

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

SÉPTIMA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)

09-13 de mayo de 2016

## DOCUMENTO SAC-07-07e

### EVALUACIÓN PRELIMINAR DE VARIAS OPCIONES PARA REDUCIR LAS CAPTURAS DE ATÚN PATUDO

Cleridy E. Lennert-Cody, Mark N. Maunder, Alex Aires-da-Silva, Marlon H. Román, Vardis M. Tsonotos<sup>1</sup>

#### ÍNDICE

Resumen .....	1
1. Antecedentes .....	2
2. Identificación de áreas de alta captura de patudo .....	2
3. Efectos ambientales y de arte sobre la probabilidad de capturar patudo .....	4
Anexo .....	14
Referencias .....	5

#### RESUMEN

Las medidas actuales de ordenación para el atún patudo en el Océano Pacífico oriental (OPO) incluyen, además de las vedas generales de 62 días de la pesquería de cerco, una veda de 30 días de una zona relativamente pequeña del OPO al oeste de las islas Galápagos, conocida informalmente como el « corralito », desde el fin de septiembre hasta el fin de octubre. Sin embargo, existe la percepción que podrían ser necesarias medidas adicionales de ordenación. Este documento presenta los resultados de un análisis de áreas de capturas altas de patudo durante 2001-2015, usando datos de lances sobre objetos flotantes por buques cerqueros de clase 6<sup>2</sup> de capacidad. Los resultados de este análisis fueron usados en la simulación para explorar el potencial de vedas espaciales para reducir las capturas de patudo en la pesquería de cerco. Los resultados de la simulación sugieren que una veda anual del OPO ecuatorial al oeste de 120°O podrían potencialmente producir reducciones de la captura de patudo y que mayores que las pérdidas de captura de atún barrilete. El trabajo futuro debería incluir una optimización de los límites del área de veda y simulaciones más realistas de la redistribución del esfuerzo.

Asimismo en este documento se presenta una actualización de los análisis del efecto de factores ambientales y las características del arte de pesca sobre la probabilidad de capturar patudo en lances sobre objetos flotantes por buques cerqueros grandes, usando datos de 2012-2013. Los resultados de este análisis son consistentes con estudios previos, e indican que la posición de pesca y los factores ambientales podrían ejercer un efecto mayor que las características del arte sobre la probabilidad de capturar patudo. No obstante, asimismo consistente con estudios previos, el presente análisis descubrió

<sup>1</sup> Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109, USA

<sup>2</sup> Capacidad de acarreo > 363 t

que la probabilidad de capturar patudo fue mayor con redes de cerco más profundas y con objetos flotantes con una mayor profundidad bajo la superficie; todavía no se ha realizado un análisis actualizado de los patrones espaciales en estos efectos de arte. Se usaron datos ambientales semanales de 2014 para ilustrar la posibilidad de predecir áreas con una alta probabilidad de capturar patudo en tiempo casi real. Los pronósticos semanales muestran cambios temporales en las áreas con la mayor probabilidad estimada de capturar patudo, dentro de una región de alta mar del OPO bastante estacionaria. El trabajo futuro debería incluir una validación de los resultados predichos.

## 1. ANTECEDENTES

Los aumentos recientes en el número de lances sobre objetos flotantes por buques cerqueros tanto pequeños como grandes (documento [SAC-07-07f\(i\)](#)), y un aumento de la capacidad de la flota cerquera (SAC-07-08), han conducido a la necesidad de investigaciones adicionales sobre opciones para reducir las capturas de patudo en la pesquería de cerco. Estudios previos de las vedas espaciotemporales (Shelton y Suter 2007), que se basaron en datos de 1995-2002, descubrieron que es poco probable que dichas vedas resulten en una reducción importante de la captura de patudo sin también afectar sustancialmente las capturas de barrilete. Una veda estacional en un área al oeste de las islas Galápagos (conocida informalmente como el « corralito ») para reducir las capturas de patudo fue propuesta por primera vez en 2008 (documento [IATTC-77-04 REV](#)), pero se estima que ha tenido poco impacto (documento SAC-05-16). Un estudio del efecto de las características del arte sobre la probabilidad de capturar patudo que usó datos de lances sobre objetos flotantes durante 2001-2005 (Lennert-Cody *et al.* 2008) descubrió que en algunas áreas del OPO es más probable que se capture patudo si se pesca con redes más profundas y si se usan objetos flotantes de mayor profundidad bajo la superficie.

Este documento presenta un análisis de las áreas de alta captura de patudo, usando datos de la pesquería de cerco de 2001-2015. Se usan los resultados del análisis en una sencilla simulación de una veda espacial para evaluar el potencial de reducir la captura de patudo. Además, se presenta una actualización del análisis de los efectos de factores ambientales y características del arte sobre la probabilidad de capturar patudo. Los resultados de este análisis fueron usados para ilustrar la predicción semanal de la distribución espacial de la probabilidad de capturar patudo.

## 2. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE ALTA CAPTURA DE PATUDO

### 2.1. Datos y métodos

Se usaron modelos aditivos generalizados (MAG) para resumir la distribución espacial de la captura de patudo en lances sobre objetos flotantes por buques cerqueros de clase 6 durante 2001-2015. Debido al alto porcentaje de lances sin captura de patudo (50%) durante este período de tiempo, se usó un MAG delta-gamma. Se usó una función de enlace *logit* para el modelo de la presencia/ausencia de captura de patudo, y en la distribución gamma con función de enlace logarítmico para el modelo de captura por lance de patudo (captura = captura retenida más descartes). En los dos MAG, logístico y gamma, el lado derecho de los modelos tuvo la forma siguiente:

$$\sim te(\text{latitud, longitud, por=categoría ENOS}) + s(\text{mes, por=categoría ENOS})$$

donde “te” indica un suavizante producto tensorial, y el término suavizado de mes se basó en un *spline* cúbico cíclico. El parámetro “por” indica que ambos términos suavizados incluyeron una interacción con el periodo de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur): El Niño (2003, 2007, 2010, 2015), La Niña (2008, 2011-2012), y ENOS-neutro (2001-2002, 2004-2006, 2009, 2013-2014) (se obtuvo la información de ENOS de <http://www.esrl.noaa.gov>).

## 2.2. Definición de áreas de captura alta

Para definir áreas de captura alta a partir de los MAG ajustados, se predijo la presencia/ ausencia de patudo y captura por lance en un rejilla espacial de 1° para abril y septiembre, para cada una de las tres categorías de ENOS. Se seleccionaron los meses de abril y septiembre porque representan aproximadamente los meses altos y bajos, respectivamente, de la señal estacional predicha (Figura 1).

