

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

13<sup>a</sup> REUNIÓN

(por videoconferencia)

16-20 de mayo de 2022

## DOCUMENTO SAC-13 INF-I

### DESARROLLO DE DEFINICIONES DE PESQUERÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN DEL ATÚN BARRILETE EN EL OPO

Mark N. Maunder, Haikun Xu y Cleridy E. Lennert-Cody

#### RESUMEN

Se analizaron datos de composición por talla del atún barrilete provenientes de lances de buques cerqueros de clase 6 sobre atunes asociados a objetos flotantes (OBJ) y cardúmenes no asociados (NOA) mediante métodos de árbol de regresión para distribuciones de frecuencias para determinar la estructura de pesquerías para su uso en la evaluación de la población provisional. Se utilizaron la latitud, la longitud, el trimestre y el trimestre cíclico como predictores candidatos para definir las pesquerías. Se consideró también el año como predictor candidato, pero al estandarizar los datos de composición por talla, dividiéndolos por la media de las proporciones por talla de año-trimestre para eliminar la variación del reclutamiento, resultó que el año tenía poco poder explicativo. El trimestre y el trimestre cíclico también tenían poco poder explicativo. Las definiciones de pesquerías candidatas se basaron en una evaluación subjetiva de las ventajas y desventajas entre un número de pesquerías que fuera práctico (con un máximo de 6) y el porcentaje de variación explicada por el número de divisiones (es decir, particiones de los datos de frecuencia de talla basadas en las variables predictoras y sus valores). La primera división, ubicada en la longitud 120°O, se encontró tanto en los datos de lances OBJ como en los NOA, pero las divisiones posteriores diferían según el tipo de lance. El uso de divisiones OBJ para los datos NOA disminuyó el porcentaje de variación explicada para dicho tipo de lance. Debido a lo anterior y a la existencia de diferencias espaciales en el área de operaciones de las dos pesquerías, se eligieron definiciones de pesquerías distintas para cada tipo de lance. Se utilizaron en total tres divisiones (cuatro pesquerías) para definir las pesquerías correspondientes a cada tipo de lance en la evaluación de la población.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones de peces y sus pesquerías, es importante tener en cuenta la estructura espacial en las evaluaciones de poblaciones y en la ordenación pesquera. Lamentablemente, no se suele contar con información directa sobre la estructura de la población (por ejemplo, el marcado o la genética), ni tampoco la información necesaria para realizar evaluaciones de población espaciales (por ejemplo, las tasas de desplazamiento). Por ende, se debe recurrir a otras fuentes de información y aproximaciones a evaluaciones de población espaciales. Uno de los posibles enfoques consiste en emplear el método de pesquerías como áreas, el cual aproxima la estructura espacial de una población al aplicar diferentes curvas de selectividad en cada área (Waterhouse *et al.*, 2014). Este enfoque reconoce que existen diferencias espaciales en la talla (edad) de los peces y que al pescar en áreas diferentes, se eliminan de la población peces de talla (edad) diferente. Sin embargo, el enfoque supone

que, generalmente, los peces se redistribuirán instantáneamente, de modo que todos los individuos quedan vulnerables a una pesquería, salvo según lo modificado por su curva de selectividad. Para aplicar este enfoque, es necesario definir las pesquerías de manera espacial. La disponibilidad espacial por talla también es susceptible de diferir por trimestre debido a los movimientos estacionales.

Identificamos pesquerías para la evaluación provisional del barrilete (SAC-13-07), definidas por área y/o estación con base en el análisis de datos de frecuencia de talla. Se emplea un enfoque de árbol de regresión para las distribuciones de frecuencias con el fin de identificar las áreas y/o estaciones que presentan una composición por talla similar en la captura (Lennert-Cody *et al.*, 2010; 2013). El análisis se realiza para las dos principales pesquerías cerqueras que capturan atún barrilete en el OPO: 1) lances sobre atunes asociados a objetos flotantes (OBJ) y 2) lances sobre cardúmenes libres (NOA). Las definiciones de las pesquerías para cada tipo de lance se determinan a partir de la estructura del árbol de regresión. Dado que el producto del análisis de árbol de regresión constituye una entrada para el modelo de evaluación, el número de pesquerías seleccionadas para cada tipo de lance se determina subjetivamente, como equilibrio entre el porcentaje de variación explicada por el árbol y el número de pesquerías resultantes, en un esfuerzo por explicar la mayor cantidad de variación posible en los datos de frecuencia de talla con un número manejable de pesquerías. Esto se contrapone al análisis de árbol de regresión típico, en el que se selecciona el “mejor” árbol por poda con validación cruzada (Breiman *et al.*, 1984).

## 2. MÉTODOS

Se utiliza un enfoque de árbol de regresión para distribuciones de frecuencias, basado en los métodos presentados en Lennert-Cody *et al.* (2010; 2013), para categorizar los datos de frecuencia de talla de pesquerías en grupos homogéneos con base en la latitud de 5°, longitud de 5°, trimestre y trimestre cíclico asociados a la captura. También se investiga la posibilidad de utilizar el año como predictor numérico. En primer lugar, los datos se separan por tipo de lance: OBJ y NOA. Solamente utilizamos datos provenientes de buques de clase 6 y no utilizamos datos de bodegas para las que se separó la captura por categorías de peso antes de que se pusiera a disposición de muestreadores. Los datos de frecuencia de talla son recolectados por muestreadores en puerto (ver Suter 2010 y sus referencias) y solamente se muestrean las bodegas con capturas del mismo tipo de lance, de la misma área de muestreo y del mismo año-mes. Los peces se miden en milímetros. Nos centramos en los datos existentes a partir de 2000, dado que el protocolo de muestreo empleado por el programa de muestreo en puerto de la CIAT cambió en 2000 y además la pesquería OBJ se expandió hacia el oeste, dentro del Océano Pacífico oriental (OPO), durante los años 1990. Sin embargo, también analizamos los datos de 1990 a 1999 con fines comparativos (ver Anexo B). No utilizamos datos de 2020 o 2021 debido al efecto de la pandemia de COVID-19 sobre la recolección de datos de muestreo en puerto (por ejemplo, SAC-13 INF-L, SAC-13-05). Los datos brutos de frecuencia de talla fueron agrupados en intervalos de talla de 10 cm, salvo el primero y el último de los intervalos, que corresponden a intervalos “adicionales”: [1,39] [40,49] [50,59] [60,69] [70,∞]. Sin embargo, a modo de análisis de sensibilidad para investigar la introducción de sesgo provocado por el establecimiento de intervalos excesivos, también se ejecutó el análisis de árbol de regresión sobre los datos de frecuencia de talla clasificados en intervalos de 5 cm.

Analizamos los datos de frecuencia de talla agrupados por intervalos de tres maneras:

- 1) Por bodega individual (en lo sucesivo, el método de “Bodegas”);
- 2) Agrupados por 5° de latitud, 5° de longitud y año-trimestre (en lo sucesivo, el método de “Agrupación”);

- 3) Por bodega individual, divididos por la proporción media correspondiente al año-trimestre (en lo sucesivo, el método de “Estandarización”).

El método de Bodegas otorga a cada bodega el mismo peso, mientras que el método de Agrupación pondera implícitamente cada muestra de bodega por la captura existente en la bodega. La medida de discrepancia utilizada por la metodología del árbol fue diseñada para las distribuciones, por lo que teóricamente puede no ser apta para el enfoque de Estandarización, pero en la medida en que la técnica de árbol de regresión que estamos utilizando constituye una herramienta de análisis exploratorio de datos, consideramos que aún proporciona información útil cuando se aplica a los datos estandarizados. El enfoque de Estandarización corresponde a un intento por eliminar los efectos de factores temporales, tales como la existencia de cohortes importantes que se mueven entre la población, sobre la composición por talla; estos factores, que pueden distorsionar las frecuencias de talla, no están relacionados con los efectos de la selectividad o la distribución espacial por talla. Además, investigamos la estandarización de los datos agrupados y el uso de intervalos de talla más pequeños (5 cm), esta vez fijando los intervalos adicionales a partir de 30 cm y 80 cm. Se utilizó esta resolución más fina en los intervalos de talla para determinar si la escala de intervalos de 10 cm pudo haber ocultado la existencia de una distribución bimodal en la composición por talla. La presencia de una distribución bimodal indica que se han combinado dos pesquerías que deberían tener selectividades distintas. Permitimos un máximo de 5 divisiones en el análisis de árbol de regresión para restringir el número de pesquerías con el fin de que la evaluación de la población fuera práctica.

El análisis se lleva a cabo mediante el paquete en R FishFreqTree (desarrollado por Haikun Xu y basado en código escrito originalmente por Cleridy Lennert-Cody), el cual se encuentra disponible mediante el comando de instalación `devtools::install_github('HaikunXu/FishFreqTree',ref='main')`.

### 3. RESULTADOS

Para simplificar la presentación de los resultados, hemos utilizado un sistema de etiquetado para identificar los escenarios. Utilizamos el formato `WWW.XXX.YYY.ZZZ`, donde `WWW` corresponde al tipo de lance (OBJ, NOA), `XXX` es el año (1990 = años 1990-1999; 2000 = años 2000-2019), `YYY` indica el tipo de análisis previo para el procesamiento de los datos (Well = cada muestra de bodega corresponde a un punto de datos; Agg = los datos se agrupan por trimestre y área de 5°; Std = se estandarizaron los datos, dividiendo las proporciones por talla por la media de las proporciones por talla para todos los puntos de datos en el año-trimestre correspondiente, y cada muestra de bodega corresponde a un punto de datos; Both [en español, “Ambos”] = se estandarizaron los datos por la media de las proporciones por talla para dicho año y luego los datos se agruparon por trimestre y área de 5°) y `ZZZ` indica si el año se utiliza como predictor (noYear = el año no se utiliza como predictor; Year = el año sí se utiliza como predictor). Por ejemplo, el análisis realizado sobre los lances OBJ, con muestras de bodegas individuales como puntos de datos, utilizando los datos de 2000 y años posteriores y sin incluir el año como predictor y además sin estandarizar los datos por año, se denominaría `OBJ.2000.Well.noYear`. En los casos en los que la etiqueta hace referencia a todas las categorías dentro de un grupo, sustituimos la categoría por las tres letras correspondientes a dicho grupo (por ejemplo, `OBJ.1990.YYY.noYear` indica todos los resultados correspondientes a lances OBJ, con los datos de 1990-1999 y sin utilizar el año como predictor, independientemente del tipo de “puntos” de datos: Well, Agg, Std y Both).

En el marco subjetivo en el que hemos realizado los análisis de árbol de regresión, existen muchos resultados por considerar para cada uno de los escenarios analizados. En particular, cada división del árbol de regresión para un escenario determinado ofrece un gran número de divisiones alternativas. En el caso

que nos ocupa, frecuentemente varias de estas alternativas explican cantidades similares de variación, lo cual se debe probablemente a un alto nivel de variabilidad inherente en los datos brutos de frecuencia de talla. Según la división que se tome, las divisiones posteriores podrán ser diferentes. Como parte de un análisis exhaustivo, se podrían analizar divisiones alternativas con niveles similares de variación explicada, pero eso implicaría interpretar un gran número de análisis y resultados. Tomemos, por ejemplo, la primera división para el análisis de OBJ.2000.Well.noYear. La longitud explica, por mucho, la mayor cantidad de varianza, pero la división exacta no se conoce con certeza (se puede decir que se ubica en cualquier lugar entre 125°O y 110°O) (Figura 1). En las primeras divisiones, el tipo de división (latitud, longitud, trimestre, año) estaba bien determinado, pero algunas de las divisiones posteriores eran confusas. Por ejemplo, en la tercera división de OBJ.2000.Agg.noYear, no queda claro si la división debe ser por latitud o longitud.

