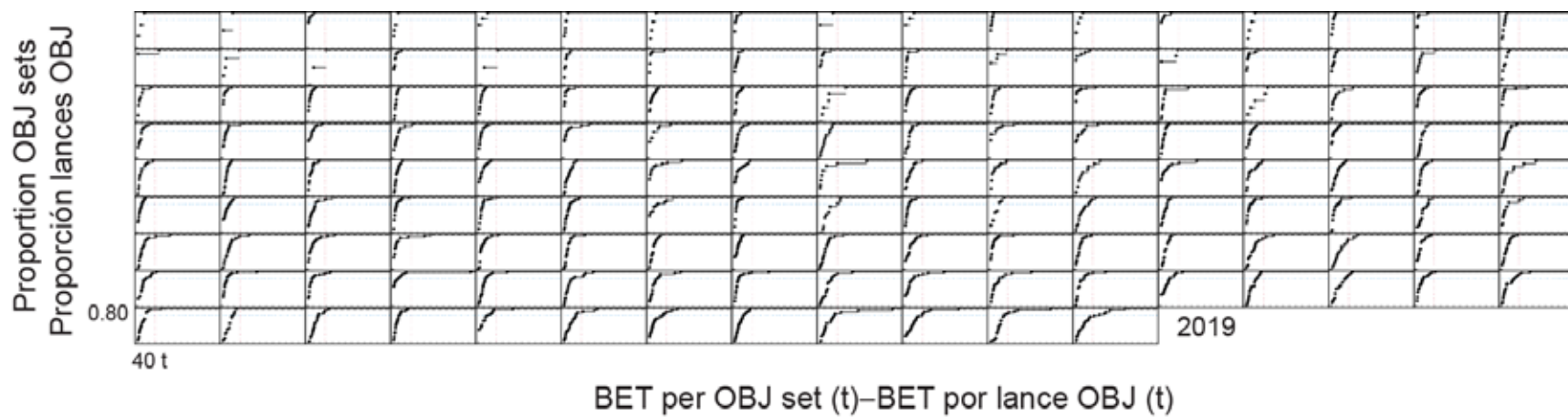


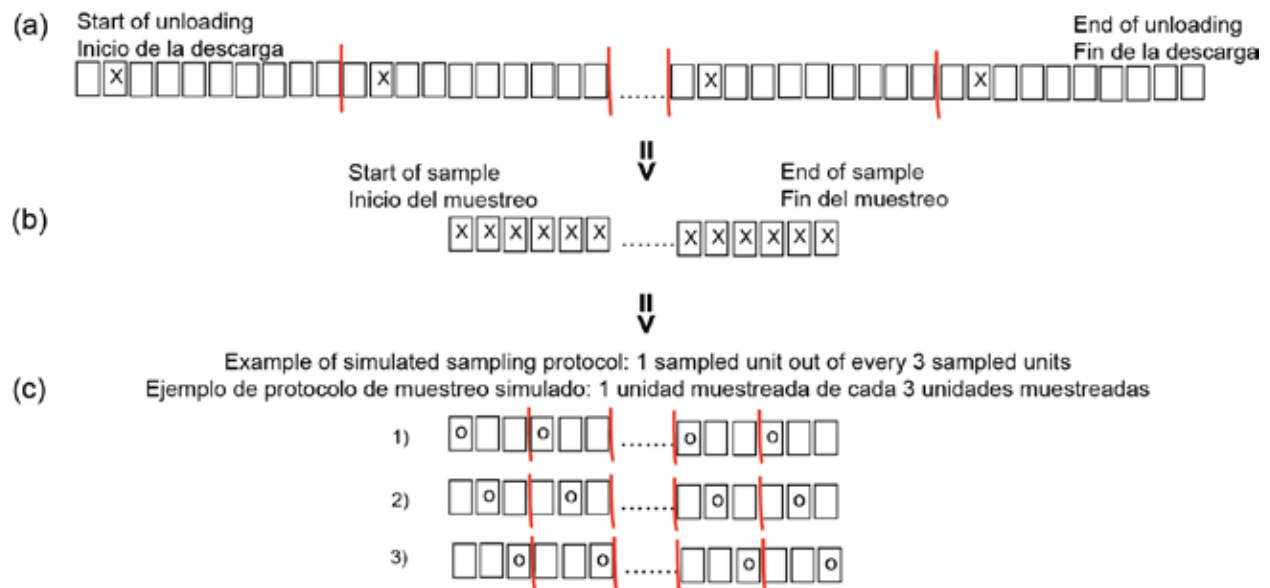


**FIGURE 9.** Empirical cumulative distribution function (ECDF) plots of BET catch per OBJ set, by trip, from reconstructed RDL observer data, for sets made west of 110°W, 2017-2019. Each panel is a trip. Dashed red vertical lines indicate the location on the x-axis for that panel of the value 40 t. Dashed blue horizontal lines indicate the location on the y-axis for that panel of the value 0.80 for the proportion of OBJ sets. Only trips with more than 20 t of BET catch in OBJ sets west of 110°W are shown. Trips are ordered by catch amounts of BET, from lowest (upper left) to greatest (lower right).

**FIGURA 9.** Gráficas de función de distribución acumulativa empírica (ECDF, por sus siglas en inglés) de la captura de BET por lance OBJ, por viaje, a partir de los datos de observadores del RDL reconstruidos, para lances realizados al oeste de 110°O, en el periodo 2017-2019. Cada panel es un viaje. Las líneas rojas punteadas verticales indican la ubicación en el eje x para ese panel del valor 40 t. Las líneas azules punteadas horizontales indican la ubicación en el eje y para ese panel del valor 0.80 para la proporción de lances OBJ. Únicamente se muestran los viajes con más de 20 t de captura de BET en lances OBJ al oeste de 110°O. Los viajes se ordenan por cantidad de captura de BET, de menor (arriba a la izquierda) a mayor (abajo a la derecha).

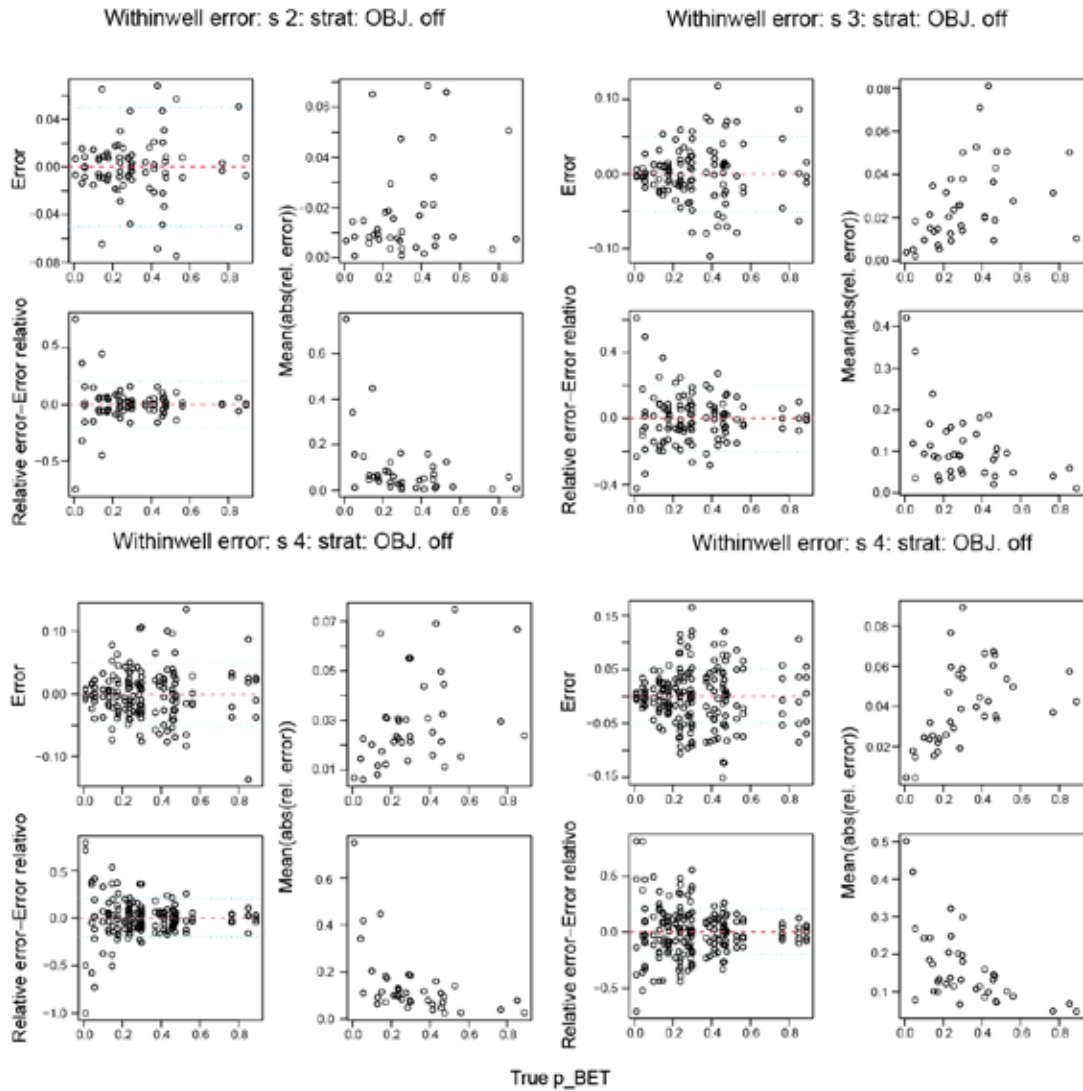
FIGURA 9. Continuación.