Se usaron mapas de la probabilidad estimada de captura de patudo y captura por lance (positivos) para definir tres áreas de captura alta (Figura 2), basadas en la frecuencia de una alta probabilidad de captura y/o tasas de captura altas en ambos meses y todos los tres períodos de ENOS. Las tres áreas (Figura 2) fueron: 1) 5°S a la línea ecuatorial, 95°W-110°O (que se solapa con el *corralito*); 2) 5°S-5°N, y 120°O-150°O; y 3) al sur de 15°S.

## 2.3. Evaluación preliminar del potencial de las vedas espaciales

Se implementó una simulación para determinar si las áreas de captura alta identificadas por los MAG (Figura 2) podrían resultar en una reducción de la captura total cerquera de patudo si se cerrará durante un año calendario. La base de datos de captura y esfuerzo de la CIAT para los buques cerqueros de clases 1 a 6 fue usado para la simulación. Para todas las combinaciones de las tres áreas (1; 2; 3; 1 y 2; 1 y 3; 2 y 3; 1, 2, y 3), se implementó el escenario de redistribución de esfuerzo siguiente para los lances sobre objetos flotantes y no asociados (se excluyeron los lances sobre delfines de la simulación porque rara vez capturan patudo (documento [SAC-07-03a](#))), por año, 2001-2015.

- a. El número de lances dentro de las áreas vedadas fue redistribuido afuera a áreas de 5° y tipo de lance (objeto flotante o no asociado) con base en la composición por esfuerzo de esas áreas de 5° fuera de las áreas vedadas.
- b. Se estimaron cantidades simuladas de captura de atunes, por especie (patudo, aleta amarilla, barrilete) y tipo de lance, para los lances redistribuidos a partir de la captura por lance en cada área de 5° fuera de las áreas vedadas (ver detalles en el anexo);
- c. la captura estimada de la flota cerquera correspondiente a un cierto escenario de área vedada, para cada año, fue la suma de la captura real fuera de las áreas vedadas más la captura estimada de los lances redistribuidos;
- d. Se obtuvo el efecto anual estimado de cada uno de los 7 escenarios de veda mediante el cálculo de la diferencia entre la captura total real, por especie y tipo de lance, y la captura estimada. Se resumieron los cambios anuales porcentuales correspondientes a 2001-2015 con gráficas de caja y bigote, por especie y tipo de lance, y por especie.

Los resultados de la simulación sugieren que una veda de una sola área basada en el área más al oeste (Area 2) podría tener el potencial de las reducciones máximas de captura de patudo y al mismo tiempo limitar el impacto sobre las capturas de barrilete (Figuras 3-4). Combinaciones de vedas espaciales, especialmente aquellas que incluían el Area 2, resultaron en reducciones mayores de la captura de patudo, pero también reducciones mayores de la captura de barrilete (Figura 4a).

El método de redistribución usado en esta simulación podría ser modificado para reflejar un comportamiento más complejo de la flota. Por ejemplo, la redistribución de lances de las áreas vedadas podría ser efectuada por buque, conforme a al comportamiento de pesca de cada buque individual. Se podrían considerar esquemas de redistribución más complejos en el futuro.

Idealmente, las áreas de veda potenciales serían seleccionadas para producir resultados estables a lo largo del tiempo, lo cual incluye minimizar la variabilidad de las reducciones de captura para cada una de las tres especies. Las áreas de captura alta elegidas para la simulación presentada en este documento fueron

seleccionadas a ojo de los resultados del MAG, y de una inspección de los mapas semanales pronosticados (ver más adelante). Una optimización de los límites estas áreas podría resultar en un mejor desempeño en términos de reducir la captura de patudo y al mismo tiempo minimizar la pérdida de captura de barrilete.

### **3. EFECTOS AMBIENTALES Y DE ARTE SOBRE LA PROBABILIDAD DE CAPTURAR PATUDO**

#### **3.1. Datos y métodos**

Se usó un algoritmo de bosque aleatorio (clasificación) para predecir la presencia/ausencia de captura de patudo (captura retenida más descartes) en lances sobre objetos flotantes por buques de clase 6, usando datos de 2012-2013. En total, se consideraron 65 predictores en el algoritmo: información ambiental actual, de primera diferencia, y retardada; latitud, longitud, y mes; y varias características de arte. Los [datos ambientales](#), con una resolución de aproximadamente semana-área de 1°, fueron proporcionados por el *Jet Propulsion Laboratory* de NASA. Incluyeron: temperatura superficial del mar (SST) y anomalías de la misma (SSTANOM), salinidad superficial del mar (SSS), altura superficial del mar (SSH), profundidad de la capa de mezcla (MLD), velocidad meridional (VVEL) y zonal (UVEL) y anomalías de la velocidad (VANOM y UANOM), probabilidad de frentes, y velocidad del viento (WNDSPD). A partir de estos datos, se computaron cantidades de primera diferencia para SST, SSS, SSH, MLD and WNDSPD. Adicionalmente, se computaron resúmenes retardados (promedio, desviación estándar, y pendiente) para retardos de uno a cuatro meses para todas las variables excepto la probabilidad de frentes, y UANOM y VANOM; los periodos de retardo fueron seleccionados algo arbitrariamente. Se combinaron los datos de captura a la misma resolución que los datos ambientales y se creó una variable de respuesta de presencia/ausencia (presencia/ausencia de cualquier captura en la semana-área de 1°). Con base en los resultados de análisis previos (Lennert-Cody *et al.* 2008), se incluyeron cuatro variables de arte (como valores medianos por semana-área de 1°): profundidad de la red de cerco, profundidad el objeto flotante, porcentaje del objeto flotante cubierto por epibiotas (para representar tiempo en el mar), y un sustituto para la densidad local de los objetos flotantes. La profundidad de la red de cerco es la profundidad colgada de la red (no se dispuso de la profundidad de pesca real de la red). La profundidad del objeto flotante es la profundidad máxima del objeto debajo de la superficie del agua (no se dispuso de la profundidad real en el agua).

#### **3.2. Resultados de la predicción de presencia/ausencia de captura de patudo**

Los resultados del análisis de bosque aleatorio fueron generalmente consistentes con estudios previos de los datos de 2001-2005 (Lennert-Cody *et al.* 2008). En general, la posición del lance y algunos factores ambientales fueron más importantes para la predicción de la presencia de captura de patudo que cualquiera de las cuatro características de arte (Figura 5), aunque la correlación entre predictores complica la interpretación de la importancia de las variables. De las cuatro características de arte, profundidad de la red y profundidad del objeto flotante fueron las más importantes para la predicción de la presencia de captura de patudo. La presencia de patudo en la captura fue más probable con redes más profundas y objetos flotantes más profundos (Figura 6); los patrones espaciales en estas relaciones todavía no han sido evaluadas para este análisis, pero fueron observados previamente (Lennert-Cody *et al.* 2008). Interesantemente, las cantidades retardadas para algunas variables ambientales son más importantes que el valor de la variable en la semana actual (Figura 5). Queda todavía por determinar si la importancia de información ambiental retardada es un resultado repetible con datos de otros años. Las tasas de error por clasificación errónea del algoritmo de bosque aleatorio fueron 21% (predicción de presencia) y 26% (predicción de ausencia).