En la Tabla 1 se presentan las mejores divisiones para cada análisis de los datos de 2000 a 2019 (los resultados correspondientes a los datos de 1990 a 1999 se presentan en el Anexo B). Las divisiones elegidas entre los diferentes métodos (Well, Agg, Std) en ocasiones son las mismas o son similares (por ejemplo, OBJ.2000.YYY.noYear), pero también pueden ser muy diferentes (por ejemplo, OBJ.1990.YYY.noYear). De incluirse como predictor, muchas veces se elige el año, aunque no siempre (por ejemplo, NOA.1990.Well.Year). En todos los casos, cuando se estandarizan los datos dividiéndolos por la media de año-trimestre, el año se elige por primera vez ya sea en el mismo paso que cuando los datos no se estandarizan o bien en una división posterior (ver Anexo C).

Dadas las incongruencias entre los dos periodos de tiempo, nos centramos en el segundo, que coincide con el periodo considerado para la evaluación provisional de la población (finalmente, se utilizó el periodo del trimestre 1 de 2005 a 2021 para la evaluación de la población) y permite evitar el periodo de expansión de la pesquería. Por otra parte, debido a la tendencia de elegir el año como predictor cuando es posible, lo cual podría deberse a la variabilidad anual en la fuerza de reclutamiento, nos centramos en los resultados de los enfoques en los que se estandarizan los datos dividiéndolos por la media de las proporciones para cada año-trimestre y en los que no se incluye el año como predictor (ver Anexo C para consultar los resultados con el año como predictor). La primera división para OBJ y NOA es la misma y corresponde a una longitud de 120°O. Sin embargo, la segunda división para cada tipo de lance es muy diferente, ya que OBJ se divide a una latitud de 10°S y NOA se divide a una longitud de 85°O. Resulta útil investigar de qué manera se comportan las diferentes divisiones de cada tipo de lance respecto del otro tipo de lance. Una longitud de 85°O ofrece la tercera mejor división para OBJ.2000.Std.noYear con una disminución de 15 unidades o del 20% en la medida de heterogeneidad. Una latitud de 10°S ofrece la segunda mejor división para NOA.2000.Std.noYear con una disminución de 10 unidades o del 17% en la medida de heterogeneidad.

Ejecutamos los dos tipos de lance, forzando estas divisiones alternativas sobre el otro tipo de lance para determinar el comportamiento de los modelos. Para identificar estas ejecuciones de los modelos, agregamos “xisy” al final de la notación, donde la división x se fija en el y<sup>ésimo</sup> candidato del modelo original que se basó en la mejor elección para cada división. El modelo OBJ.2000.Std.noYear.2is3, de cinco divisiones, explicó esencialmente la misma cantidad de variación, mientras que el modelo NOA.2000.Std.noYear.2is2, también de cinco divisiones, explicó alrededor de medio por ciento menos de variación (Tabla 2). Las divisiones 3ª y 4ª de OBJ.2000.Std.noYear.2is3 eran las mismas y lo que era originalmente la 2ª división pasó a ser la 5ª (Tabla 2), lo que arroja definiciones de pesquerías distintas (Figura 4). La 3ª división de NOA.2000.Std.noYear.2is2 era la misma y la 4ª división pasó a ser la 5ª división.

De igual manera, investigamos alternativas para la tercera división. La 3ª división de NOA.2000.Std.noYear se encuentra en la latitud 20°N y ocupa el lugar 46 en los mejores candidatos tanto para el modelo

OBJ.2000.Std.noYear como para OBJ.2000.Std.noYear.2is3, por lo que no se considera con mayor detenimiento.

La 3ª división de OBJ.2000.Std.noYear se ubica en la longitud 100°O y constituye el 8º mejor candidato para el modelo NOA.2000.Std.noYear y el 9º para NOA.2000.Std.noYear.2is2. Ejecutamos el modelo NOA.2000.Std.noYear.2is2 utilizando la longitud 100°O como tercera división, lo cual arrojó un modelo de cinco divisiones que explicó un 1.8% menos de variación que el mejor modelo.

Por último, también ejecutamos todas las combinaciones de modelos con tres divisiones, considerando las primeras tres alternativas en cada división, lo que arrojó la segunda mejor elección para la segunda división para ambos tipos de lance, explicando esencialmente la misma cantidad de variación. Para OBJ, esto solo invirtió el orden de la segunda y tercera divisiones, pero cambia la agrupación del área central sur (Figura 5). No se modifican las áreas en el caso de NOA.

Las divisiones eran las mismas al utilizar los intervalos de 5 cm, pero la varianza explicada fue diferente (Tabla 3). La resolución de 5 cm ilustra mejor la composición por talla para cada área (Figuras 6 y 7). Para cada análisis, se observa una distribución multimodal en el área central norte para OBJ y en área de alta mar para la pesquería NOA. Sin embargo, esto se mantuvo en los mejores análisis de 5 divisiones y en los análisis de NOA la distribución bimodal se produjo en otra área (Figuras 8 y 9, las definiciones de áreas se presentan en las Figuras 10 y 11).

#### **4. DEFINICIONES DE PESQUERÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN**

Se debe tener en cuenta la necesidad de hallar un equilibrio entre diversos elementos a la hora de determinar las definiciones de pesquerías. Es necesario modelar más pesquerías para representar adecuadamente los peces extraídos de la población, sin que sean tantas como para representar el error de muestreo aleatorio en lugar de diferencias reales en la talla de los individuos entre diferentes áreas. También es necesario limitar el número de pesquerías para asegurar que resulte práctico ejecutar el modelo de evaluación, desde el punto de vista del tiempo de cómputo y problemas de convergencia. También resulta útil contar con las mismas definiciones de pesquerías entre los diferentes métodos de pesca, particularmente con vistas a la ordenación espacial. Sin embargo, es posible utilizar, en las evaluaciones de poblaciones, diferentes definiciones según el método de pesca cuando se emplea el enfoque de pesquerías como áreas (es decir, cuando no se modela explícitamente la estructura espacial). Por último, el uso de un número de pesquerías demasiado grande puede dar lugar a áreas pequeñas, con un tamaño de muestra reducido, lo cual causa problemas a la hora de realizar estimaciones de la composición por talla y composición de capturas para la evaluación.

Los resultados del análisis de árbol de regresión indican la cantidad de variación explicada conforme se va realizando cada división. A medida que se van haciendo más divisiones, se explica menos variación adicional. No existen actualmente criterios cuantitativos para determinar el número adecuado de divisiones para definir pesquerías para una evaluación de poblaciones; tales criterios se basarían probablemente en comentarios sobre el funcionamiento del modelo de evaluación. Así, por ahora, se decide de manera arbitraria cuántas divisiones realizar, teniendo en cuenta diversos factores, como los señalados anteriormente.

Para la población de barrilete en el OPO, se elige una división alrededor de 120°O de longitud como primera división, tanto para los datos OBJ como los NOA, y por lo tanto constituye una división evidente que deberá incluirse en las definiciones de pesquerías. Sin embargo, no fue posible identificar divisiones comunes posteriores y el uso de divisiones OBJ para los datos NOA disminuyó la cantidad de variación

explicada. Por ende, decidimos definir las pesquerías de manera distinta para cada tipo de lance, particularmente porque las áreas de pesca son bastante diferentes ([SAC-13 INF-K](#)). Considerando la reducción en el porcentaje de variación explicada, para cada tipo de lance decidimos utilizar las primeras tres divisiones del análisis de árbol de regresión que utilizaban datos estandarizados a nivel de bodega para el periodo de 2000 a 2019 (es decir, estandarizados mediante la división de cada muestra de bodega por la media de las proporciones de año-trimestre). Lo anterior arrojó cuatro pesquerías para cada tipo de lance (Figuras 2 y 3). Estas definiciones de pesquerías no son una representación perfecta de la variación espacial existente en los datos de composición por talla (ver Anexo A) e investigaciones futuras deberán considerar agrupaciones espaciales más flexibles y posiblemente irregulares. El área pequeña en el norte para NOA es susceptible de producir tamaños de muestra pequeños y, por ende, puede introducir sesgos en las entradas para la evaluación de la población en los casos en los que la metodología de estimación de captura debe recurrir a datos de otras áreas y/o puntos temporales para generar la captura utilizada en la evaluación. Por lo tanto, se debe considerar fijar o tomar prestada la selectividad de esta pesquería en la evaluación de la población y no ajustarla a los datos de composición por talla.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Juan Valero aportó comentarios sobre el manuscrito.

## 6. REFERENCIAS

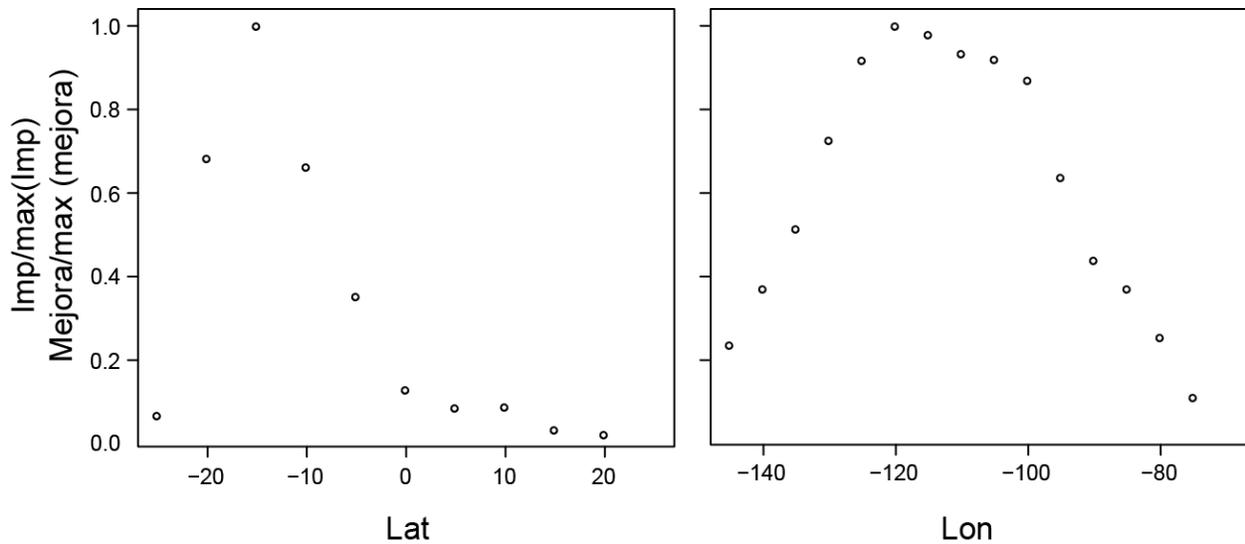
Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984. Classification and Regression Trees. Chapman and Hall/CRC, p. 358.

Lennert-Cody, Cleridy E., Mark N. Maunder, Alexandre Aires-da-Silva, and Mihoko Minami. 2013. "Defining Population Spatial Units: Simultaneous Analysis of Frequency Distributions and Time Series." Fisheries Research 139 (March): 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.10.001>.

Lennert-Cody, Cleridy E., Mihoko Minami, Patrick K. Tomlinson, and Mark N. Maunder. 2010. "Exploratory Analysis of Spatial temporal Patterns in Length frequency Data: An Example of Distributional Regression Trees." Fisheries Research 102 (3): 323–26. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.11.014>.