**FIGURE 10.** Schematic illustrating the within-well sampling protocols tested with the Phase 1 data. Each rectangle represents a unit of fish (either virtual or physical), and each "X" or "o" indicates a unit that would be sampled. (a) (from Figure 1) Schematic illustrating the EMP pilot study intensive sampling protocol for standard unloadings, sampling every 10<sup>th</sup> unit from a random starting unit (unit #2, in this case); (b) the resulting data set of sampled units from (a); and, (c) the three cluster samples that would be produced from (b) sampling every third sampled unit (i.e., the 1-of-3 protocol).

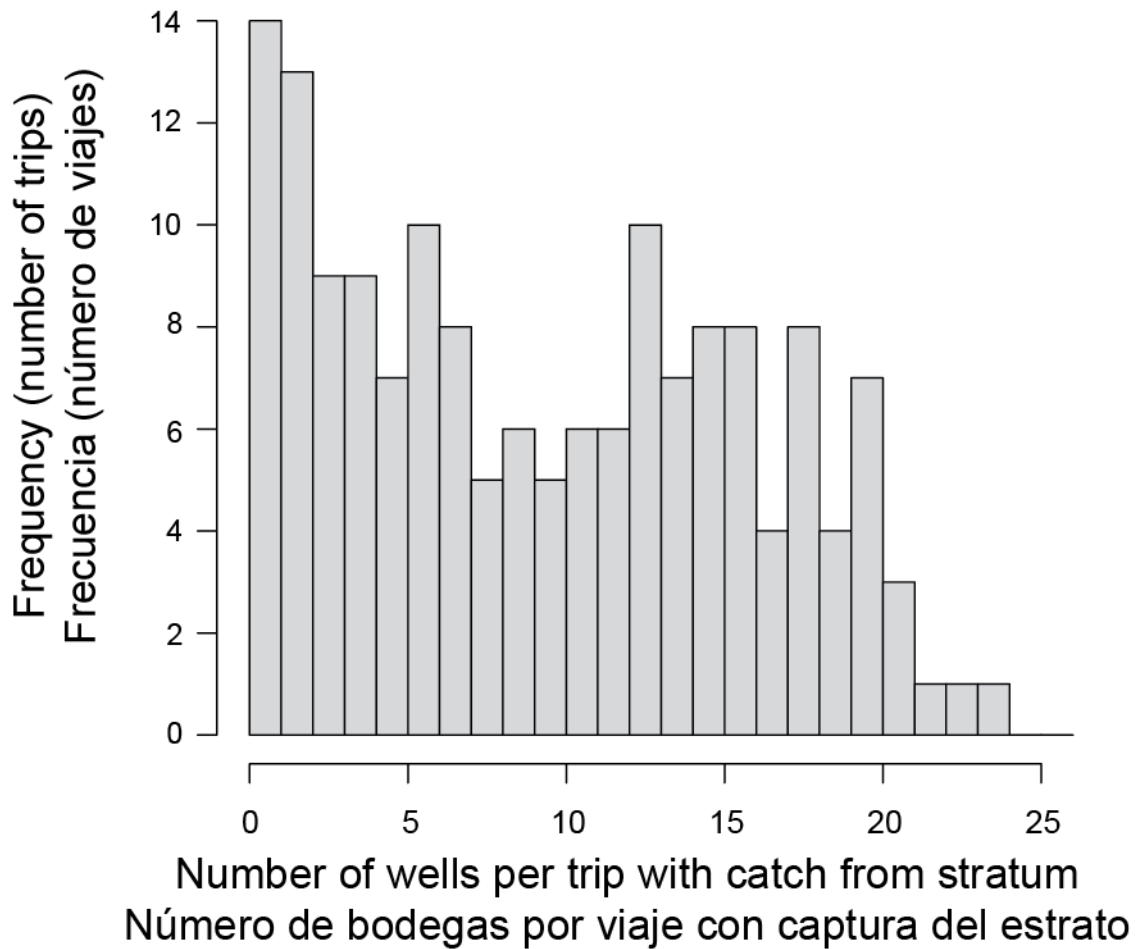
**FIGURA 10.** Diagrama que ilustra los protocolos de muestreo dentro de la bodega que se probaron con los datos de la Fase 1. Cada rectángulo representa una unidad de peces (virtual o física), y cada "X" u "o" indica una unidad que se muestrearía. (a) (de la Figura 1) Diagrama que ilustra el protocolo de muestreo intensivo del estudio piloto del PRM para descargas estándar, muestreando cada 10 unidades a partir de una unidad inicial aleatoria (unidad núm. 2, en este caso); (b) el conjunto de datos resultante de las unidades muestreadas a partir de (a); y (c) las tres muestras de conglomerados que se producirían a partir de (b) muestreando cada tercera unidad muestreada (es decir, el protocolo 1 de 3).



**FIGURE 11.** Within-well simulation results based on Phase 1 data for 5% coverage (1-of-2 units; upper left 2x2 panel), 3.33% coverage (1-of-3 units, upper right 2x2 panel), 2.5% coverage (1-of-4 units; lower left 2x2 panel) and 2% coverage (1-of-5 units; lower right 2x2 panel). In each 2x2 panel of graphs is shown: error (upper left), relative error (lower left), average absolute error (upper right) and average absolute relative error (lower right). 'True p<sub>BET</sub>': the estimate of the proportion of BET in the well from the full intensive sampling data, assumed to be the true proportion of BET in the well. Blue dashed lines are at 0.05 for error and 0.20 for relative error. The red dashed line is at 0.

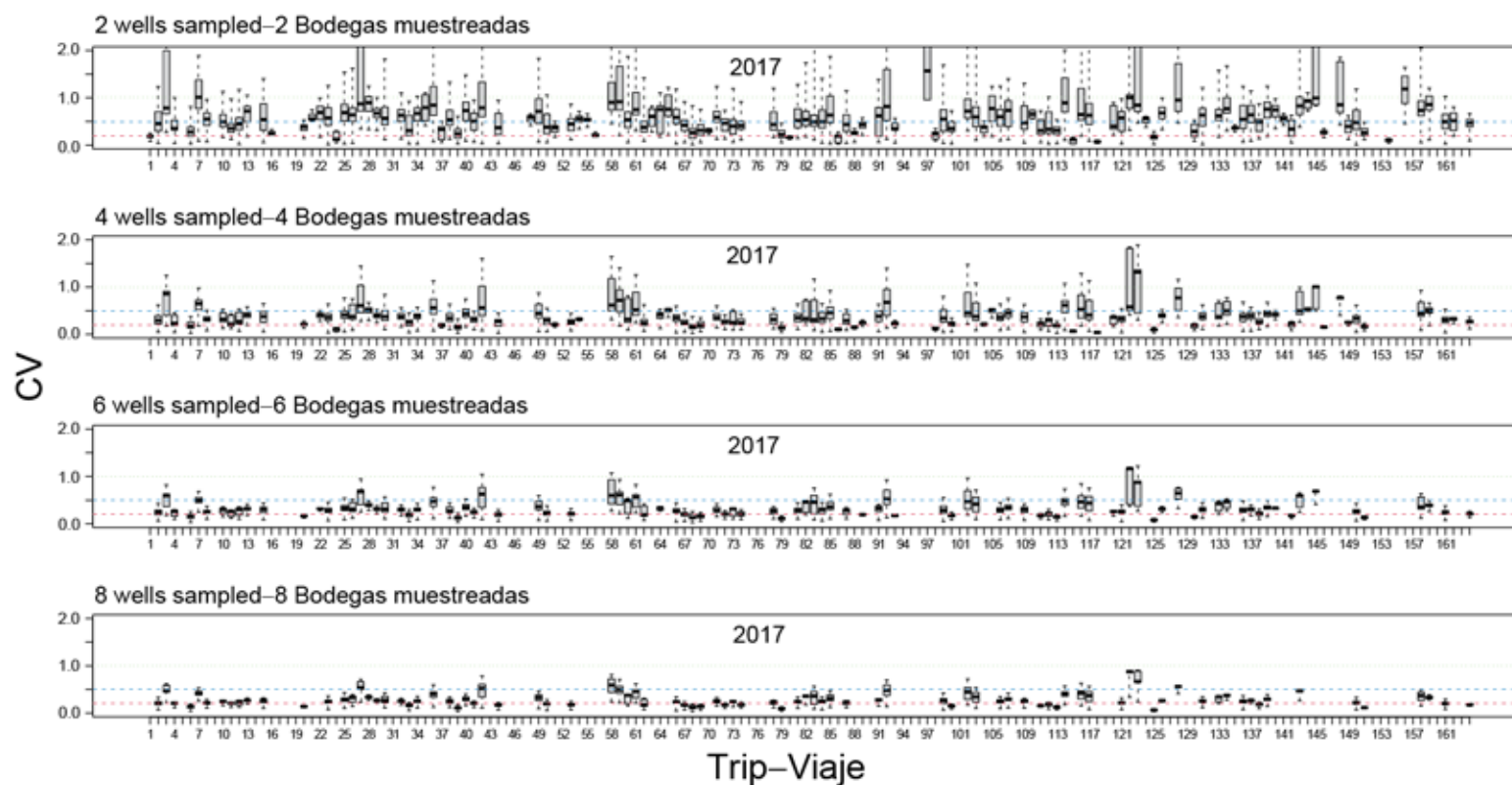
**FIGURA 11.** Resultados de la simulación dentro de la bodega basados en los datos de la Fase 1 para una cobertura del 5% (1 de 2 unidades; panel superior izquierdo de 2x2), una cobertura del 3.33% (1 de 3 unidades; panel superior derecho de 2x2), una cobertura del 2.5% (1 de 4 unidades; panel inferior izquierdo de 2x2) y una cobertura del 2% (1 de 5 unidades; panel inferior derecho de 2x2). En cada panel de gráficas de 2x2 se muestra: error (arriba a la izquierda), error relativo (abajo a la izquierda), error absoluto promedio (arriba a la derecha) y error relativo absoluto promedio (abajo a la derecha). 'True p<sub>BET</sub>': la estimación de la proporción de BET en la bodega a partir de los datos de muestreo intensivo completo, que se supone que es la verdadera proporción de BET en la bodega. Las líneas punteadas azules corresponden a 0.05 para el error y a 0.20 para el error relativo. La línea punteada roja está en 0.