#### **3.3. Pronósticos semanales de la probabilidad de captura de patudo**

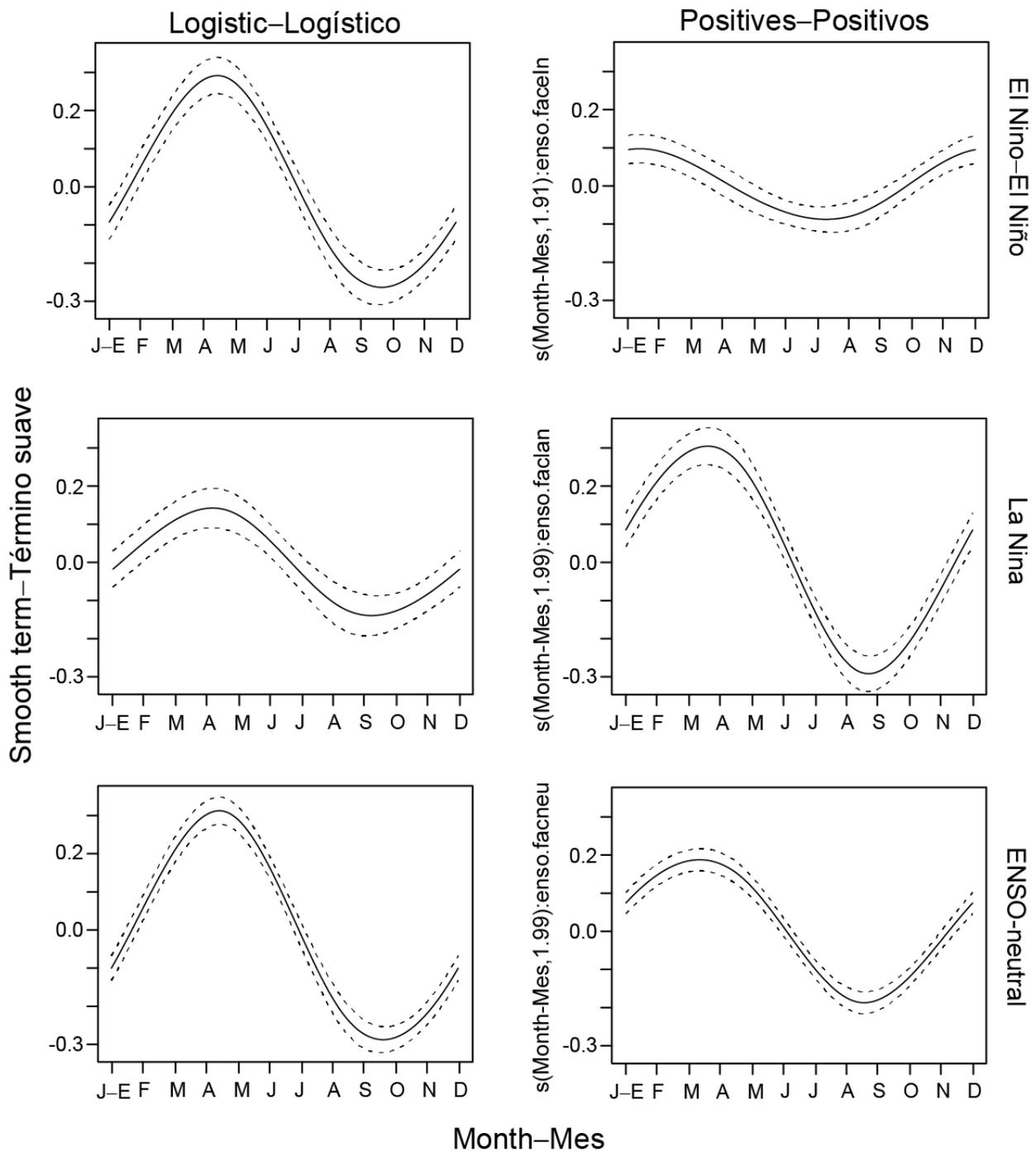
A fin de ilustrar la predicción semanal de la distribución espacial de la probabilidad de capturar patudo, se usó un algoritmo de bosque aleatorio (sin variables de arte) para generar mapas de la probabilidad

predicha de capturar atún patudo para cada semana en 2014. En el primer paso, se construyó el algoritmo de bosque aleatorio sobre los datos de 2012-2013, y se usó para predecir la distribución espacial de la probabilidad de capturar patudo para la primera semana de 2014, usando los datos ambientales de esa semana. Se iteró este proceso para cada semana de 2014, donde el bloque de dos años de datos usados para construir el algoritmo fue avanzados una semana, y se hicieron predicciones con los datos ambientales de la semana actual.

Los resultados de la predicción (Figura 7) subrayan los efectos de cambios temporales en el medio ambiente durante el transcurso del año dentro de una región de altura más grande y bastante estacionaria con una mayor probabilidad estimada de capturar patudo. Si se contara con un procedimiento regular para recibir y procesar datos ambientales, este tipo de mapa podría ser puesto a disposición de los pescadores en tiempo casi real como dato adicional para ayudarles a reducir las capturas de patudo. Los pronósticos semanales todavía no han sido comparados con las distribuciones reales; sin embargo, se podría emprender una evaluación del desempeño del algoritmo si se considera que los pronósticos semanales serían útiles para investigaciones futuras. Además, se podría realizar una evaluación de la ventana de datos óptima para la generación de predicciones semanales; el ejemplo anterior usó una ventana móvil de dos años. Una alternativa sería fijar el conjunto de datos que se usa para generar el modelo. Además, se podrían explorar otros retardos y resúmenes de variables retardadas.