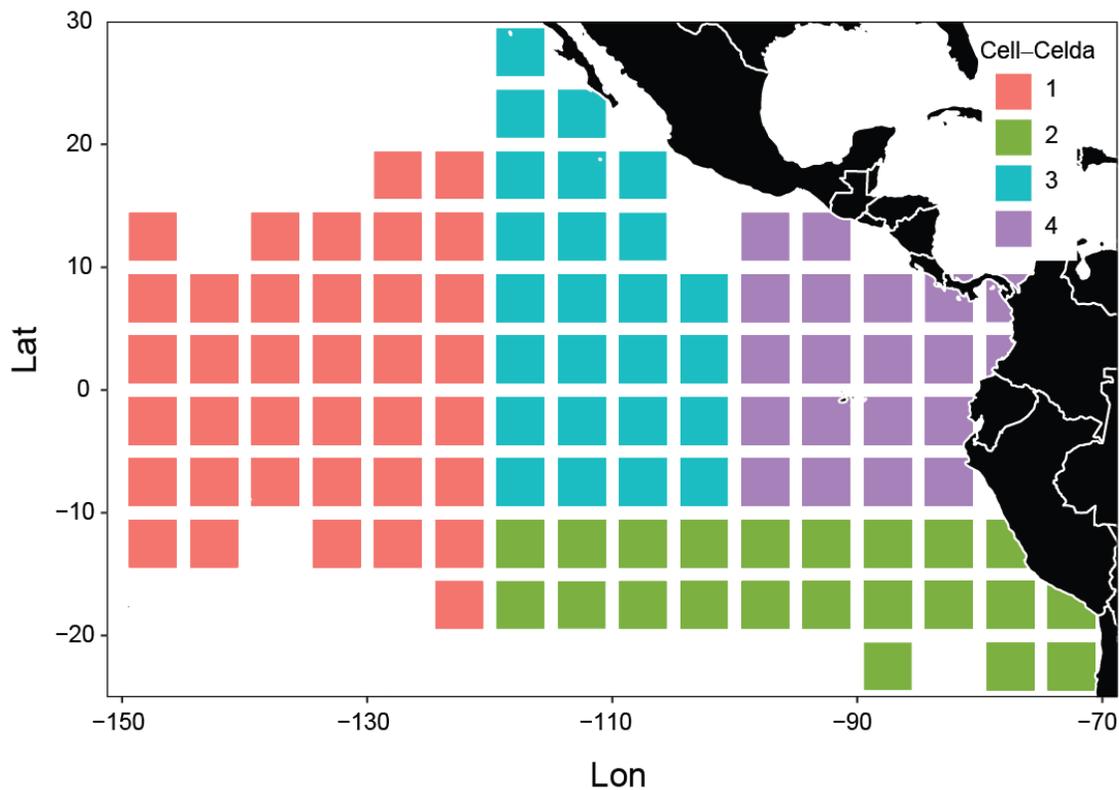
Suter 2010. IATTC Special Report 18.

Waterhouse, L., Sampson, D.B., Maunder, M.N., Semmens, B.X., 2014. Using areas-as-fleets selectivity to model spatial fishing: asymptotic curves are unlikely under equilibrium conditions. Fish. Res. 158, 15–25.



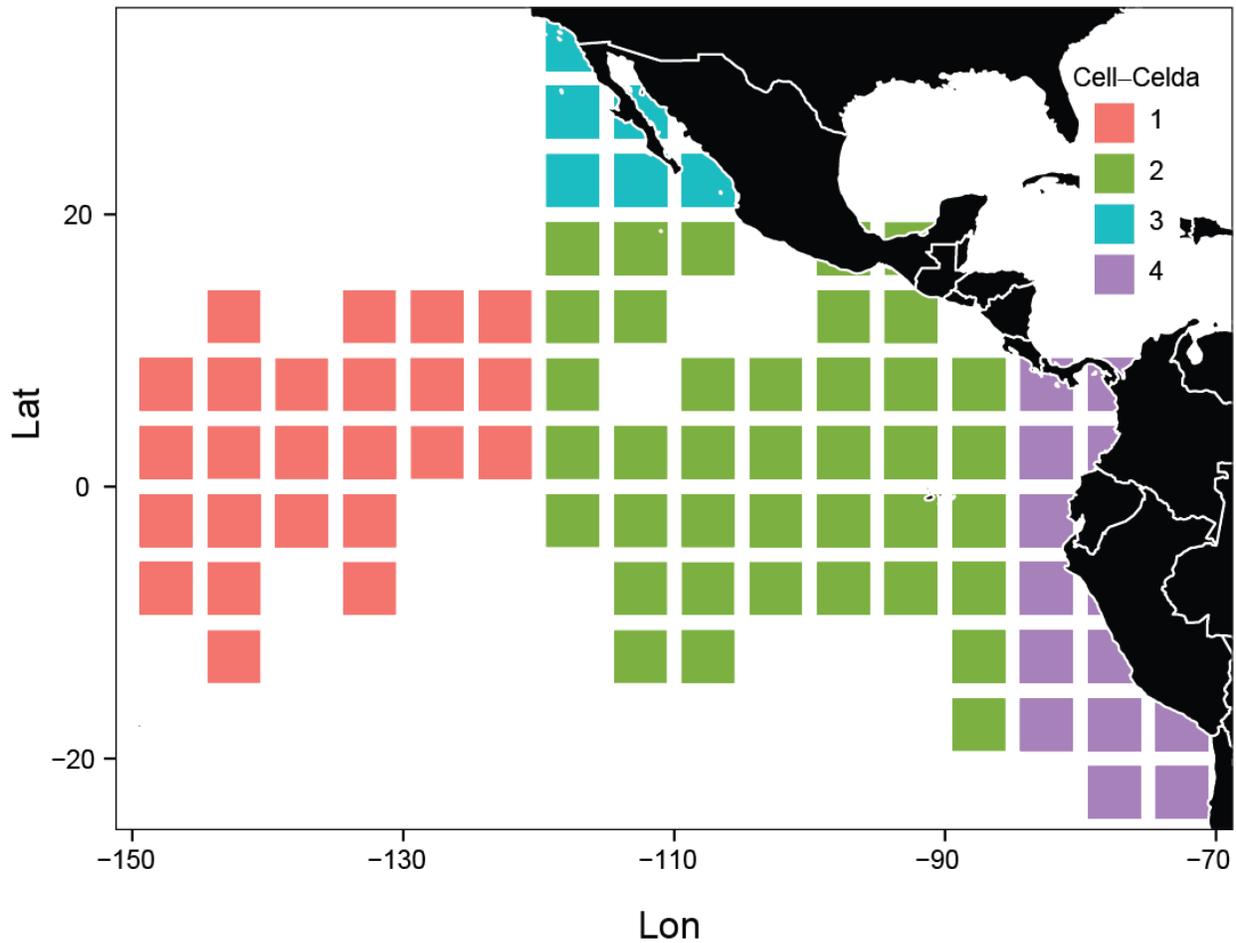
**FIGURE 1.** Scaled (maximum of one) improvement for latitude (left) and longitude (right) for the OBJ.2000.Well.noYear model.

**FIGURA 1.** Mejora escalada (con un valor máximo de uno) para la latitud (izquierda) y la longitud (derecha) para el modelo OBJ.2000.Well.noYear.



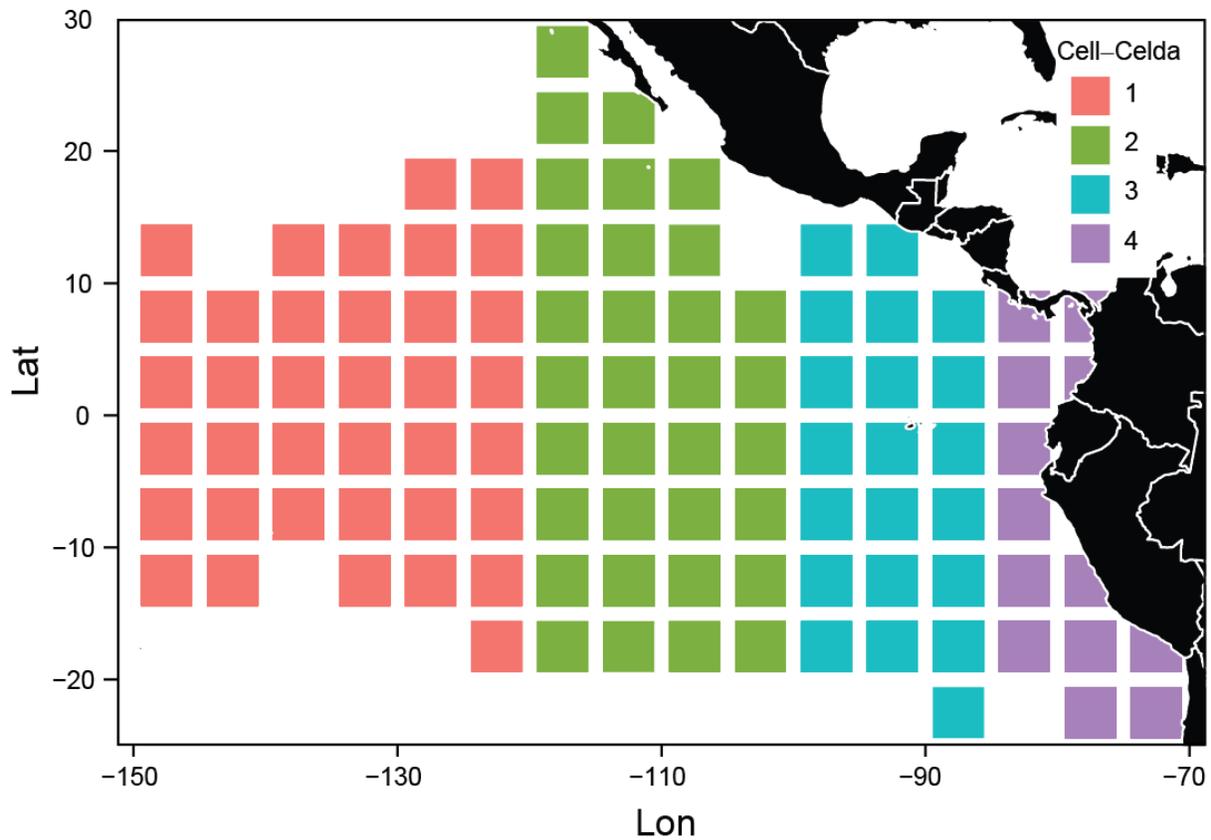
**FIGURE 2.** Fishery definitions chosen for the floating-object fishery for skipjack in the EPO from the best 3 splits in the OBJ.2000.Std.noYear analysis.

**FIGURA 2.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería sobre objetos flotantes de barrilete en el OPO a partir de las 3 mejores divisiones en el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.



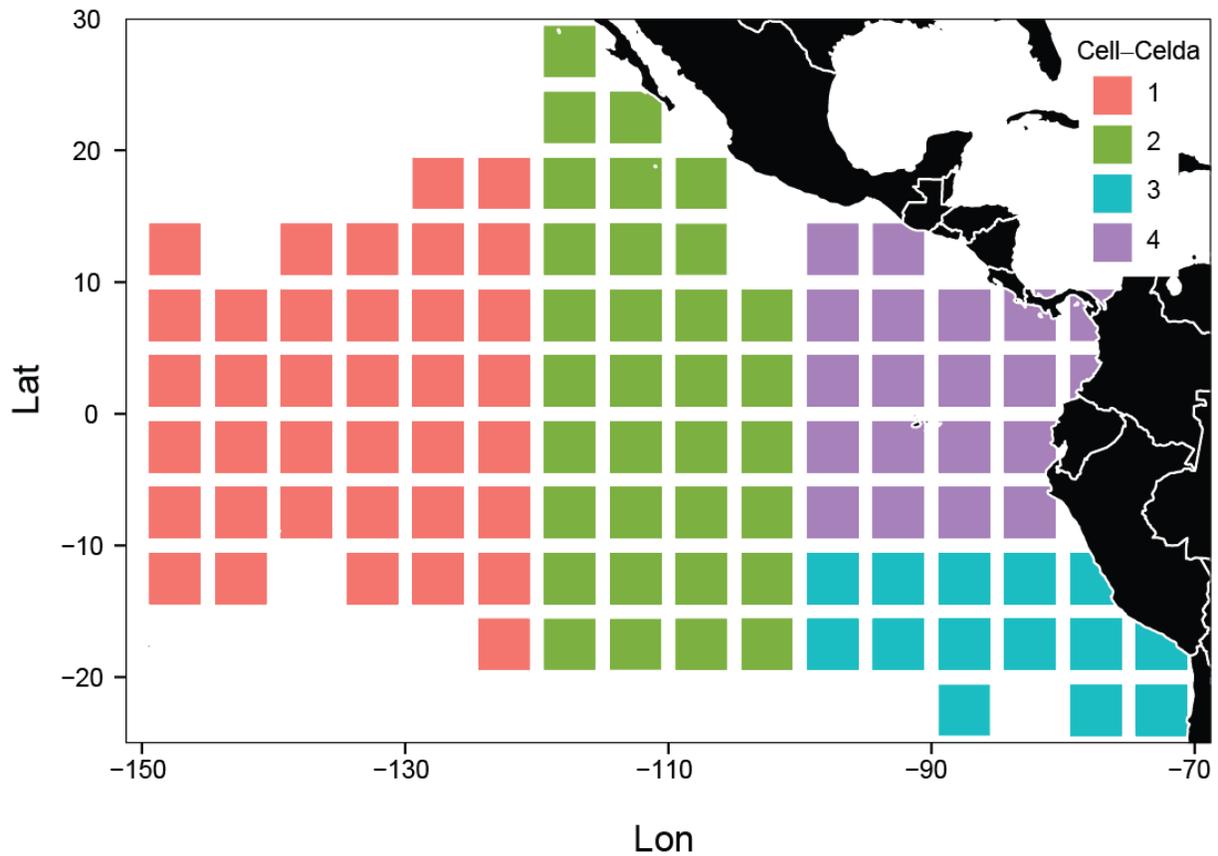
**FIGURE 3.** Fishery definitions chosen for the unassociated fishery for skipjack in the EPO from the best 3 splits in the NOA.2000.Std.noYear analysis.