**FIGURE 12.** Number of wells per trip (from the reconstructed RDL observer data) with catch from the stratum OBJ sets made west of 110°W, 2019.

**FIGURA 12.** Número de bodegas por viaje (a partir de los datos de observadores del RDL reconstruidos) con captura de lances OBJ del estrato realizados al oeste de 110°O, 2019.



**FIGURE 13.** Box-and-whisker plots of the coefficient of variation (CV) values for each random sample of 2 wells per trip (top graph), 4 wells per trip (second graph), 6 wells per trip (third graph) and 8 wells per trip (bottom graph), from the simulations based on reconstructed RDL observer data for 2017 – 2019. Red dashed line: CV of 0.2; blue dashed line: CV of 0.5; green dashed line: CV of 1.0. Not all trips had at least 8 wells with catch from the stratum; as the number of wells to sample increases, some trips will not appear in subsequent graphs because the number of wells in the stratum was fewer than the number of wells to sample.

**FIGURA 13.** Gráficas de cajas y bigotes de los valores de coeficiente de variación (CV) para cada muestra aleatoria de dos bodegas por viaje (gráfica superior), cuatro bodegas por viaje (segunda gráfica), seis bodegas por viaje (tercera gráfica) y ocho bodegas por viaje (gráfica inferior), a partir de las simulaciones basadas en los datos de observadores del RDL reconstruidos para el periodo 2017-2019. Línea punteada roja: CV de 0.2; línea punteada azul: CV de 0.5; línea punteada verde: CV de 1.0. No todos los viajes tenían al menos ocho bodegas con captura del estrato; a medida que aumenta el número de bodegas para muestrear, algunos viajes no aparecerán en las siguientes gráficas porque el número de bodegas del estrato era inferior al número de bodegas para muestrear.

FIGURA 13. Continuación.