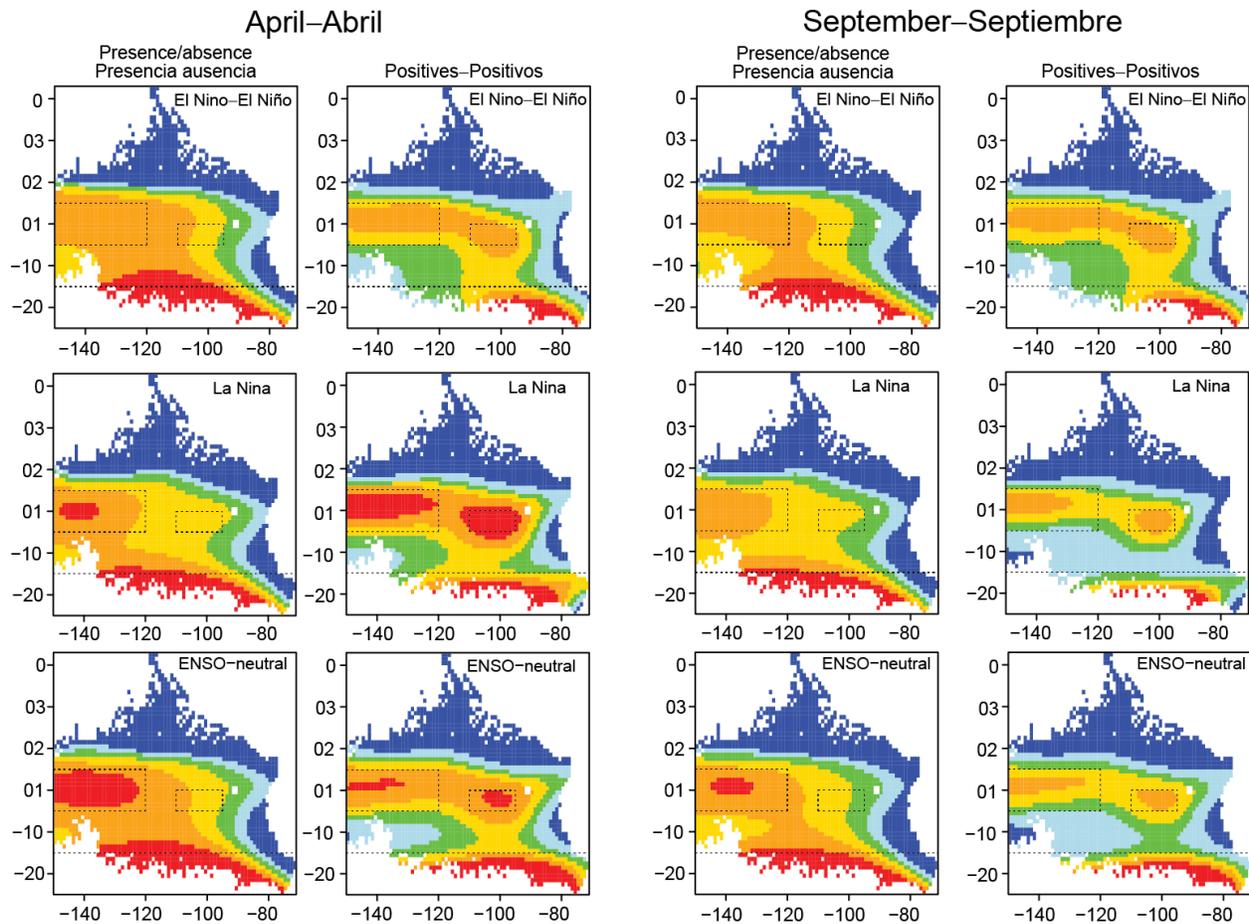
## REFERENCIAS

- Harley, S.J., Suter, J.M. 2007. The potential use of time-area closures to reduce catches of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the purse-seine fishery of the eastern Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 105: 49-61.
- Lennert-Cody, C.E., Roberts, J.J. and Stephenson, R.J. 2008. Effects of gear characteristics on the presence of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the catches of the purse-seine fishery of the eastern Pacific Ocean. *ICES Journal of Marine Science* 65: 970-978.



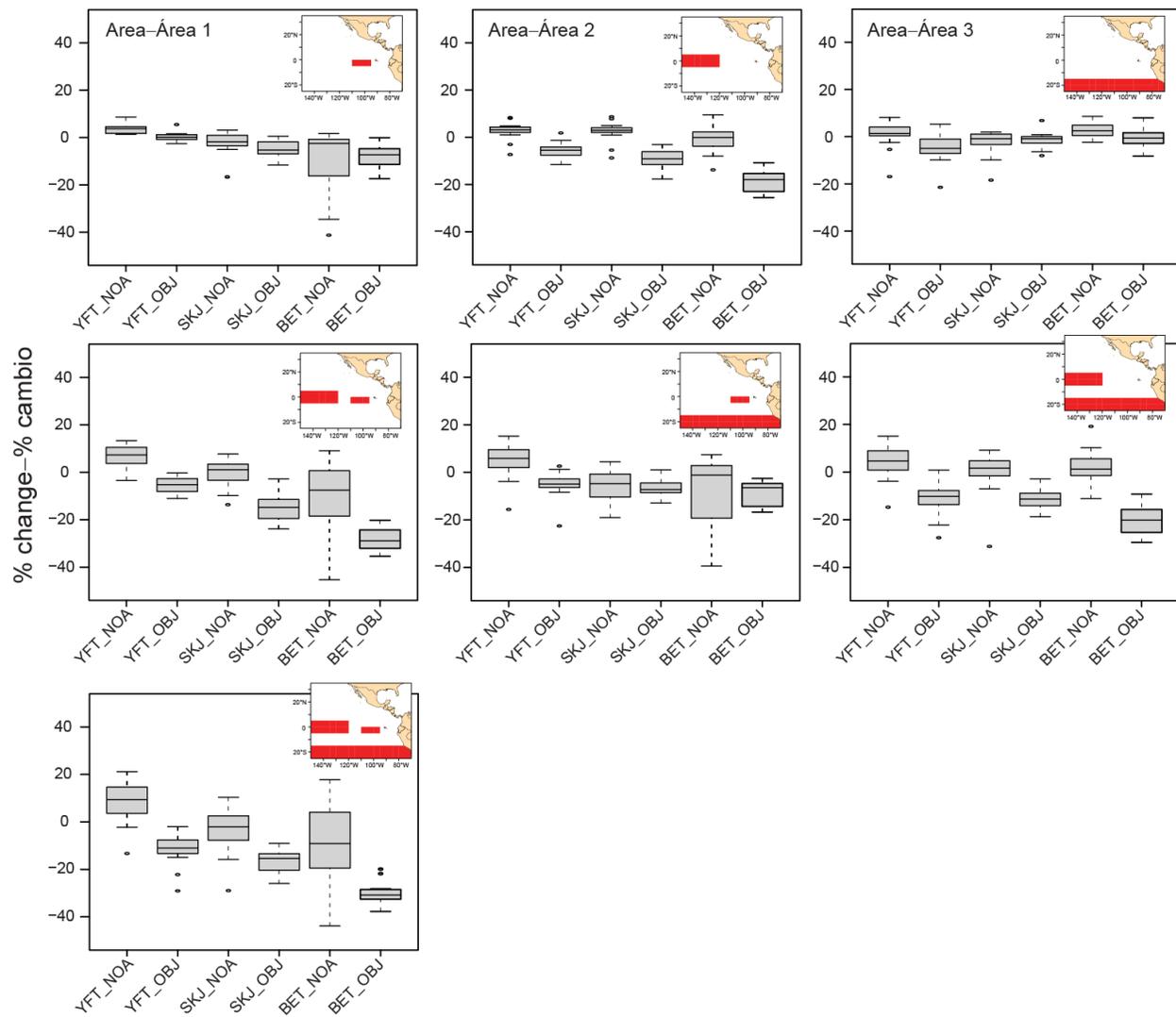
**FIGURE 1.** Smooth terms for month, by ENOS category, from the logistic GAM for presence/absence of bigeye tuna catch (left panels) and from Gamma GAM for catch-per-set (right panels).