**FIGURA 3.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería no asociada de barrilete en el OPO a partir de las 3 mejores divisiones en el análisis de NOA.2000.Std.noYear.



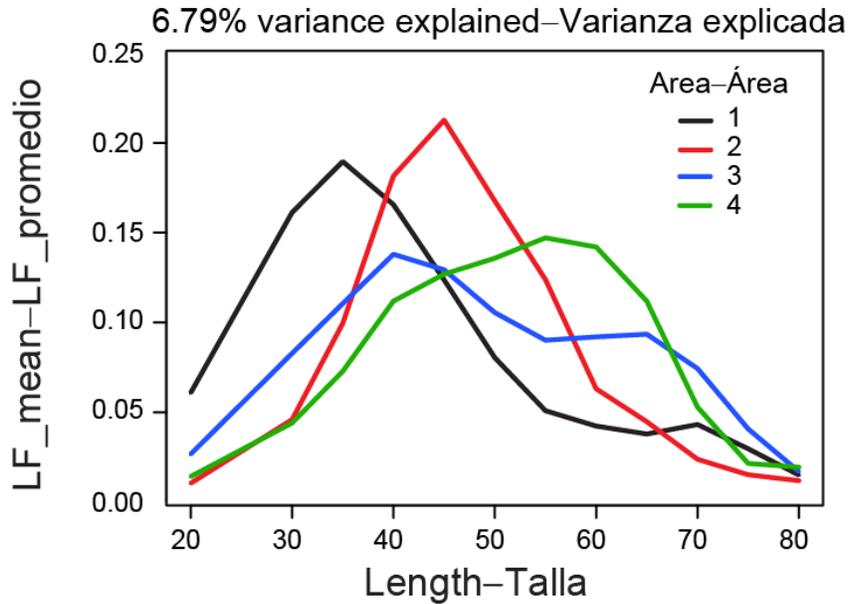
**FIGURE 4.** Fishery definitions chosen for the floating-object fishery for skipjack in the EPO when the 2<sup>nd</sup> split from the NOA.2000.Std.noYear is used as the 2<sup>nd</sup> split in the OBJ.2000.Std.noYear analysis.

**FIGURA 4.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería sobre objetos flotantes de barrilete en el OPO cuando la 2<sup>a</sup> división de NOA.2000.Std.noYear se utiliza como la 2<sup>a</sup> división en el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.

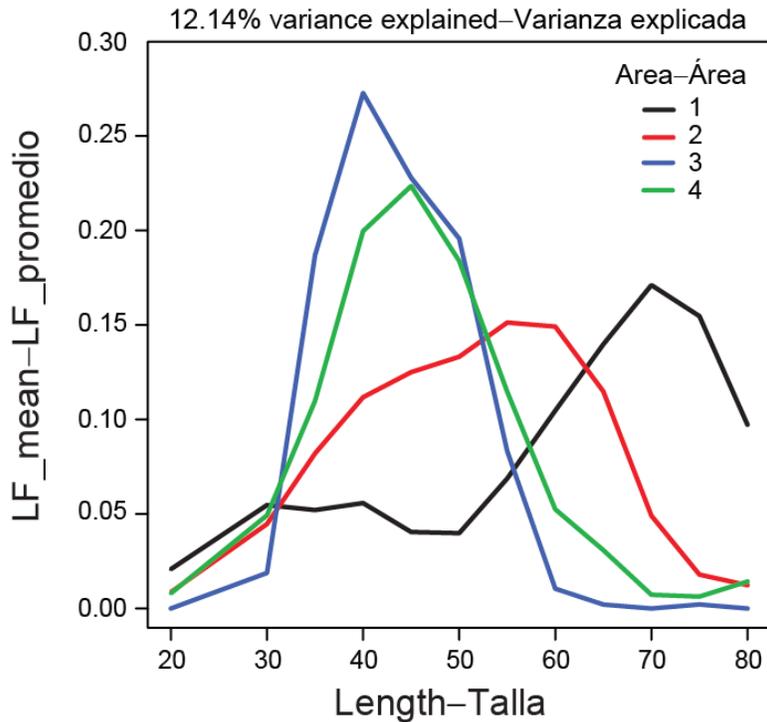


**FIGURE 5.** Fishery definitions chosen for the floating-object fishery for skipjack in the EPO when the second and third splits are reversed in the OBJ.2000.Std.noYear analysis.

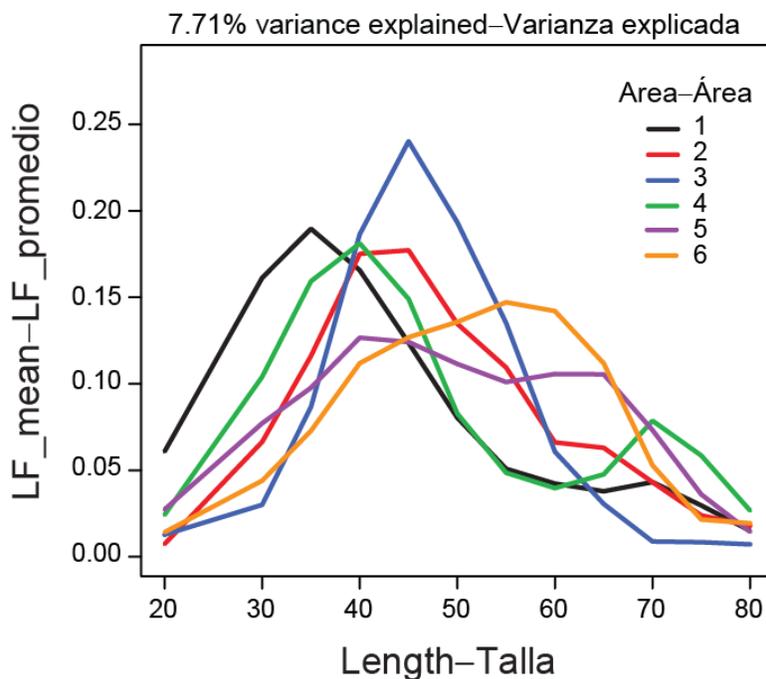
**FIGURA 5.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería sobre objetos flotantes de barrilete en el OPO cuando se invierten la segunda y tercera divisiones en el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.



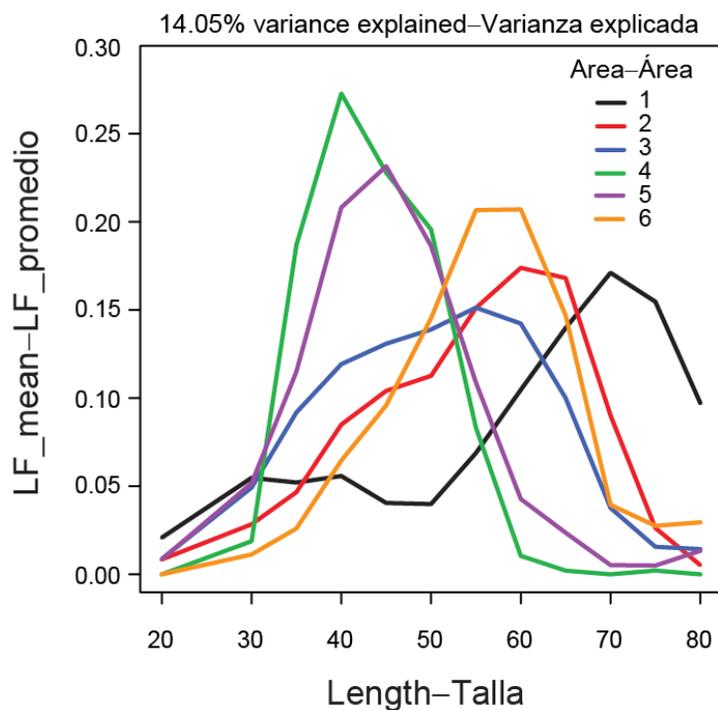
**FIGURE 6.** Length-frequency distributions for the 4 areas chosen by the best 3 splits for the OBJ.2000.Std.noYear.5cm analysis. The points are indicated by the bin lower bounds.  
**FIGURA 6.** Distribuciones de frecuencias de talla para las 4 áreas elegidas por las 3 mejores divisiones para el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.5cm. Los puntos se indican en el límite inferior de los intervalos.



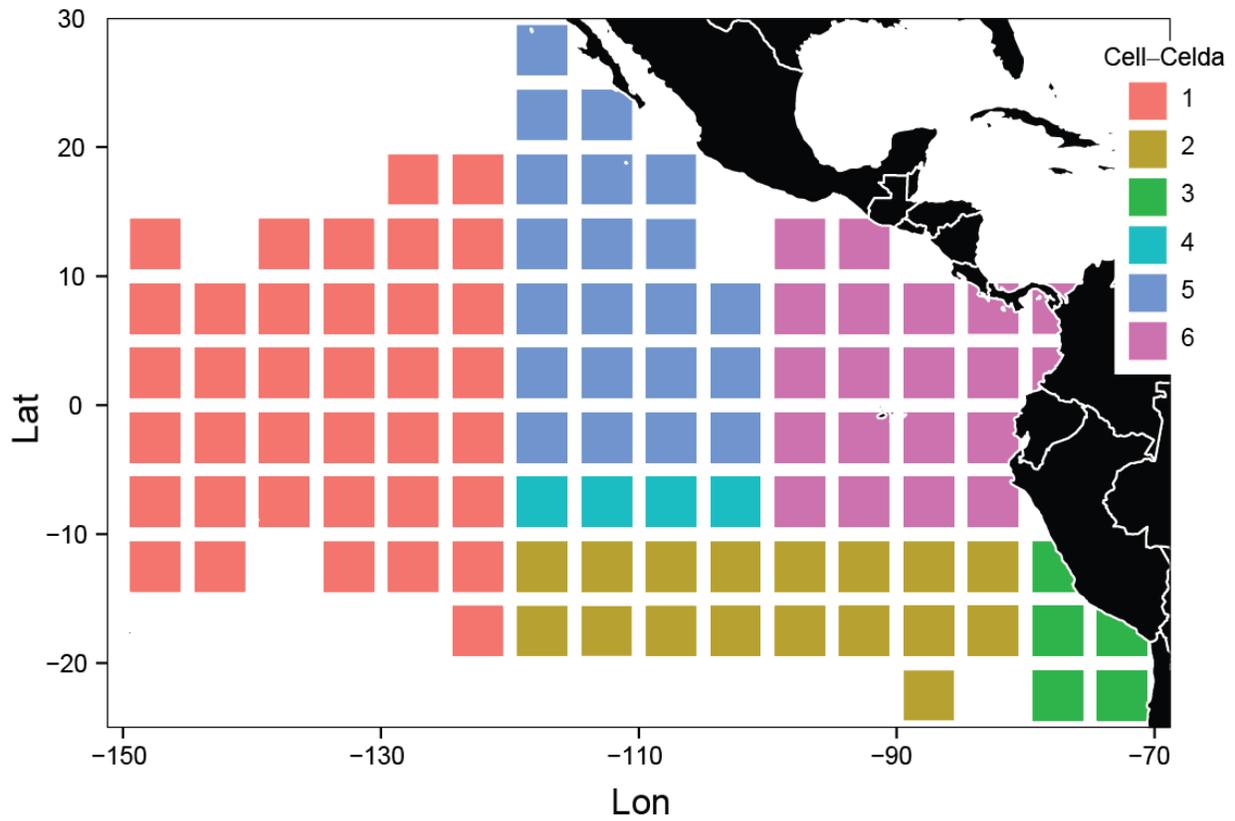
**FIGURE 7.** Length-frequency distributions for the 4 areas chosen by the best 3 splits for the NOA.2000.Std.noYear.5cm analysis. The points are indicated by the bin lower bounds.  
**FIGURA 7.** Distribuciones de frecuencias de talla para las 4 áreas elegidas por las 3 mejores divisiones para el análisis de NOA.2000.Std.noYear.5cm. Los puntos se indican en el límite inferior de los intervalos.