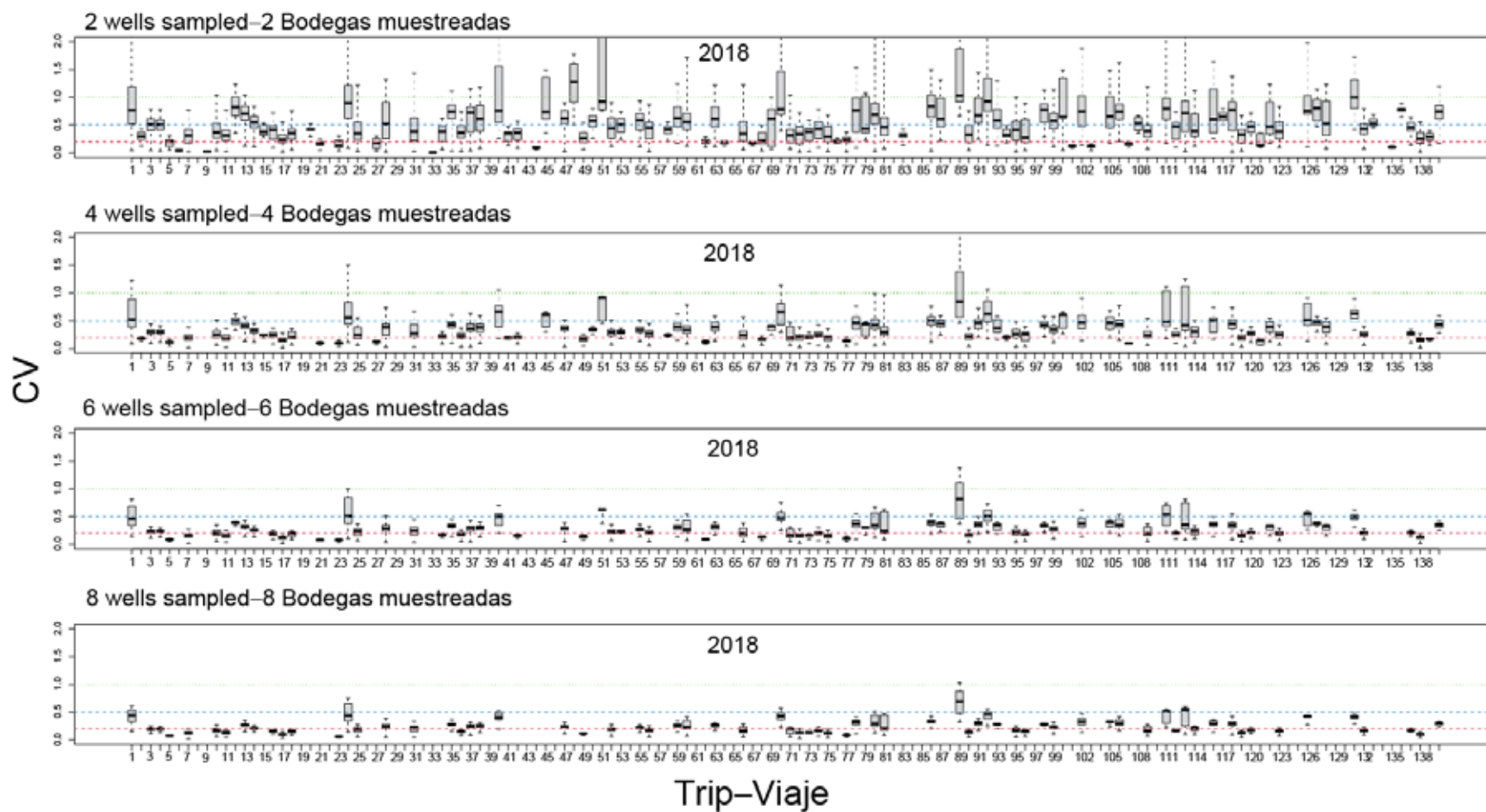
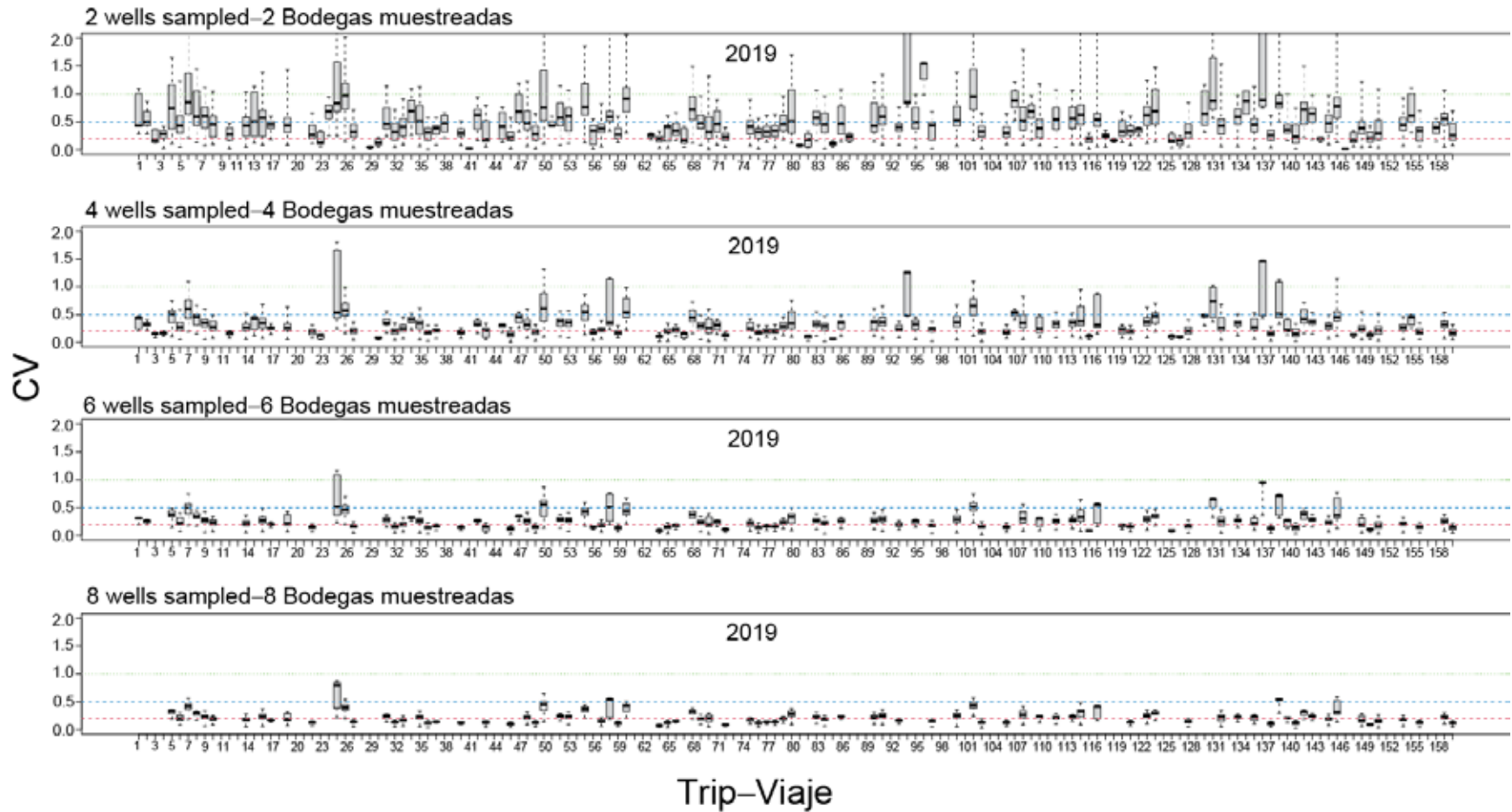
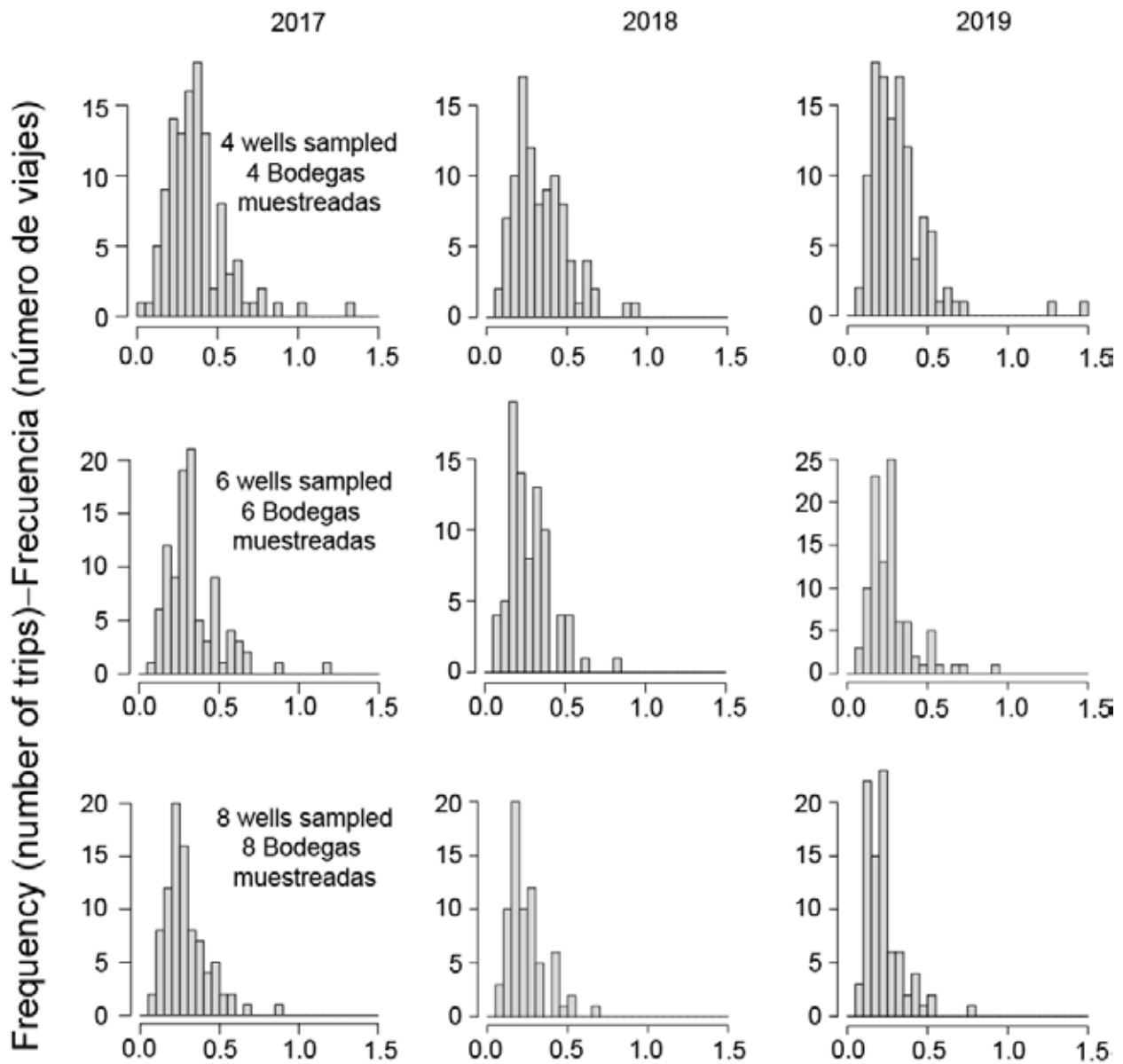


FIGURA 13. Continuación.