**FIGURA 1.** Términos suaves de mes, por categoría de ENOS, del MAG logístico de presencia/ausencia de captura de atún patudo (paneles izquierdos) y del MAG gamma de captura por lance (paneles derechos).



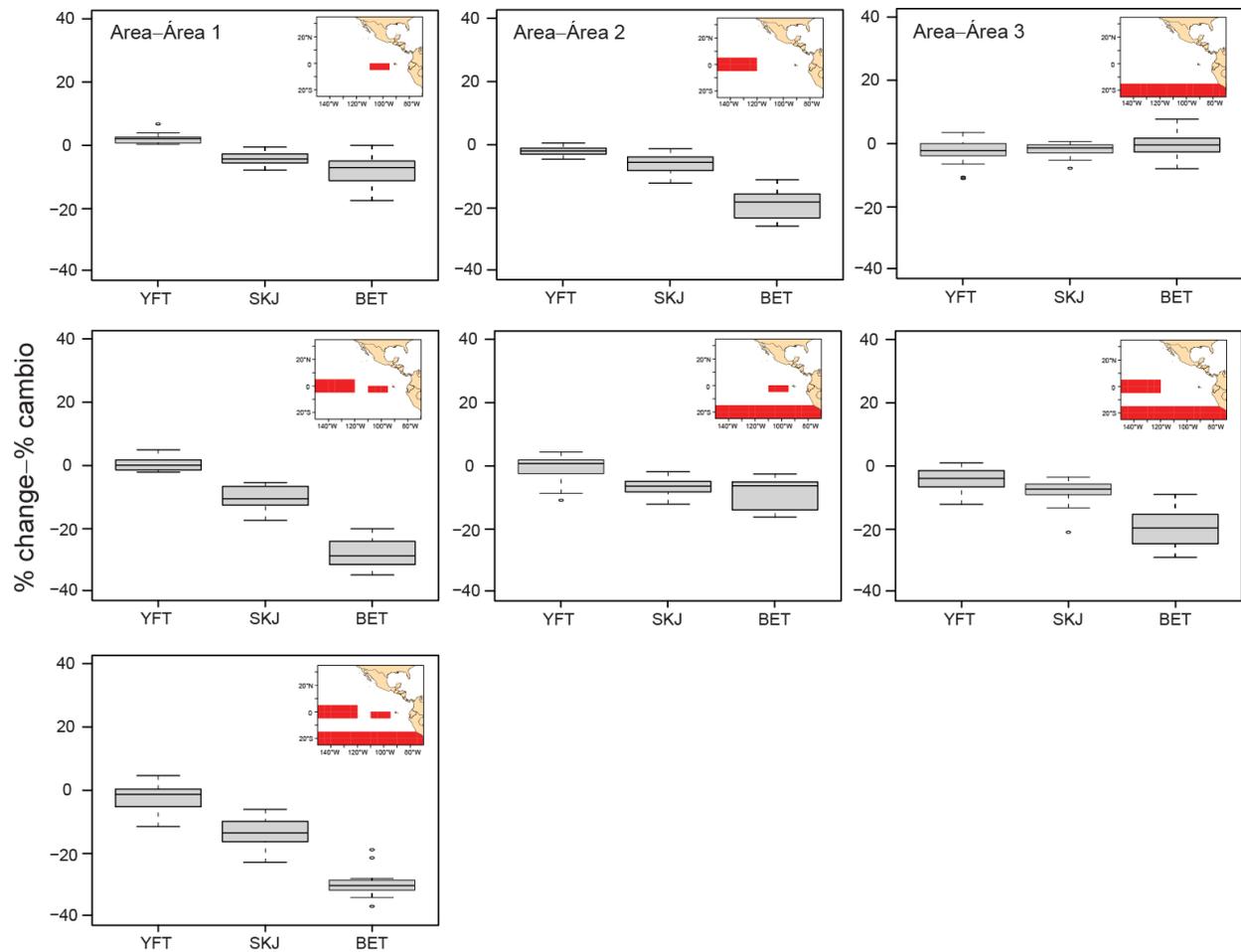
**FIGURE 2.** Maps of logistic and Gamma GAM predictions, for April and September, by ENOS category,. The areas delineated by dashed lines correspond to: 1) 150°W-120°W, 5°S-5°N; 2) 110°W-95°W, 5°S-0°; 3) south of 15°S. For the logistic GAM maps, the colors indicate the estimated probability of catching bigeye: dark blue: <0.1; light blue: 0.1-0.25; green: 0.25-0.50; yellow: 0.50-0.75; orange: 0.75-0.90; red: >0.90. For the Gamma GAM maps, the colors indicate the estimated bigeye catch-per-set, in metric tons (t): dark blue: < 5 t; light blue: 5-10 t; green: 10-14 t; yellow: 14-20 t; orange: 20-30 t; red: > 30 t.

**FIGURA 2.** Mapas de predicciones de MAG logístico y gamma, correspondientes a abril y septiembre, por categoría de ENOS. Las áreas delineadas con líneas de trazos corresponden a: 1) 150°O-120°O, 5°S-5°N; 2) 110°O-95°O, 5°S-0°; 3) al sur de 15°S. En los mapas de MAG logístico, los colores indican la probabilidad estimada de capturar patudo: azul oscuro: <0.1; azul claro: 0.1-0.25; verde: 0.25-0.50; amarillo: 0.50-0.75; naranja: 0.75-0.90; rojo: >0.90. En los mapas MAG gamma, los colores indican la captura por lance estimada de patudo, en toneladas (t): azul oscuro: < 5 t; azul claro: 5-10 t; verde: 10-14 t; amarillo: 14-20 t; naranja: 20-30 t; rojo: > 30 t.