**FIGURE 8.** Length-frequency distributions for the 4 areas chosen by the best 5 splits for the OBJ.2000.Std.noYear.5cm analysis. The points are indicated by the bin lower bounds.  
**FIGURA 8.** Distribuciones de frecuencias de talla para las 4 áreas elegidas por las 5 mejores divisiones para el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.5cm. Los puntos se indican en el límite inferior de los intervalos.

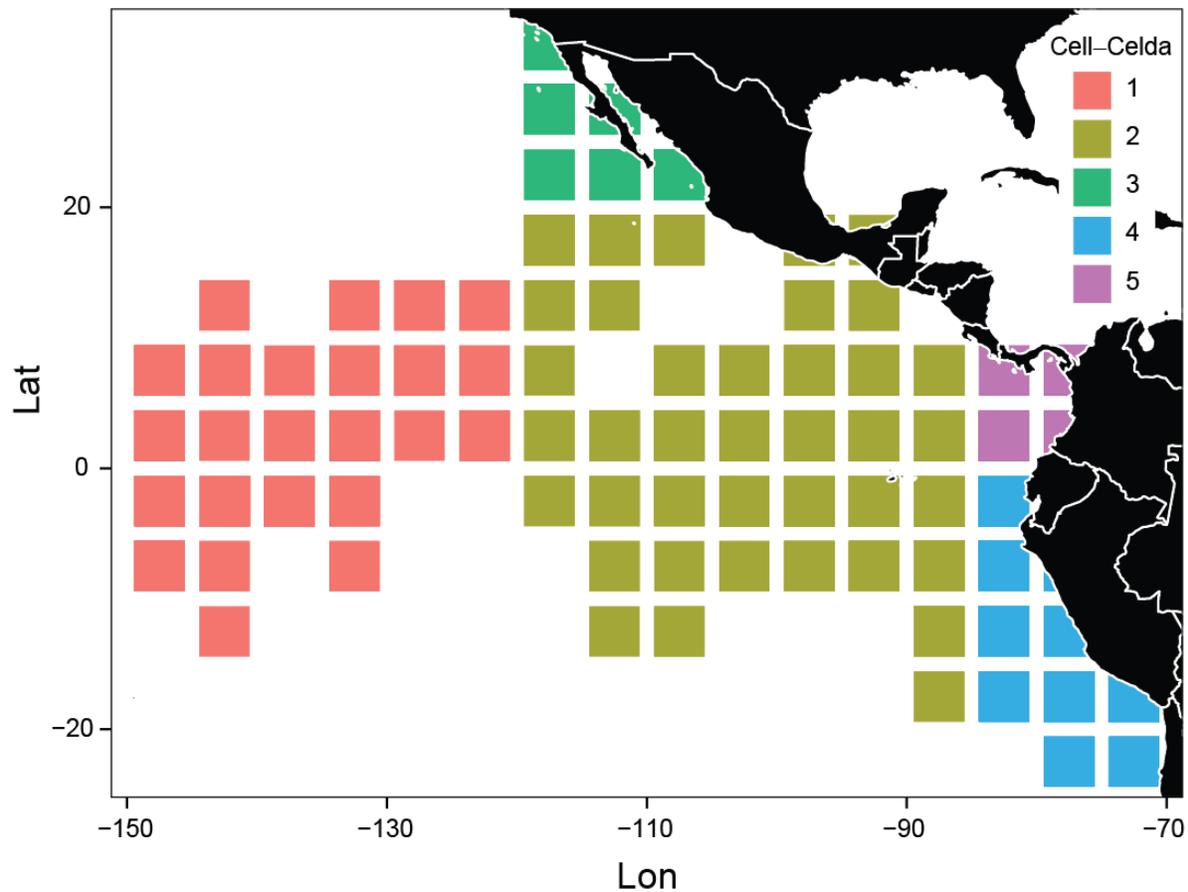


**FIGURE 9.** Length-frequency distributions for the 4 areas chosen by the best 5 splits for the NOA.2000.Std.noYear.5cm analysis. The points are indicated by the bin lower bounds.  
**FIGURA 9.** Distribuciones de frecuencias de talla para las 4 áreas elegidas por las 5 mejores divisiones para el análisis de NOA.2000.Std.noYear.5cm. Los puntos se indican en el límite inferior de los intervalos.



**FIGURE 10.** Fishery definitions chosen for the floating object fishery for skipjack in the EPO from the best 5 splits in the OBJ.2000.Std.noYear analysis.

**FIGURA 10.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería sobre objetos flotantes de barrilete en el OPO a partir de las 5 mejores divisiones en el análisis de OBJ.2000.Std.noYear.



**FIGURE 11.** Fishery definitions chosen for the unassociated fishery for skipjack in the EPO from the best 5 splits in the NOA.2000.Std.noYear analysis. Note that the 5<sup>th</sup> split is cyclic quarter.

**FIGURA 11.** Definiciones de pesquerías elegidas para la pesquería no asociada de barrilete en el OPO a partir de las 5 mejores divisiones en el análisis de NOA.2000.Std.noYear. Cabe notar que la 5<sup>a</sup> división corresponde al trimestre cíclico.

**TABLE 1.** Splits and variation explained using data from 2000-2019 for the three methods applied for the two set types. Interpretation of the splits is complicated because it depend on the previous splits and which area the split occurs in (this is indicated by Cell, but Cell refers to the previous areas not the final areas). Interpretation is easy when referring to the final fishery maps (see figures 9 and 10). Key is the type of predictor used in the split; Lon = Longitude, Lat = latitude, Qrt = quarter, CQrt = cyclic quarter, Year = year. Value is the value of the predictor where the split occurred. Values less than or equal to this are included in one group and values larger than this are included in the other group. Var\_explained is the cumulative variance explained by that split and the previous splits.

**TABLA 1.** Las divisiones y la variación explicada con los datos de 2000 a 2019, para los tres métodos aplicados para los dos tipos de lance. Resulta complicado interpretar las divisiones debido a que la interpretación depende de las divisiones anteriores y del área en la que se produce la división (esto se indica en la columna “Celda”, pero el valor de “Celda” corresponde a las áreas anteriores y no a las áreas finales). La interpretación es fácil en referencia a los mapas de pesquerías finales (ver Figuras 9 y 10). “Clave” corresponde al tipo de predictor utilizado en la división: Lon = Longitud, Lat = Latitud, Qrt = trimestre, CQrt = trimestre cíclico, Year = año. “Valor” corresponde al valor del predictor donde se produjo la división. Los valores menores o iguales a este valor se incluyen en un grupo y los valores mayores se incluyen en el otro grupo. “Var\_explained” corresponde al porcentaje acumulado de varianza explicada por esa división y las divisiones anteriores.

OBJ.2000.Well.noYear					NOA.2000.Well.noYear				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	115°O	NA	7.12%	División 1	Lon	120°O	NA	11.38%
División 2	Lat	10°S	2	9.65%	División 2	Lon	85°O	2	16.81%
División 3	Lon	100°O	3	10.49%	División 3	Lat	20°N	2	21.78%
División 4	Lon	125°O	1	11.27%	División 4	Lat	0°	4	25.07%
División 5	Lat	5°S	4	11.84%	División 5	CQrt	134;2	4	25.86%
OBJ.2000.Agg.noYear					NOA.2000.Agg.noYear				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	115°O	NA	8.11%	División 1	Lon	125°O	NA	6.60%
División 2	Lat	10°S	2	10.04%	División 2	Lat	10°S	2	11.63%
División 3	Lat	5°S	1	11.09%	División 3	Lat	15°N	3	15.03%
División 4	Lon	125°O	2	12.23%	División 4	Lon	100°O	3	17.18%
División 5	Lon	100°O	5	13.11%	División 5	Lat	0°	4	18.85%
OBJ.2000.Std.noYear					NOA.2000.Std.noYear				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	5.82%	División 1	Lon	120°O	NA	6.45%
División 2	Lat	10°S	2	7.63%	División 2	Lon	85°O	2	9.63%
División 3	Lon	100°O	3	8.84%	División 3	Lat	20°N	2	14.14%
División 4	Lat	5°S	3	9.56%	División 4	Lat	0°	4	15.79%
División 5	Lon	80°O	2	9.99%	División 5	CQrt	134;2	2	16.36%

**TABLE 2.** Additional analyses to investigate alternative splits. See Table 1 for definitions.

**TABLA 2.** Análisis adicionales para investigar divisiones alternativas. Ver la Tabla 1 para consultar las definiciones.

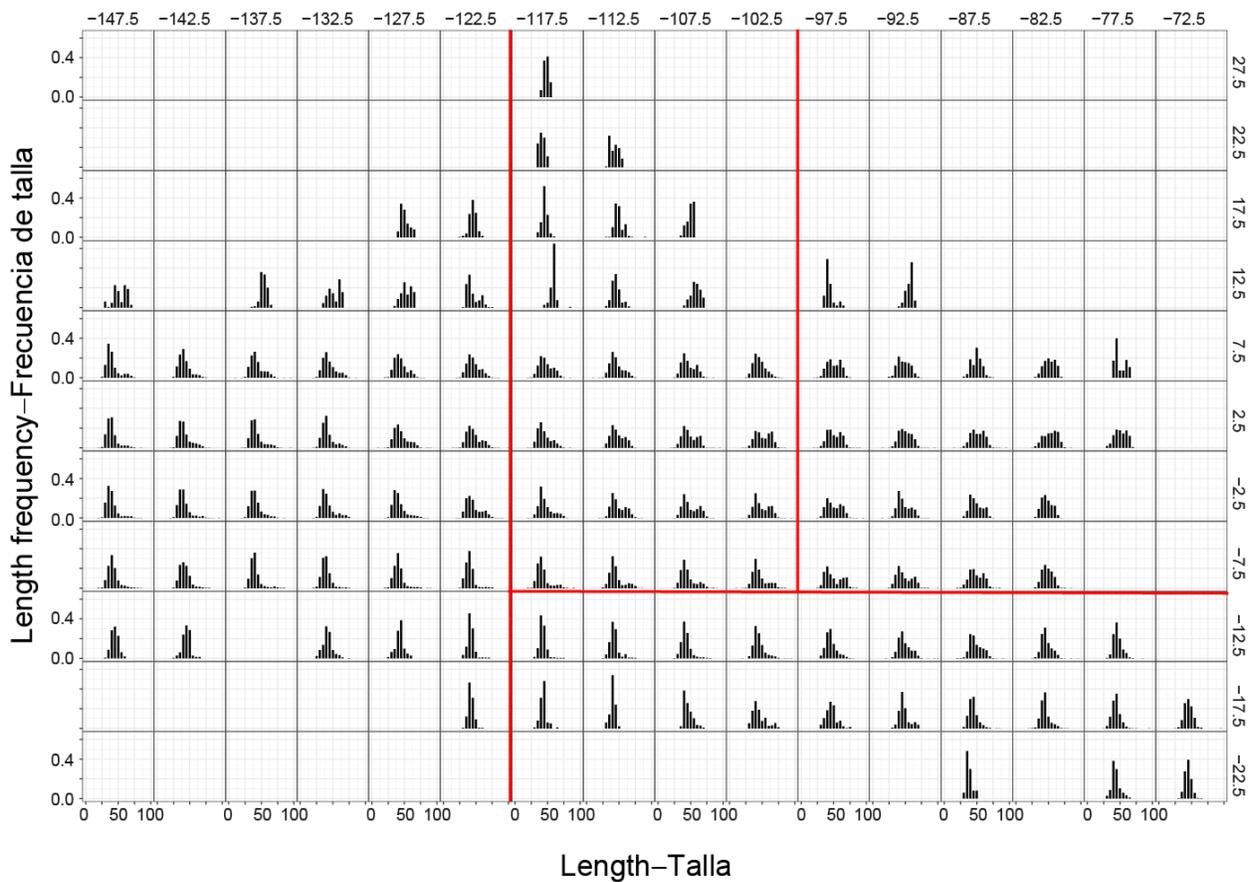
OBJ.2000.Std.noYear.2is3				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	5.82%
División 2	Lon	85°O	2	7.26%
División 3	Lon	100°O	2	8.34%
División 4	Lat	5°S	2	9.32%
División 5	Lat	10°S	5	10.01%
NOA.2000.Std.noYear.2is2				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	6.45%
División 2	Lat	10°S	2	9.09%
División 3	Lat	20°N	3	12.64%
División 4	Lon	85°O	3	14.63%
División 5	Lat	0°	4	15.89%
NOA.2000.Std.noYear.2is2.3is9				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	0.064479
División 2	Lat	10°S	2	0.090859
División 3	Lon	100°O	3	0.100643
División 4	Lat	20°N	3	0.130859
División 5	Lon	85°O	5	0.148292