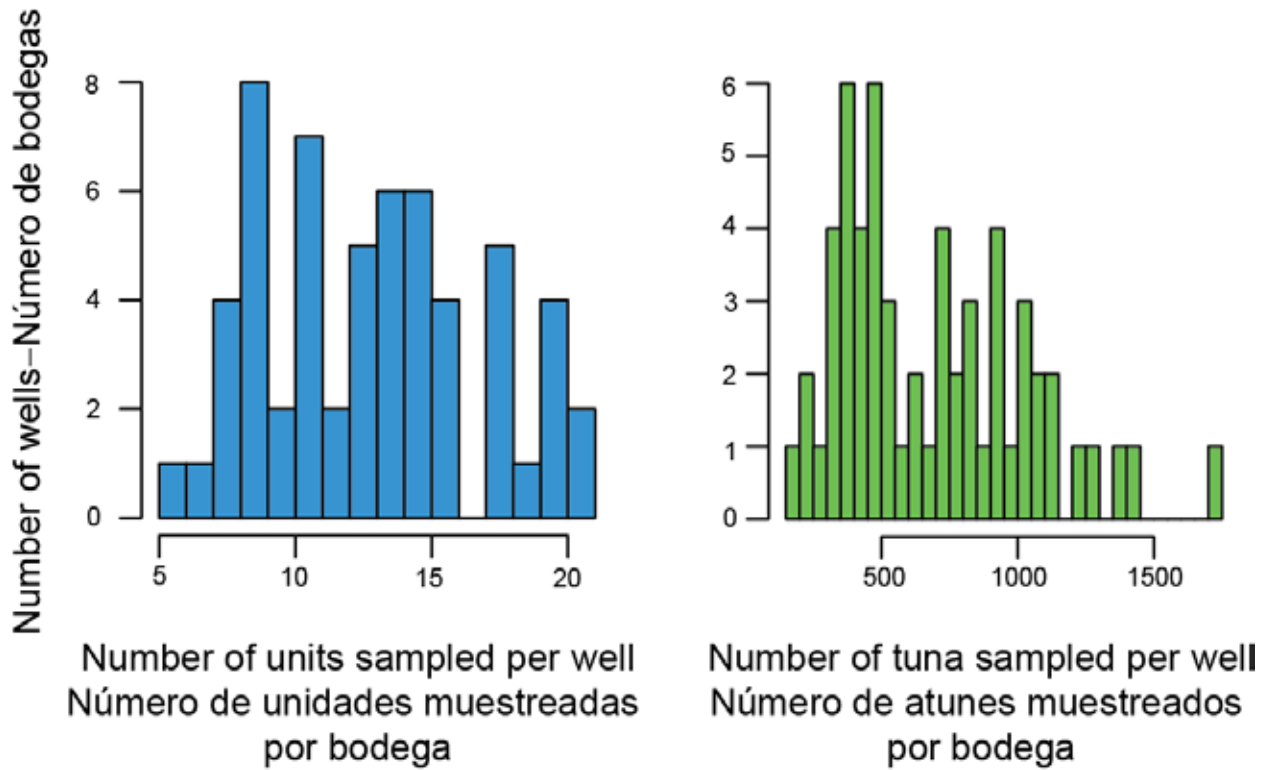




CV: median, by trip—CV: mediana, por viaje

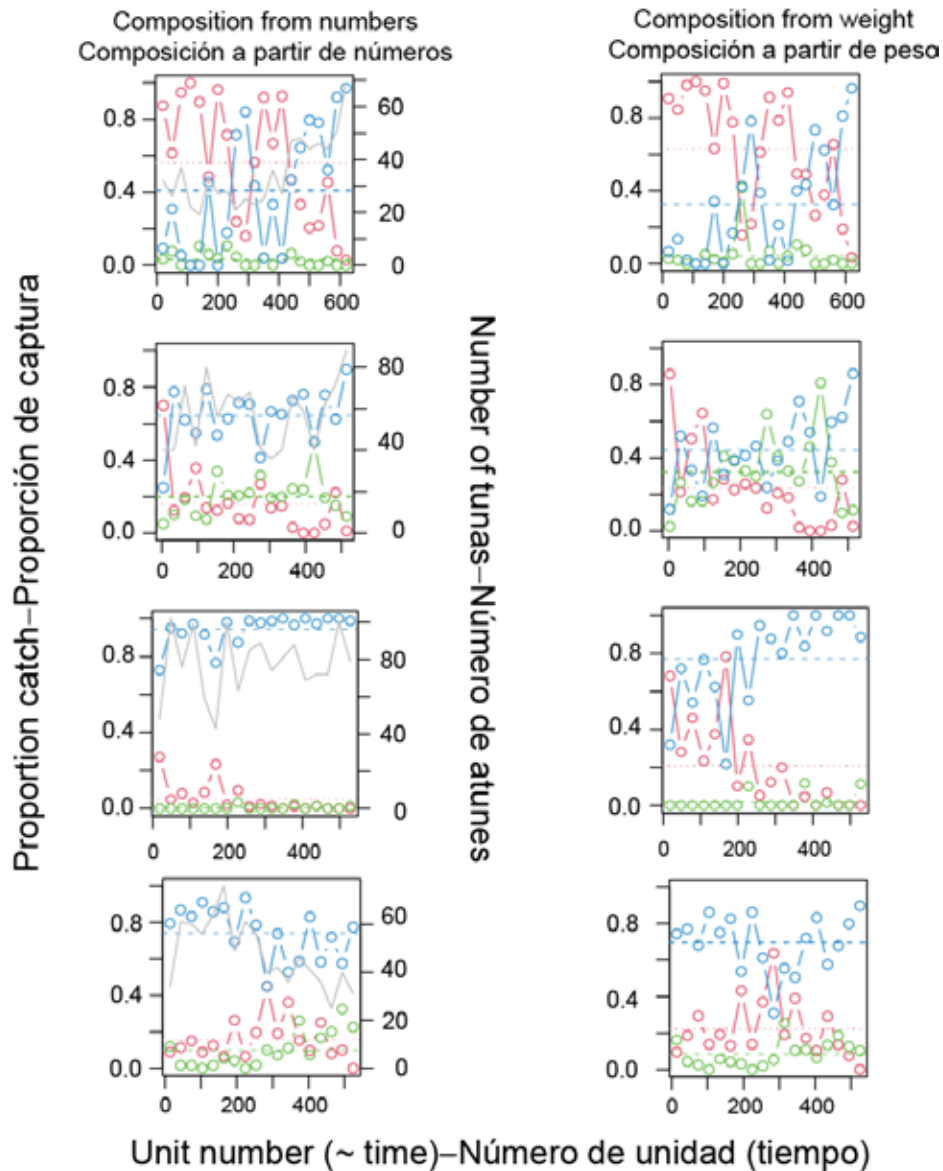
**FIGURE 14.** Histograms of the median CV, by trip, across possible samples of 4 wells (top), 6 wells (middle) and 8 wells (bottom), for wells with catch from OBJ sets made west of 110°W, for 2017 – 2019. These histograms show the distribution of median CV values indicated in Figure 13 by the horizontal black bar within each gray box.

**FIGURA 14.** Histogramas de la mediana del CV, por viaje, a través de posibles muestras de cuatro bodegas (arriba), seis bodegas (centro) y ocho bodegas (abajo), para bodegas con captura de lances OBJ realizados al oeste de 110°O, para el periodo 2017-2019. Estos histogramas muestran la distribución de los valores medianos del CV que se indican en la Figura 13 mediante la barra negra horizontal dentro de cada caja gris.



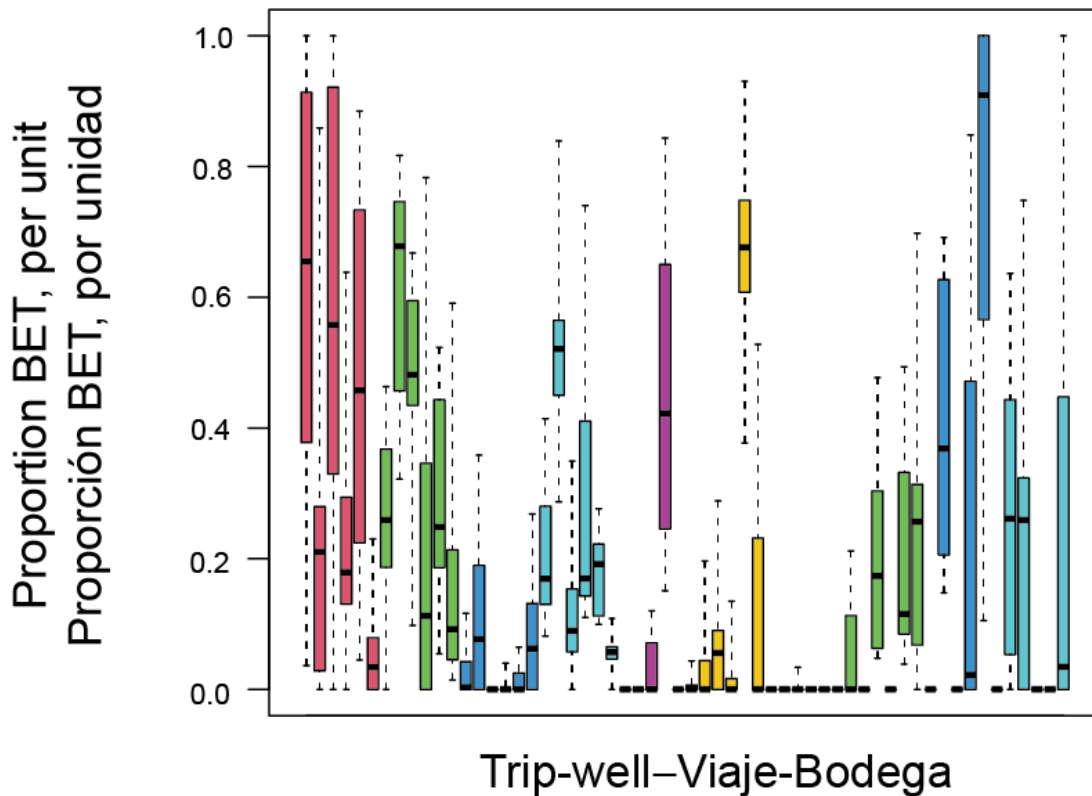
**FIGURE 15.** Number of units sampled per well (left) and number of tuna sampled per well (right) under the preliminary EMP protocol tested in Phase 2.