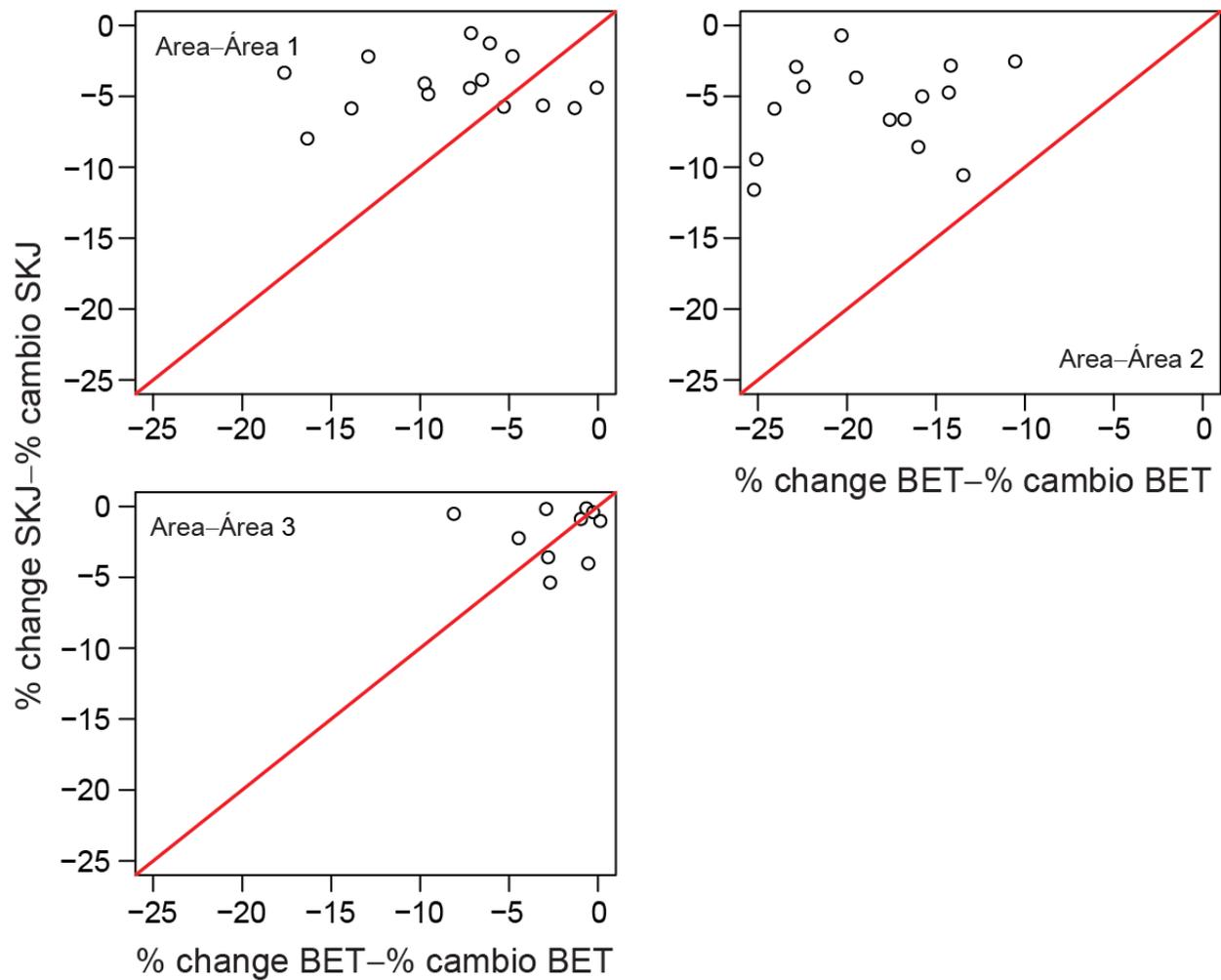
**FIGURE 3.** Box-and-whisker plots of the estimated percent change in total purse-seine catch, 2001-2015, for each combination of species and set type, as a result of effort reallocation from the closed area(s). The map in the upper right corner of each panel shows the closed area(s) (in red).

**FIGURA 3.** Gráficas de caja y bigote del cambio porcentual estimado de la captura cerquera total, 2001-2015, para cada combinación de especie y tipo de lance, como resultado de la redistribución del esfuerzo de las áreas vedadas. Se ilustran las áreas vedadas (en rojo) en el mapa en la esquina superior derecha de cada panel.



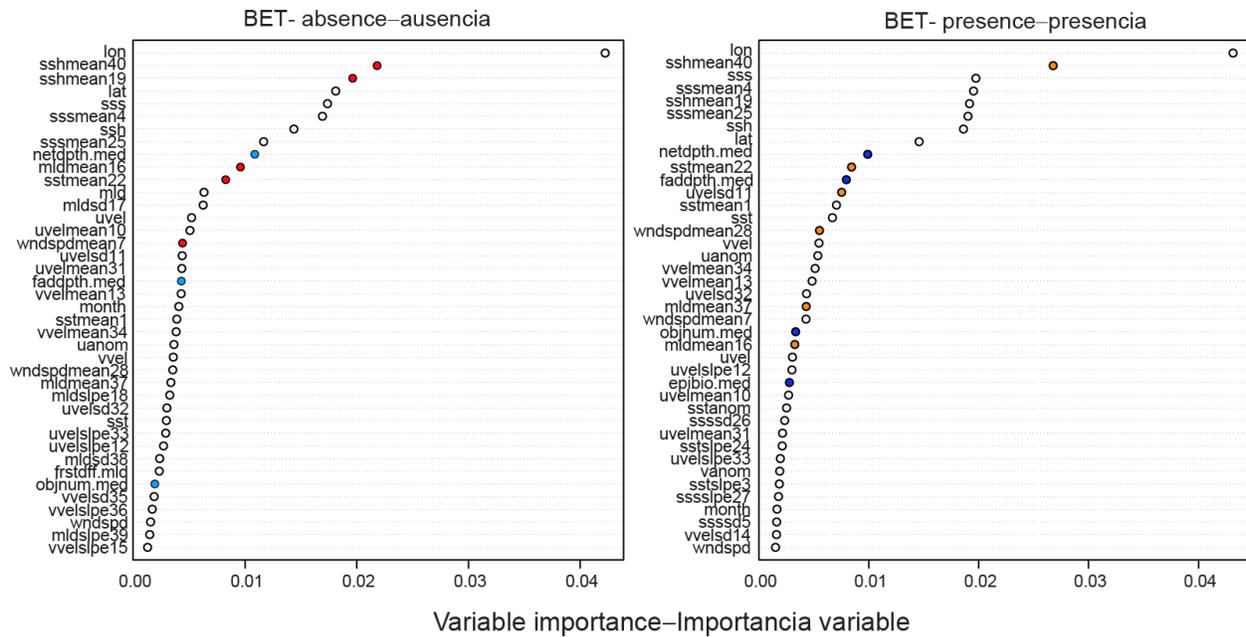
**FIGURE 4a.** Box-and-whisker plots of the estimated percent change in total purse-seine catch, 2001-2015, for each species, as a result of effort reallocation from the closed area(s). The map in the upper right corner of each panel shows the closed area(s) (in red).