**TABLE 3.** Evaluation with 5 cm length bins and extending the accumulators to be 10 cm less and 10 cm more than in the other analyses. See Table 1 for definitions.

**TABLA 3.** Evaluación con intervalos de talla de 5 cm y con expansión de los intervalos adicionales para que queden en 10 cm menos y 10 cm más que en los otros análisis. Ver la Tabla 1 para consultar las definiciones.

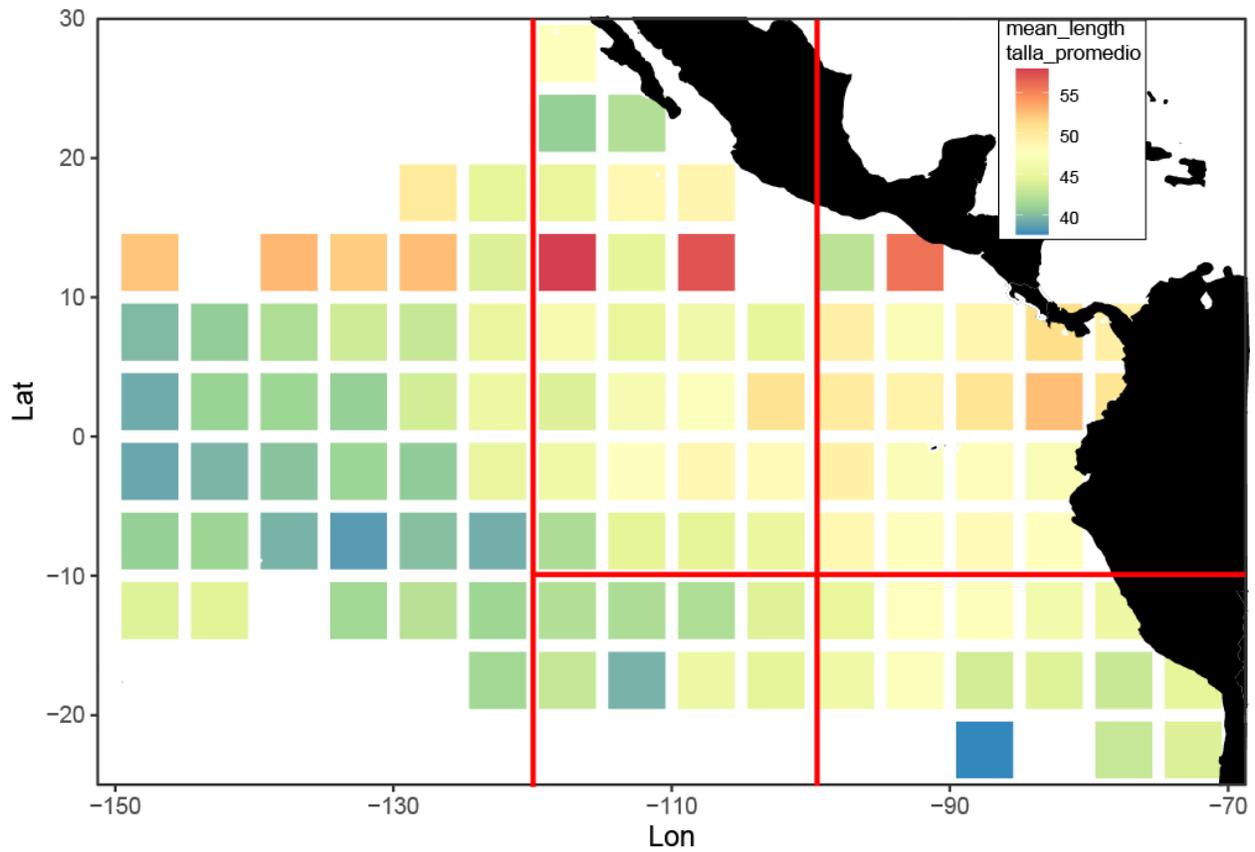
OBJ.2000.Std.noYear.5cm				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	4.42%
División 2	Lat	10°S	2	5.81%
División 3	Lon	100°O	3	6.79%
División 4	Lat	5°S	3	7.34%
División 5	Lon	85°O	2	7.71%
NOA.2000.Std.noYear.5cm				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	120°O	NA	5.55%
División 2	Lon	85°O	2	8.21%
División 3	Lat	20°N	2	12.12%
División 4	Lat	0°	4	13.49%
División 5	CQrt	134;2	2	14.03%

**ANEXO A: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA COMPOSICIÓN POR TALLA Y TALLA MEDIA.**



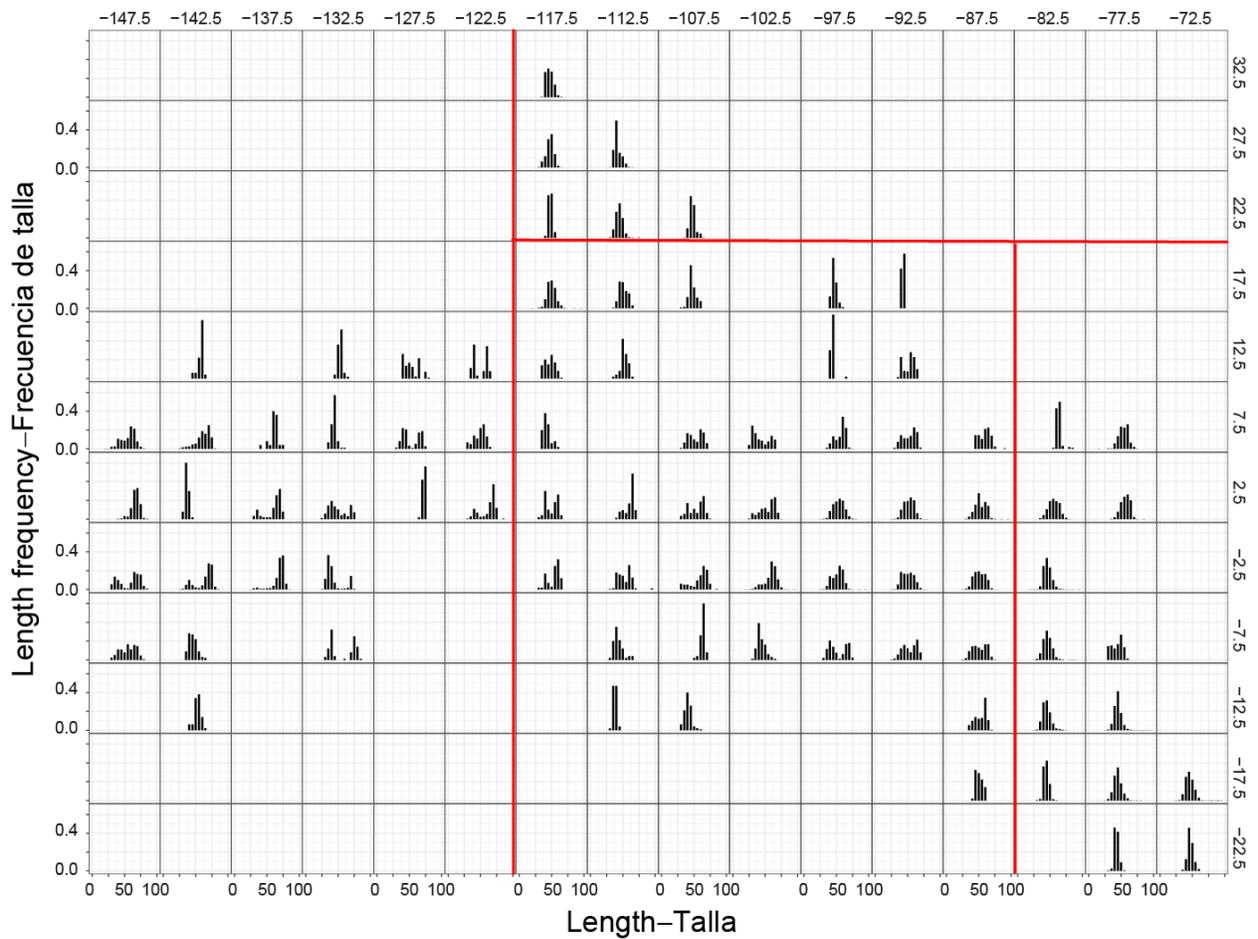
**FIGURE A1.** Spatial distribution of length-frequency data from 2000-2019 for sets on floating objects with the four fisheries. The x and y-axes are labeled at the mid-point of the 5 degree square.

**FIGURA A1.** Distribución espacial de los datos de frecuencia de talla de 2000 a 2019 para lances sobre objetos flotantes con las cuatro pesquerías. Los ejes 'x' y 'y' se encuentran marcados en el punto medio del cuadrángulo de 5 grados.