**FIGURA 15.** Número de unidades muestreadas por bodega (izquierda) y número de atunes muestreados por bodega (derecha) según el protocolo preliminar del PRM que se probó en la Fase 2.



**FIGURE 16.** Tropical tuna species composition, by sampled unit, computed from numbers of fish (left-hand side) and from weight (right-hand side), for 4 wells of the same trip, sampled under the preliminary EMP sampling protocol tested in Phase 2. All four wells contained catch from floating-object sets made west of 110W (4 sets loaded into the well shown in the top panel, and 3 sets into each of the other three wells). **Red:** BET; **green:** YFT; **blue:** SKJ; **gray:** number of tropical tunas. Dashed lines indicate the average species proportion (computed over units). The x-axis shows the unit number, from the start (left) to the end (right) of the unloading.

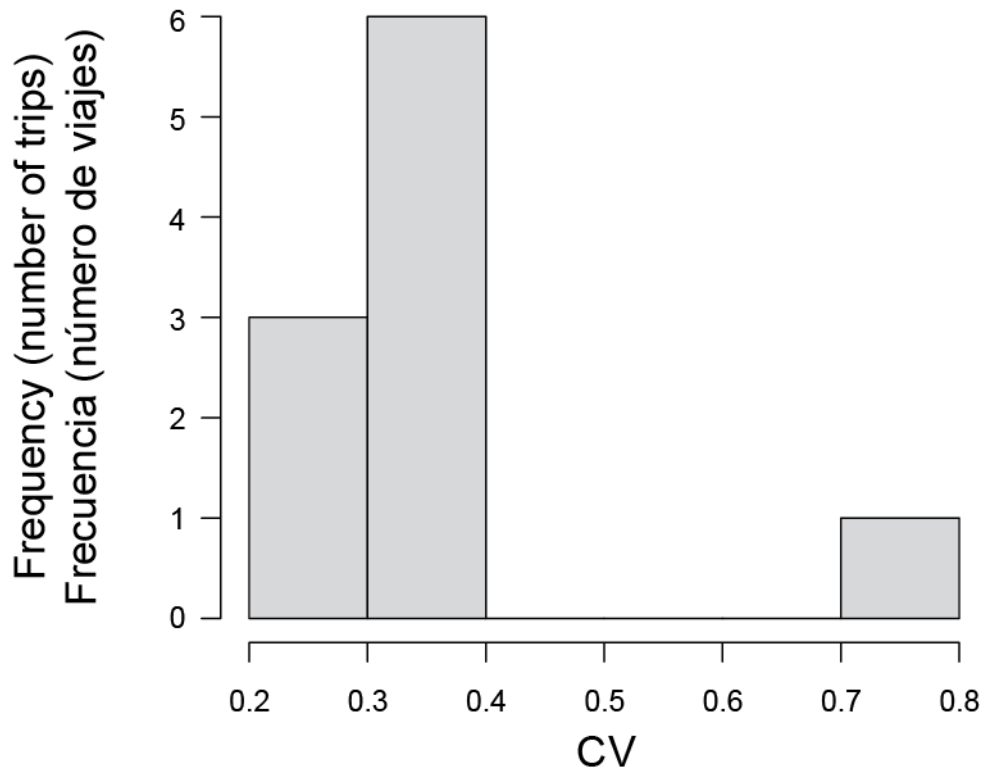
**FIGURA 16.** Composición por especie de atunes tropicales, por unidad muestreada, calculada a partir del número de peces (lado izquierdo) y del peso (lado derecho), para cuatro bodegas del mismo viaje, muestreadas según el protocolo preliminar de muestreo del PRM que se probó en la Fase 2. Las cuatro bodegas contenían captura de lances sobre objetos flotantes realizados al oeste de 110°O (cuatro lances cargados en la bodega se muestran en el panel superior y tres lances en cada una de las otras tres bodegas). **Rojo:** BET; **verde:** YFT; **azul:** SKJ; **gris:** número de atunes tropicales. Las líneas punteadas indican la proporción promedio de las especies (calculada a partir de las unidades). El eje x muestra el número de la unidad, desde el inicio (izquierda) hasta el final (derecha) de la descarga.



**FIGURE 17.** Box-and-whisker plots of the proportion of BET, per unit, of each of the 58 wells sampled under the preliminary EMP sampling protocol. Wells sampled from the same trip are arranged together and have the same color. Horizontal black bars indicate the median proportion, the colored box indicates the interquartile range, and the whiskers extend to the extremes of the unit proportions for the well.

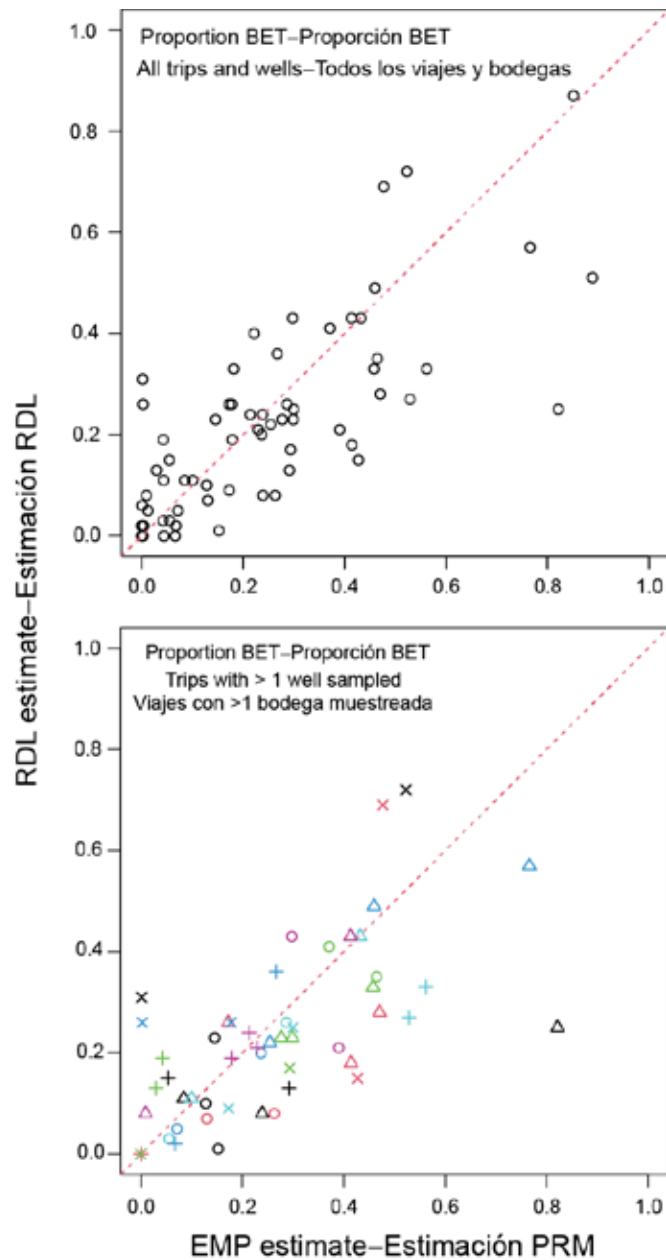
**FIGURA 17.** Gráficas de cajas y bigotes de la proporción de BET, por unidad, para cada una de las 58 bodegas muestreadas según el protocolo preliminar de muestreo del PRM. Las bodegas muestreadas del mismo viaje se ordenan juntas y tienen el mismo color. Las barras negras horizontales indican la proporción mediana, la caja de color indica el rango intercuartil y los bigotes se extienden hasta los extremos de las proporciones de la unidad de la bodega.