**FIGURA 4a.** Gráficas de caja y bigote del cambio porcentual estimado de la captura cerquera total, 2001-2015, para cada especie, como resultado de la redistribución del esfuerzo de las áreas vedadas. Se ilustran las áreas vedadas (en rojo) en el mapa en la esquina superior derecha de cada panel.



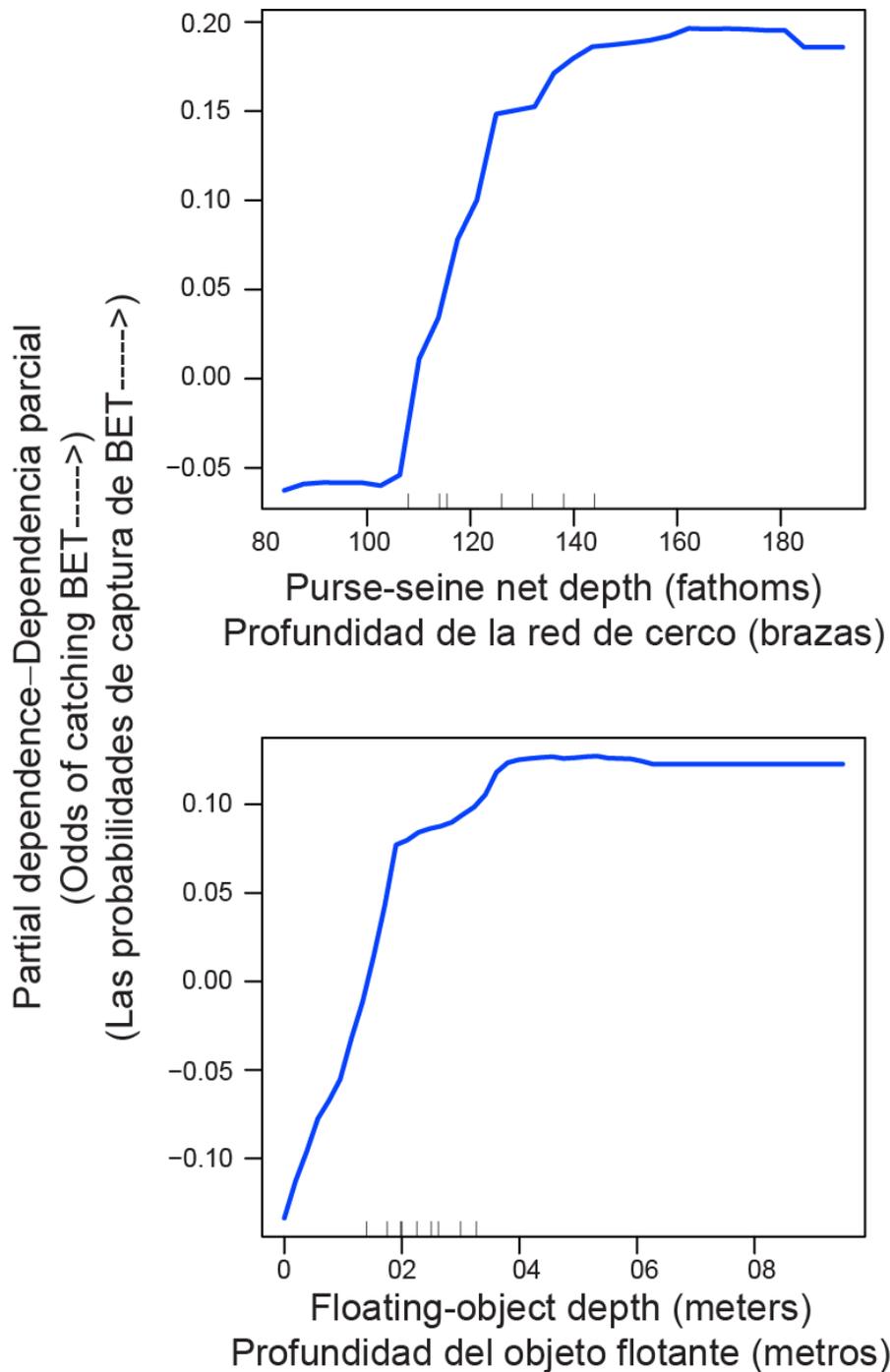
**FIGURE 4b.** Annual percent change in bigeye tuna catch *versus* annual percent change in skipjack tuna catch for the three single-area candidate closures; i.e., this figure shows plots of yearly points from the top row of Figura 4a. The red line is the one-to-one line.

**FIGURA 4b.** Cambio porcentual anual en la captura de atún patudo como función del cambio porcentual anual de atún barrilete correspondiente a cada una de las tres áreas de veda; o sea, esta figura grafica los puntos anuales de la fila superior de la Figura 4a. La línea roja representa la correspondencia de 1 a 1.