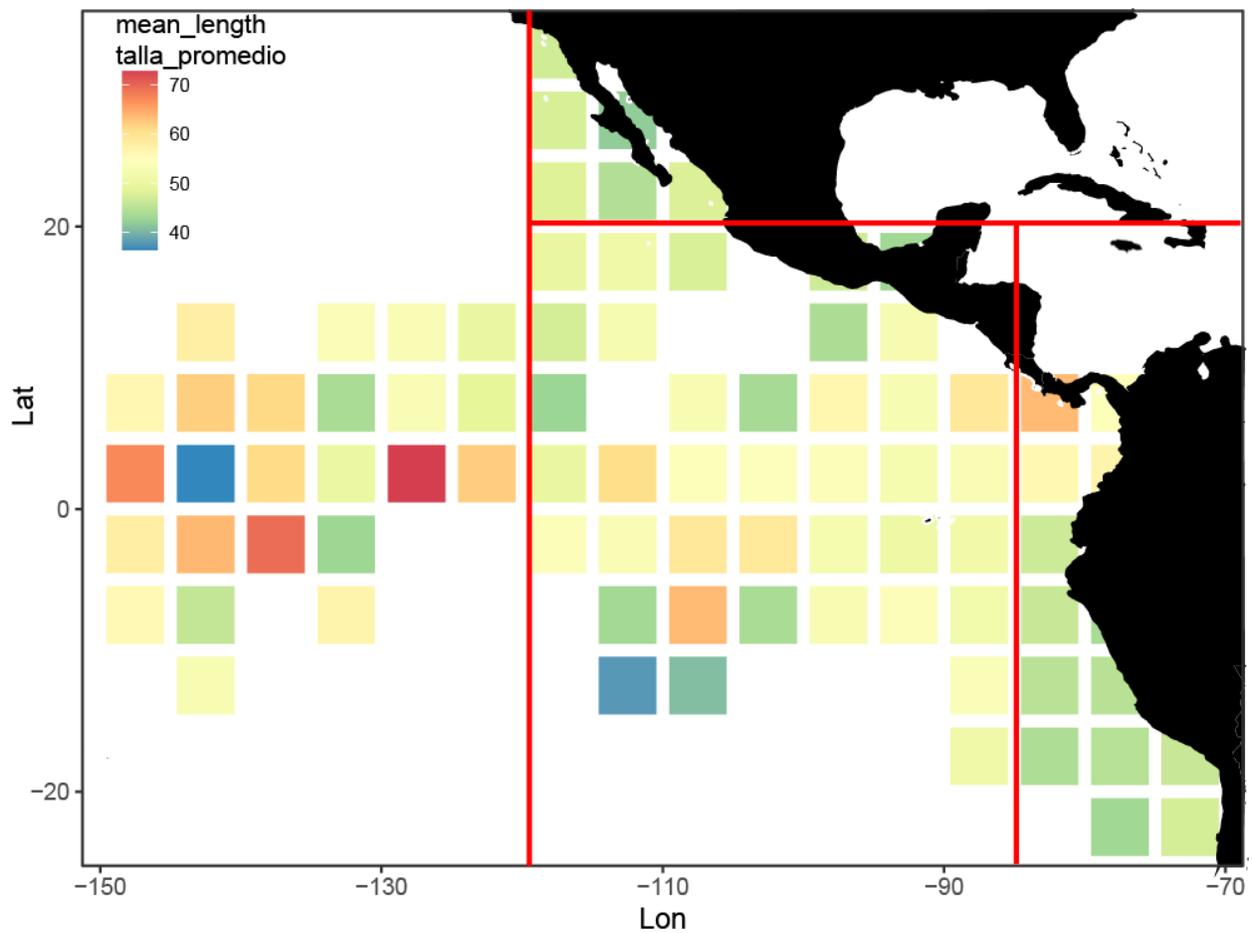
**FIGURE A2.** Spatial distribution of mean length from 2000-2019 for sets on floating objects with the four fisheries.

**FIGURA A2.** Distribución espacial de la talla media de 2000 a 2019 para lances sobre objetos flotantes con las cuatro pesquerías.



**FIGURE A3.** Spatial distribution of length-frequency data from 2000-2019 for sets on free swimming schools with the four fisheries. The x and y-axes are labeled at the mid-point of the 5 degree square.

**FIGURA A3.** Distribución espacial de los datos de frecuencia de talla de 2000 a 2019 para lances sobre cardúmenes libres con las cuatro pesquerías. Los ejes 'x' y 'y' se encuentran marcados en el punto medio del cuadrángulo de 5 grados.

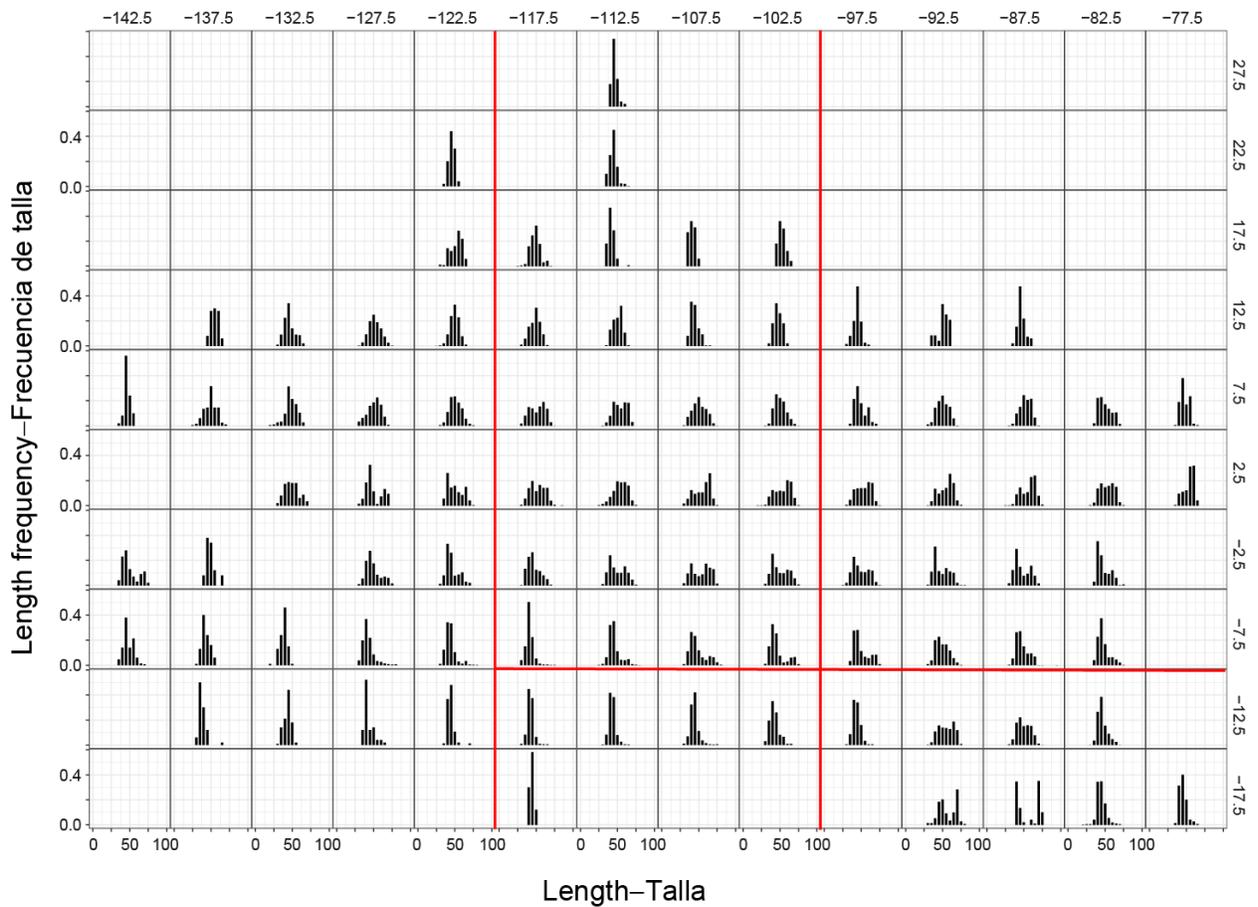


**FIGURE A4.** Spatial distribution of mean length from 2000-2019 for sets on free swimming schools with the four fisheries.

**FIGURA A4.** Distribución espacial de la talla media de 2000 a 2019 para lances sobre cardúmenes libres con las cuatro pesquerías.

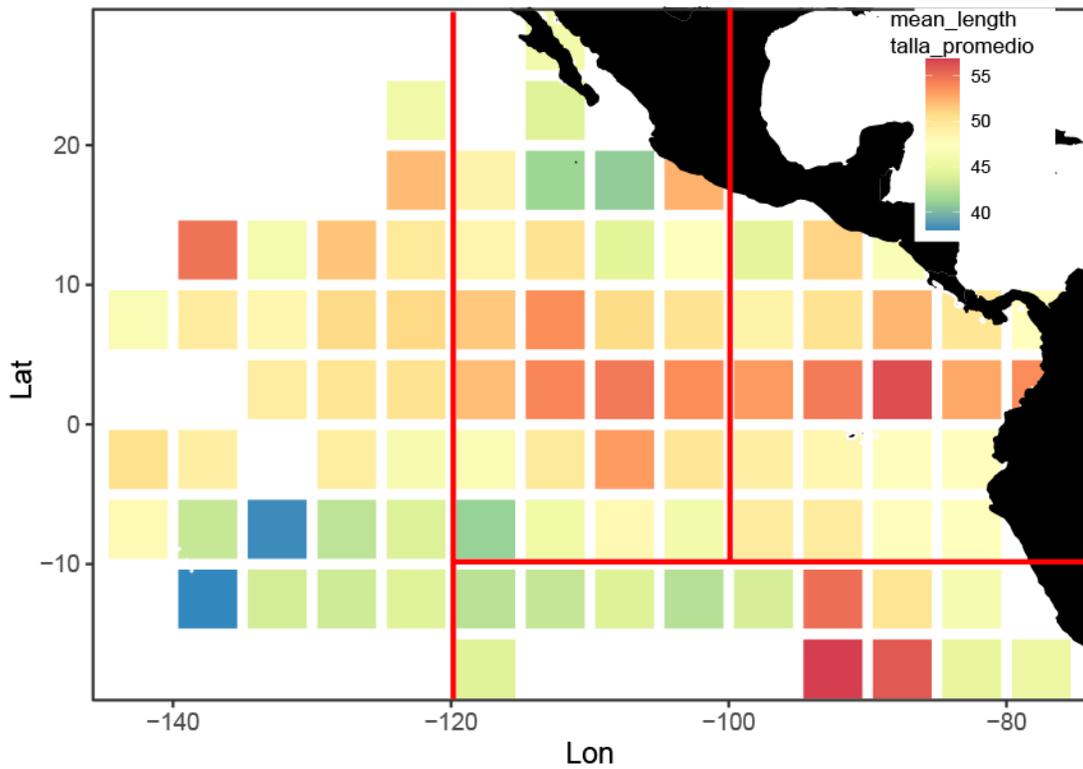
## **ANEXO B: ANÁLISIS ADICIONALES**

Existen diferencias considerables en las divisiones entre los dos tipos de lance y los dos periodos de tiempo (compárese la Tabla 1 con la Tabla B1). En el primer periodo se selecciona la latitud para la primera división OBJ, pero en el segundo periodo la división se realiza sobre la longitud. Del mismo modo, en el primer periodo se selecciona la latitud para la primera división NOA, pero en el segundo periodo la división se realiza sobre la longitud. Las divisiones secundarias empiezan a ser más variables entre los tipos de lance.



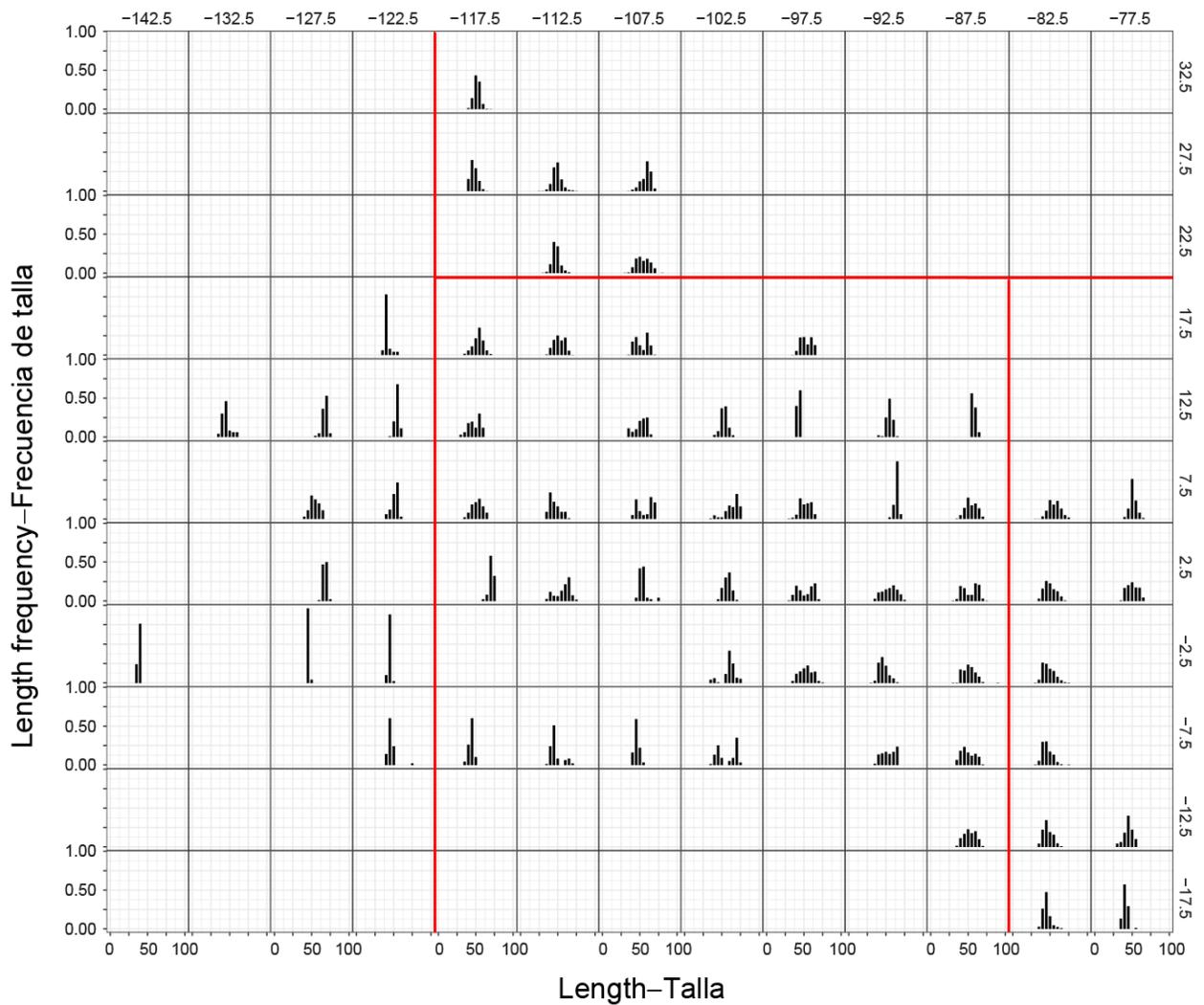
**FIGURE B1.** Spatial distribution of length-frequency data from 1990-1999 for sets on floating objects with the four fisheries. The x and y-axes are labeled at the mid-point of the 5 degree square.