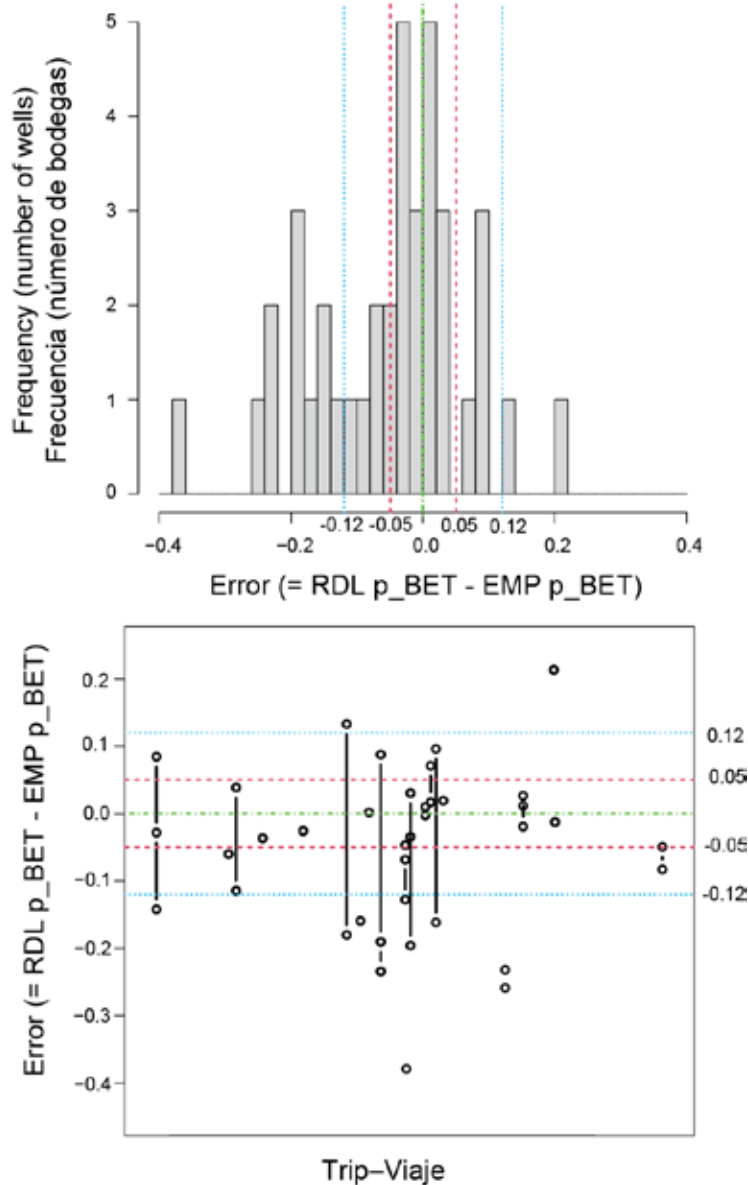
**FIGURE 18.** Histogram of the coefficient of variation (CV) values, on the proportion BET for a stratum, from Table 4.

**FIGURA 18.** Histograma de los valores de coeficiente de variación (CV), sobre la proporción de BET para un estrato, de la Tabla 4.



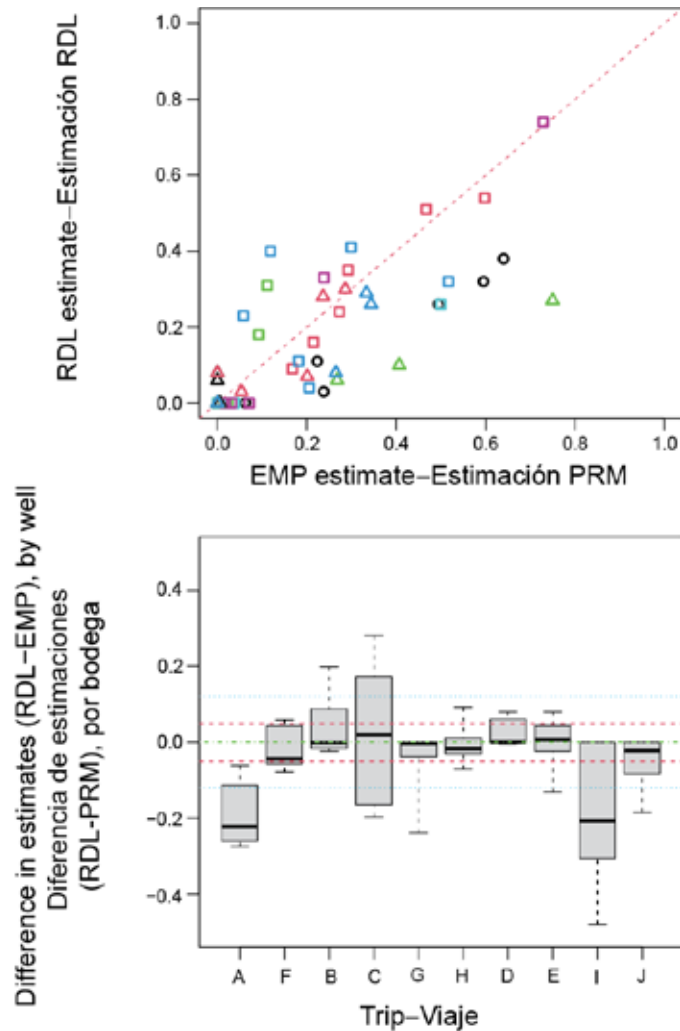
**FIGURE 19.** Estimated proportion of BET, by well, for the EMP Phase 1 intensive sampling data plotted against the estimates from RDL observer data for the same wells. Top: all wells sampled (71 wells from 42 trips); bottom: only wells of trips with more than one well sampled (2-3 wells per trip for 52 wells from 23 trips; 17 trips with 2 wells sampled and 6 trips with 3 wells sampled); wells of the same trip have the same plot symbol and color.

**FIGURA 19.** Proporción estimada de BET, por bodega, para los datos de muestreo intensivo de la Fase 1 del PRM comparada con las estimaciones de los datos de observadores del RDL para las mismas bodegas. Arriba: todas las bodegas muestreadas (71 bodegas de 42 viajes); abajo: solo bodegas de viajes con más de una bodega muestreada (de dos a tres bodegas por viaje para 52 bodegas de 23 viajes; 17 viajes con dos bodegas muestreadas y seis viajes con tres bodegas muestreadas); las bodegas del mismo viaje tienen el mismo símbolo y color en la gráfica.



**FIGURE 20.** Error (RDL estimate of proportion of BET – EMP Phase 1 estimate of proportion of BET) for wells with catch from OBJ sets made west of 110°W. Top: histogram of by-well error values; bottom: by-well error values grouped by trip (when more than one well was sampled per trip, the values are joined by a vertical line). The red dashed lines correspond to an error of +/-5%, for comparison to performance of the simulated 1-of-3 protocol (i.e., 3.33% coverage of units) (Table 3, Figure 11). The blue dashed lines indicate the maximum error found for any cluster sample under the simulated 1-of-3 (Table 3). The green dashed line is at the value 0.

**FIGURA 20.** Error (estimación del RDL de la proporción de BET – estimación del PRM de la Fase 1 de la proporción de BET) para bodegas con captura de lances OBJ realizados al oeste de 110°O. Arriba: histograma de valores de error por bodega; abajo: valores de error por bodega agrupados por viaje (cuando se muestreó más de una bodega por viaje, los valores aparecen unidos por una línea vertical). Las líneas punteadas rojas corresponden a un error de +/-5%, para comparar con el rendimiento del protocolo simulado 1 de 3 (es decir, cobertura del 3.33% de las unidades) (Tabla 3, Figura 11). Las líneas punteadas azules indican el error máximo encontrado para cualquier muestra de conglomerados según la simulación 1 de 3 (Tabla 3). La línea punteada verde está en el valor 0.



**FIGURE 21.** Comparison of EMP estimates of the proportion of BET from the preliminary EMP protocol tested in Phase 2 *versus* the RDL well-level estimates of the proportion of BET, for the same wells. Top: wells of the same trip are indicated by the same plot symbol and color (the red dashed line is the 1-to-1 line); bottom: box-and-whisker plot of the differences between the two estimates (RDL – EMP), by trip. The blue dashed lines in the bottom graph indicate the maximum error from the simulated 1-of-3 protocol (i.e., 3.33% coverage of units) (Table 3) and the red dashed lines correspond to an error of +/-5%, for comparison to performance of the simulated 1-of-3 protocol (Table 3, Figure 11). The green dashed line is at the value 0. Trip labels in bottom panel match those shown in Table 4.

**FIGURA 21.** Comparación de las estimaciones del PRM de la proporción de BET a partir del protocolo preliminar del PRM que se probó en la Fase 2 frente a las estimaciones del RDL a nivel de bodega de la proporción de BET, para las mismas bodegas. Arriba: las bodegas del mismo viaje se indican con el mismo símbolo y color en la gráfica (la línea punteada roja es la línea 1 a 1); abajo: gráfica de cajas y bigotes de las diferencias entre las dos estimaciones (RDL – PRM), por viaje. Las líneas punteadas azules de la gráfica inferior indican el error máximo del protocolo simulado 1 de 3 (es decir, cobertura del 3.33% de las unidades) (Tabla 3) y las líneas punteadas rojas corresponden a un error de +/-5%, para comparar con el rendimiento del protocolo simulado 1 de 3 (Tabla 3, Figura 11). La línea punteada verde está en el valor 0. Las identificaciones de los viajes en el panel inferior coinciden con las de la Tabla 4.