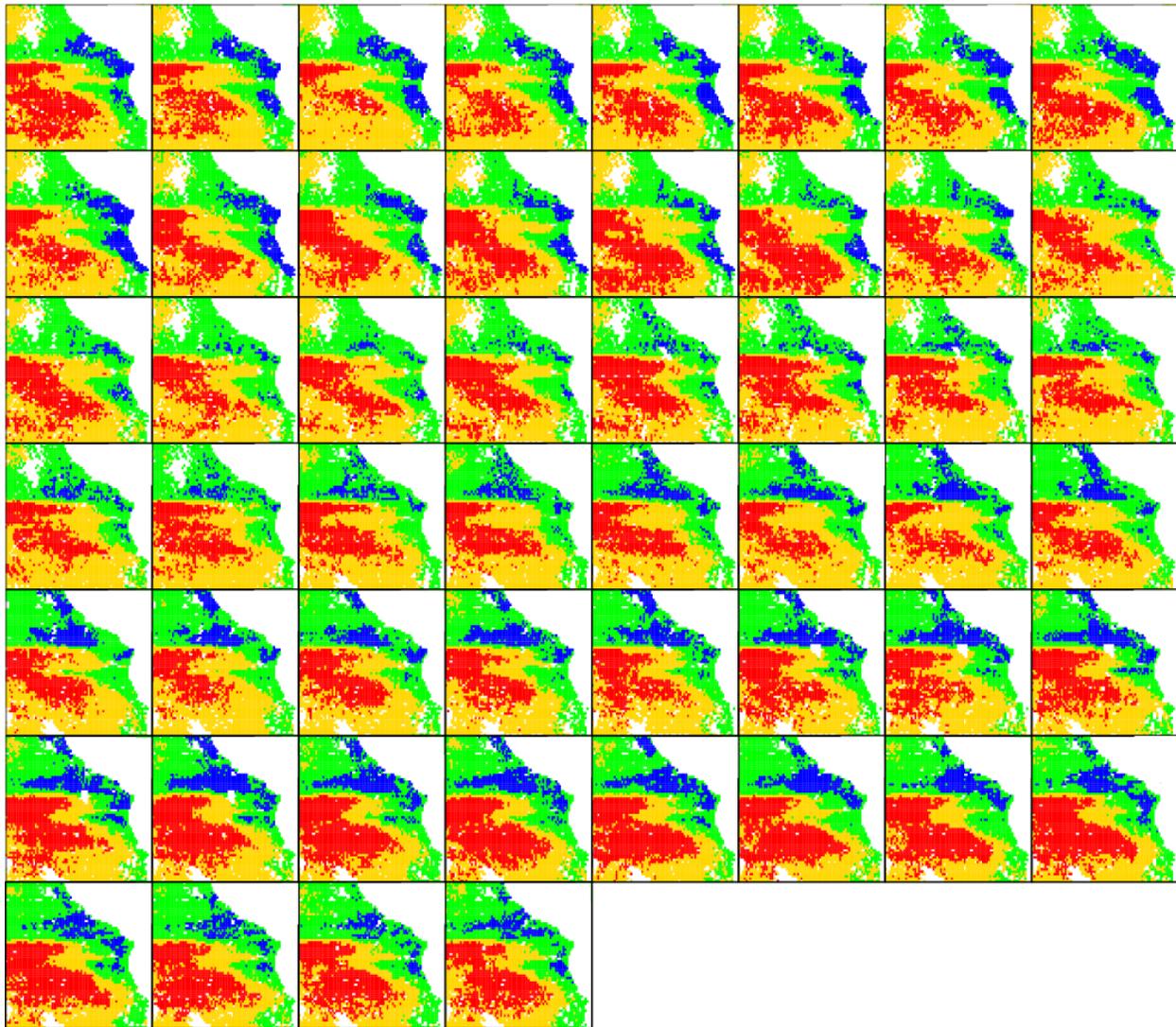
**FIGURE 5.** Variable importance plots from the random-forest algorithm for predicting presence/absence of bigeye in the catch, 2012-2013. The larger the value of variable importance (on the x-axis), the more influential the variable is with respect to correct classification. Only those 40 variables with the greatest variable importance values are shown. Red dots indicate influential lagged environmental variables; blue dots indicate gear variables. “lon”: longitud; “lat”: latitud; “netdpth.med”: median purse-seine net depth; “faddpth.med”: median floating-object depth; “objnum.med”: median local floating-object density; “epibio.med”: median percent coverage of fouling organisms; “frstdff”: first-difference. Other variable names are de-coded as follows: variable name abbreviation + mean/standard deviation/slope (“mean”/ “sd”/ “slpe”) + n (1-mes lag:  $n \leq 21$ ; 4-mes lag:  $n \geq 22$ ).

**FIGURA 5.** Gráficas de importancia variable del algoritmo de bosque aleatorio para predecir la presencia/ausencia de patudo en la captura, 2012-2013. Como más alto del valor de importancia variable (en el eje x), mayor la influencia de la variable con respecto a clasificación correcta. Se presentan solamente las 40 variables con los valores de importancia variable más altos. Los puntos rojos indican variables ambientales retardadas influyentes; los puntos azules indican variables de arte. “lon”: longitud; “lat”: latitud; “netdpth.med”: profundidad mediana de la red de cerco; “faddpth.med”: profundidad mediana del objeto flotante; “objnum.med”: densidad mediana local de objetos flotantes; “epibio.med”: cobertura porcentual mediana de epibiota; “frstdff”: primera diferencia. Se descifran los nombres de las otras variables como sigue: nombre abreviado de la variable + promedio/desviación estándar/pendiente (“mean”/ “sd”/ “slpe”) + n (retardo de 1 mes:  $n \leq 21$ ; retardo de 4 meses:  $n \geq 22$ ).



**FIGURE 6.** Random-forest partial-dependence plots for the probability of catching bigeye as a function of net depth and floating-object depth. The greater the value of partial dependence, the greater the odds of catching bigeye. The rug at the bottom of each figure shows the deciles of the variable values (1 fathom = 1.83 meters).

**FIGURA 6.** Gráficas de dependencia parcial de bosque aleatorio de la probabilidad de capturar patudo como función de la profundidad de la red y la profundidad del objeto flotante. Como mayor el valor de dependencia parcial, mayor la probabilidad de capturar patudo. La alfombra al pie de cada figura indica los déciles de los valores de las variables (1 braza = 1.83 m).



**FIGURE 7.** Weekly prediction maps for 2014 of the probability of catching bigeye: blue:  $< 0.25$ ; green:  $0.25-0.50$ ; yellow:  $0.50-0.75$ ; red:  $\geq 0.75$ . The map in the upper left corner corresponds to the predictions for the first week of 2014, and time progresses from left to right, and top to bottom.

**FIGURA 7.** Mapas de predicciones semanales para 2014 de la probabilidad de capturar patudo: azul:  $< 0.25$ ; verde:  $0.25-0.50$ ; amarillo:  $0.50-0.75$ ; rojo:  $\geq 0.75$ . El mapa en la esquina superior izquierda corresponde a las predicciones para la primera semana de 2014, y el tiempo avanza de izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo.

## Anexo

### Ecuación usada para estimar la captura total correspondiente a un escenario de veda particular

Captura total, por tipo de lance, de especies de atún en cada área de 5° después de la redistribución de lances que resulta de una veda espacial de la pesquería de cerco.

$$C_{TOT,i,t,sp} = \left[ \underbrace{\left( \sum_{i \in closure} k_i \right)}_{\text{Número total de lances de área vedada}} \underbrace{\left( \frac{k_{i \in open}}{\sum_{i \in open} k_i} \right)}_{\text{Proporción de lances por área de 5° contra lances realizados en el área abierta}} \underbrace{\left( \frac{k_{i \in open,t}}{k_{i \in open}} \right)}_{\text{Proporción de lances por tipo contra todos los lances realizados en un área de 5° abierta}} + \underbrace{k_{i \in open,t}}_{\text{Número existente de lances, por tipo, realizados en un área de 5° abierta}} \right] \underbrace{\left( \frac{\sum_{j=1}^{k_{i \in open}} y_{i \in open,t,sp,j}}{k_{i \in open,t}} \right)}_{\text{CPL por especie, por tipo de lance, por área de 5°}}$$

Número de lances redistribuidos, por tipo, por área de 5°

$k_{i,t}$  es el número de lances, por tipo  $t$ , que ocurrió en la  $i$ ésima área de 5°

$y_{i,j,t,sp}$  es la captura ( $t$ ) de la  $sp$ ésima especie de atún capturada en el  $j$ ésimo lance, por tipo  $t$ , que ocurrió en la  $i$ ésima área de 5°