**FIGURA B1.** Distribución espacial de los datos de frecuencia de talla de 1990 a 1999 para lances sobre objetos flotantes con las cuatro pesquerías. Los ejes 'x' y 'y' se encuentran marcados en el punto medio del cuadrángulo de 5 grados.



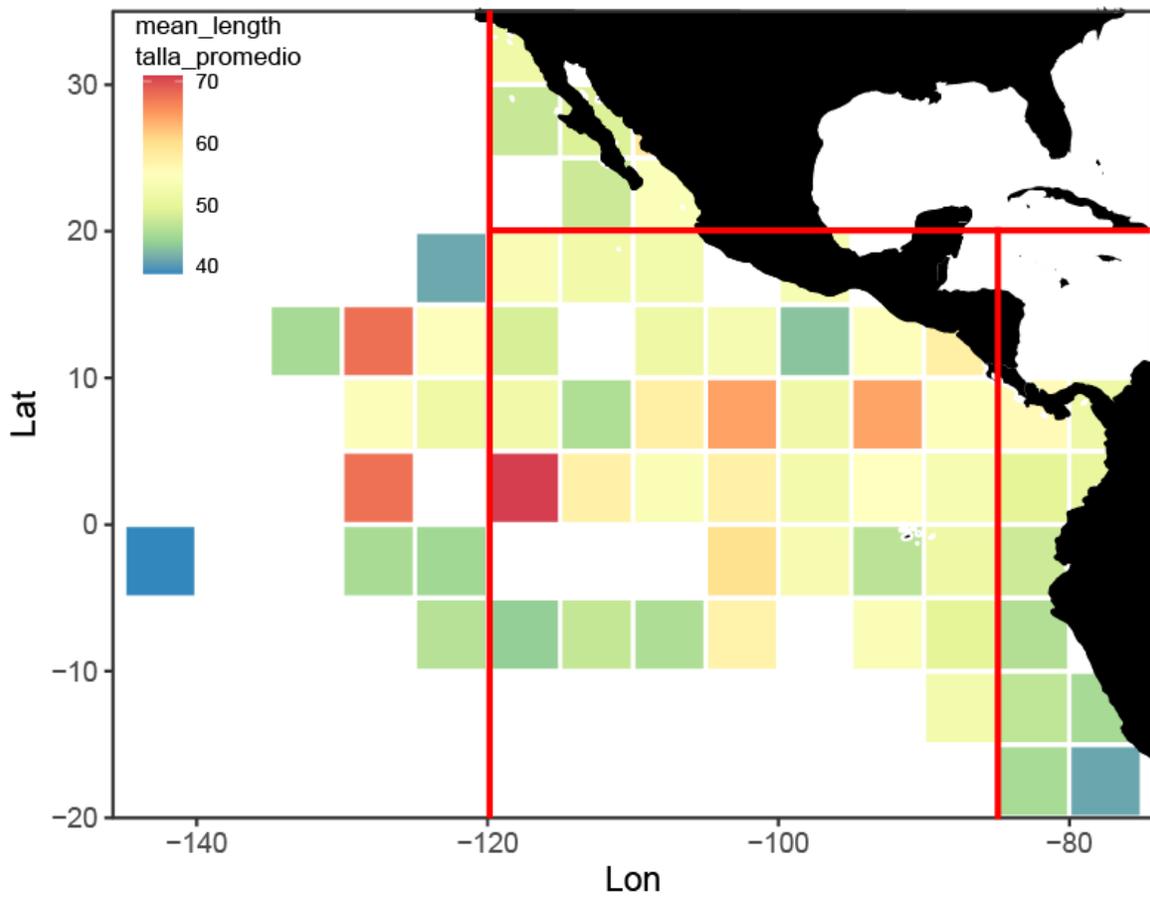
**FIGURE B2.** Spatial distribution of mean length from 1990-1999 for sets on floating objects with the four fisheries.

**FIGURA B2.** Distribución espacial de la talla media de 1990 a 1999 para lances sobre objetos flotantes con las cuatro pesquerías.



**FIGURE B3.** Spatial distribution of length-frequency data from 1990-1999 for sets on free swimming schools with the four fisheries. The x and y-axes are labeled at the mid-point of the 5 degree square.

**FIGURA B3.** Distribución espacial de los datos de frecuencia de talla de 1990 a 1999 para lances sobre cardúmenes libres con las cuatro pesquerías. Los ejes 'x' y 'y' se encuentran marcados en el punto medio del cuadrángulo de 5 grados.



**FIGURE B4.** Spatial distribution of mean length from 1990-1999 for sets on free swimming schools with the four fisheries.

**FIGURA B4.** Distribución espacial de la talla media de 1990 a 1999 para lances sobre cardúmenes libres con las cuatro pesquerías.

**TABLE B1.** Splits and variation explained using data from 1990-1999 for the three methods applied for the two set types and two time periods. See Table 1 for definitions.

**TABLA B1.** Divisiones y variación explicada con datos de 1990 a 1999 para los tres métodos aplicados para los dos tipos de lance y los dos periodos de tiempo. Ver la Tabla 1 para consultar las definiciones.

OBJ.1990.Well.noYear					OBJ.1990.Well.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	-5	NA	7.79%	División 1	Lat	-5	NA	7.79%
División 2	Lat	5	2	11.18%	División 2	Year	1998	2	12.43%
División 3	Lon	-100	1	12.86%	División 3	Lat	5	2	15.84%
División 4	Lat	0	3	14.48%	División 4	Qrt	2	4	18.42%
División 5	Qrt	1	2	16.07%	División 5	Year	1996	2	20.80%
OBJ.1990.Agg.noYear					OBJ.1990.Agg.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	0	NA	6.68%	División 1	Lat	0	NA	6.68%
División 2	Lat	10	2	9.49%	División 2	Year	1998	2	10.41%
División 3	Qrt	2	2	11.33%	División 3	Year	1996	1	13.28%
División 4	Lon	-110	1	13.05%	División 4	Lat	5	3	15.70%
División 5	CQrt	14;23	2	14.71%	División 5	Qrt	2	5	17.84%
OBJ.1990.Std.noYear					OBJ.1990.Std.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	-5	NA	3.42%	División 1	Lat	-5	NA	3.42%
División 2	Lat	5	2	6.51%	División 2	Lat	5	2	6.51%
División 3	Lon	-95	1	8.36%	División 3	Lon	-95	1	8.36%
División 4	Lon	-85	2	9.66%	División 4	Year	1996	1	9.91%
División 5	Lat	10	5	10.40%	División 5	Lon	-85	3	11.21%

NOA.1990.Well.noYear					NOA.1990.Well.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	5	NA	3.81%	División 1	Lat	5	NA	3.81%
División 2	Lon	-110	2	8.39%	División 2	Lon	-110	2	8.39%
División 3	Lon	-85	1	11.41%	División 3	Lon	-85	1	11.41%
División 4	Lon	-80	4	14.31%	División 4	Lon	-80	4	14.31%
División 5	Lat	20	3	16.61%	División 5	Lat	20	3	16.61%
NOA.1990.Agg.noYear					NOA.1990.Agg.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	0	NA	2.82%	División 1	Lat	0	NA	2.82%
División 2	Lon	-110	2	5.05%	División 2	Year	1991	2	5.21%
División 3	Lat	5	2	9.30%	División 3	Lon	-110	3	7.61%
División 4	Lon	-85	1	11.12%	División 4	Lat	5	3	11.01%
División 5	Lon	-105	1	14.08%	División 5	Year	1990	1	13.11%
NOA.1990.Std.noYear					NOA.1990.Std.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lat	5	NA	4.34%	División 1	Lat	5	NA	4.34%
División 2	Lon	-110	2	7.05%	División 2	Lon	-110	2	7.05%
División 3	Lon	-85	1	9.36%	División 3	Lon	-85	1	9.36%
División 4	Lon	-80	4	11.55%	División 4	Lon	-80	4	11.55%
División 5	Lat	20	3	13.62%	División 5	Lat	20	3	13.62%

### **ANEXO C. CON INCLUSIÓN DEL AÑO COMO PREDICTOR**

En todos los casos, cuando se estandarizan los datos dividiéndolos por la media de año-trimestre, el año se elige por primera vez ya sea en el mismo paso que cuando los datos no se estandarizan o bien en una división posterior (compárese la Tabla 1 con la Tabla C1).

**TABLE C1.** Splits and variation explained using data from 2000-2019 for the three methods applied for the two set types when Year is included as a predictor. See Table 1 for definitions.

**TABLA C1.** Divisiones y variación explicada con datos de 2000 a 2019 para los tres métodos aplicados para los dos tipos de lance cuando se incluye el año como predictor. Ver la Tabla 1 para consultar las definiciones.

OBJ.2000.Well.Year					NOA.2000.Well.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	-115	NA	7.12%	División 1	Lon	-120	NA	11.38%
División 2	Year	2001	2	11.36%	División 2	Lon	-85	2	16.81%
División 3	Lat	-10	3	13.25%	División 3	Lat	20	2	21.78%
División 4	Year	2003	1	14.74%	División 4	Lat	0	4	25.07%
División 5	Year	2006	5	15.75%	División 5	Year	2005	2	26.65%
OBJ.2000.Agg.Year					NOA.2000.Agg.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	-115	NA	8.11%	División 1	Lon	-125	NA	6.60%
División 2	Year	2001	2	12.53%	División 2	Lat	-10	2	11.63%
División 3	Year	2003	1	14.85%	División 3	Lat	15	3	15.03%
División 4	Lat	-10	4	16.36%	División 4	Year	2005	3	18.30%
División 5	Year	2013	2	17.40%	División 5	Year	2016	5	19.82%
OBJ.2000.Std.Year					NOA.2000.Std.Year				
	Clave	Valor	Celda	Var_explained		Clave	Valor	Celda	Var_explained
División 1	Lon	-120	NA	5.82%	División 1	Lon	-120	NA	6.45%
División 2	Lat	-10	2	7.63%	División 2	Lon	-85	2	9.63%
División 3	Lon	-100	3	8.84%	División 3	Lat	20	2	14.14%
División 4	Lat	-5	3	9.56%	División 4	Lat	0	4	15.79%
División 5	Year	2002	5	10.07%	División 5	Year	2015	3	16.65%