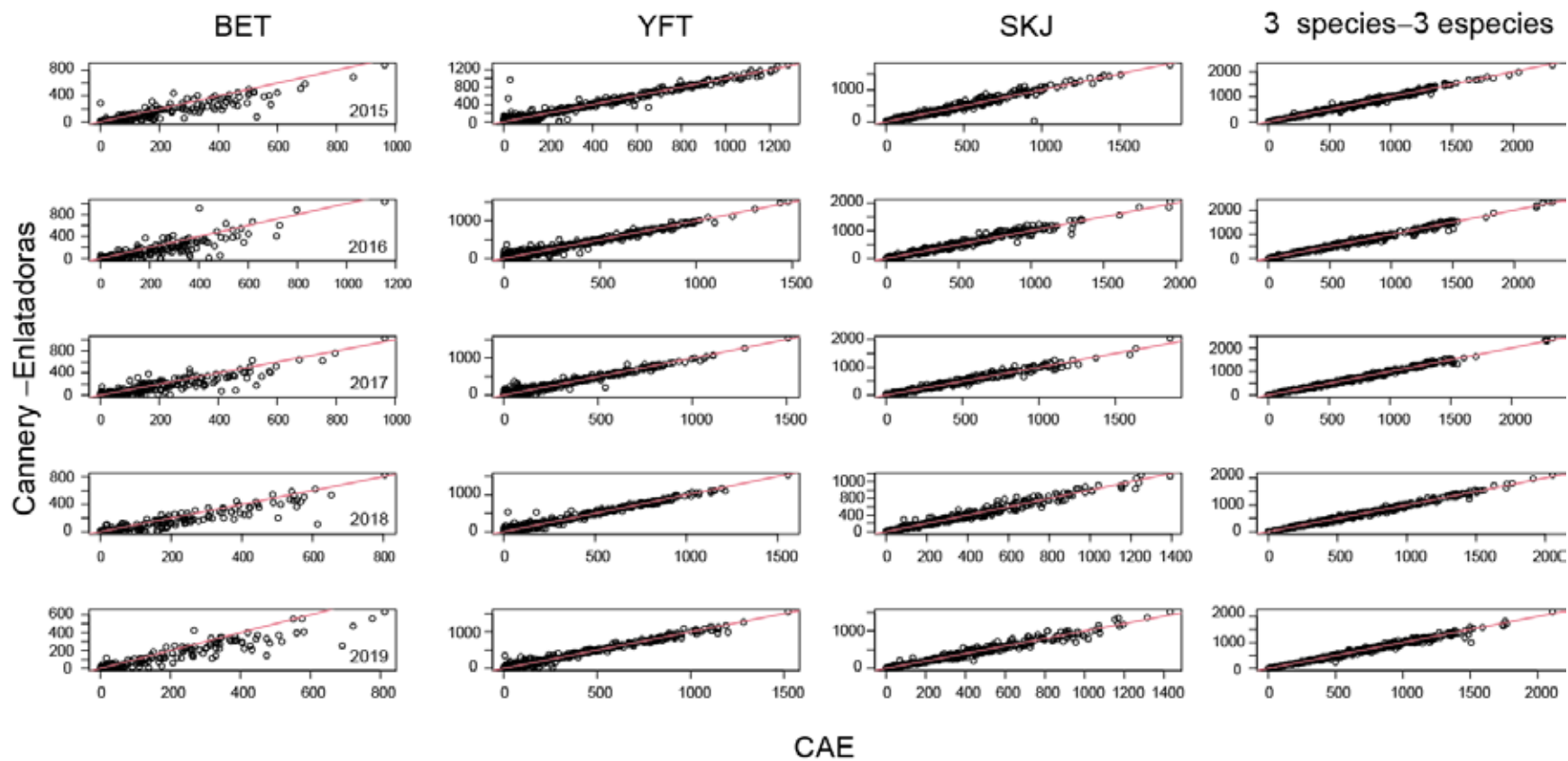
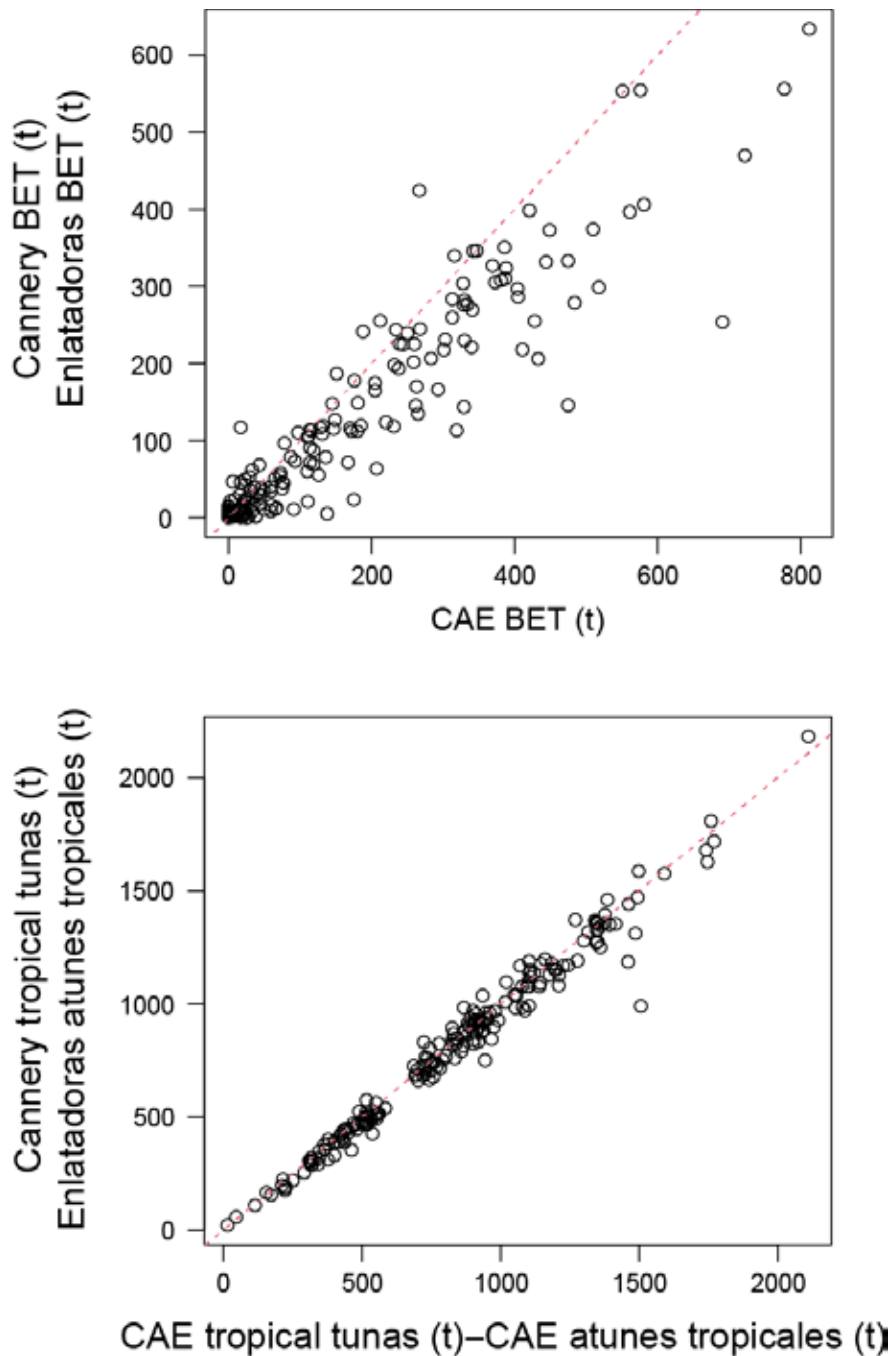


FIGURE 22. Comparison of trip-level estimates of BET from observer and logbook (CAE) data *versus* cannery data, for Class-6 vessels by year, 2015-2019. The dashed red lines indicate the 1-to-1 line.

FIGURA 22. Comparación de las estimaciones de BET a nivel de viaje a partir de los datos de observadores y de bitácora (CAE) frente a los datos de enlatadoras, para los buques de clase 6 por año, para el periodo 2015-2019. Las líneas punteadas rojas indican la línea 1 a 1.



**FIGURE 23.** Comparison of trip-level BET and tropical tunas estimates from observer and logbook (CAE) data to cannery estimates, for those trips for which the cannery BET estimate was greater than zero, Class-6 vessels, 2019. Tropical tuna catch is the sum of catches of YFT, SKJ and BET. The dashed red lines indicate the 1-to-1 line. The estimated slopes of these two relationships are shown in Table 5.

**FIGURA 23.** Comparación de las estimaciones de BET y atunes tropicales a nivel de viaje a partir de los datos de observadores y de bitácora (CAE) con las estimaciones de las enlatadoras, para aquellos viajes en los que la estimación de BET de las enlatadoras fue superior a cero, buques de clase 6, 2019. La captura de atunes tropicales es la suma de las capturas de YFT, SKJ y BET. Las líneas punteadas rojas indican la línea 1 a 1. Las pendientes estimadas de estas dos relaciones se muestran en la Tabla 5.