

**COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL**  
**COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR**  
**CUARTA REUNIÓN**

La Jolla, California (EE.UU.)  
29 de abril - 3 de mayo de 2013

**DOCUMENTO SAC-04-04d**

**ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES A GRAN ESCALA EN DATOS  
DE CAPTURA DE ATÚN ALETA AMARILLA DE PESQUERÍAS DE  
CERCO Y DE PALANGRE**

Cleridy E. Lennert-Cody, Mark N. Maunder, Alexandre Aires-da-Silva

**1. ANTECEDENTES**

Se usa la estratificación del pesquerías en modelos contemporáneos de evaluación de poblaciones para tratar diferencias en la dinámica de las poblaciones y pesquerías. En general, los datos de pesca (captura, captura por unidad de esfuerzo (CPUE), y de composición por talla o edad) son estratificados tras ser obtenidos para apoyar el supuesto que los parámetros relacionados con la pesca – capturabilidad y selectividad – son constantes a lo largo del tiempo. A medida que evolucionan las pesquerías, es útil reevaluar las definiciones de las zonas de evaluación de poblaciones. Por ejemplo, las zonas usadas para la pesquería de cerco en la evaluación actual de la población de atún aleta amarilla fueron formadas juntando los estratos espaciales del programa de muestreo en puerto de la CIAT (Figure 1; Suter 2010; Tomlinson 2004). Aunque estos estratos de muestreo fueron refinados en la década de 1990, fueron desarrollados principalmente a fines de los años 1960 (Suter 2010), cuando la pesquería de cerco era más costera (Watters 1999).

En este documento se presenta un análisis de los patrones espaciales a gran escala en los datos de captura de aleta amarilla de las pesquerías de cerco y palangre en el Océano Pacífico oriental (OPO) con el propósito de desarrollar estratificación es alternativas de la pesca para el modelo de evaluación de poblaciones. Siguiendo los métodos de Lennert-Cody *et al.* (2010; 2013), el enfoque analítico adoptado fue en primer lugar identificar patrones espaciales a gran escala similares en las distribuciones de frecuencia de talla y tendencias de la captura por unidad de esfuerzo de aleta amarilla, por tipo de arte. Estos resultados fueron entonces comparados entre los dos tipos de arte a fin de desarrollar estratificaciones de evaluación alternativas.

**2. DATOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

En el caso de la pesquería de cerco, el análisis fue limitado a datos de captura de lances sobre atunes asociados a delfines (« lances sobre delfines ») por buques cerqueros grandes ( $\geq 364$  toneladas métricas (t) de capacidad de acarreo de pescado), ya que este tipo de lance produce la mayoría de las capturas de aleta amarilla en el OPO, y el esfuerzo asociado a este tipo de lance se encuentra bastante ampliamente distribuido en el OPO (IATTC 2012). Se obtuvieron los datos de frecuencia de talla del programa de muestreo en puerto durante 2000-2011, y los datos de captura y esfuerzo (en número de días de pesca) de las bases de datos de observadores y cuadernos de bitácora durante 1975-2011 datos. En Lennert-Cody *et al.* (2012) se presentan detalles del procesamiento de los datos de la pesca cerquera.

En el caso de la pesquería palangrera, se usaron en el presente análisis datos japoneses de frecuencia de talla de 2002-2010, y datos de captura y esfuerzo (en número de anzuelos) de 1975-2011. En Lennert-Cody *et al.* (2013) se presentan detalles del procesamiento de los datos de la pesca palangrera.

Se estimaron las distribuciones de frecuencia de talla y Las Tendencias de la captura por unidad de es-

fuerzo (CPUE) a partir de los datos no procesados de captura en una rejilla espaciotemporal a escala fina para el OPO entero para cada arte. En el caso de los datos, la rejilla temporal fue de 5° de latitud por 5° de longitud por trimestre (enero-marzo; abril-junio; julio-septiembre; octubre-diciembre). En el caso de los datos palangreros, la rejilla fue de 5° de latitud por 10° de longitud por trimestre. Las distribuciones de frecuencia de talla usadas en el análisis fueron intervalos de frecuencia basados en 11 intervalos de talla. En el caso de los datos cerqueros los intervalos fueron:  $\leq 58$  cm, 59-69 cm, ..., 136-146 cm, 147-159 cm, y  $\geq 160$  cm. Los intervalos de los datos palangreros fueron similares, pero no pudieron ser exactamente iguales debido a la resolución de los datos sin procesar, que fueron conteos de peces en intervalos de 2 cm en el caso del palangre y de 1 cm en el caso de la red de cerco. Se estimaron tendencias suavizadas de la CPUE usando *splines* de regresión cúbica penalizados (Wood 2006; detalles en Lennert-Cody *et al.* 2012; 2013). A fin de ilustrar los tipos de insumos usados en el análisis, en las Figuras 2 y 3 se presenta un resumen de las frecuencias de intervalo y tendencias de la CPUE correspondientes al cuarto trimestre (octubre -diciembre) para los datos cerqueros.

### 3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se exploraron los patrones espacio temporales a gran escala en las distribuciones de frecuencia de talla y en las tendencias de la CPUE usando un método de árbol. Se usaron 5° de latitud, 5° de longitud, y trimestre, todos tratados como numéricos, como variables predictoras. Además se consideraron también para la variable de trimestre combinaciones cíclicas de trimestres (por ejemplo, octubre-diciembre y enero-marzo contra abril-junio y julio-septiembre). Las variables de respuesta fueron las frecuencias de intervalo y las tendencias suavizadas de la CPUE de primera diferencia. El método basado en árboles simultáneamente subdivide la colección de distribuciones de frecuencias de talla y tendencias de la CPUE en subgrupos pequeños más homogéneos, usando las variables predictoras. Se crecen solamente árboles pequeños (sin podar) porque el enfoque del análisis es los patrones a gran escala. Se realizaron dos análisis de las distribuciones de frecuencia de talla y tendencias de la CPUE para cada tipo de arte: 1) sin tomar en cuenta el error alrededor de las tendencias estimadas de la CPUE (análisis « no ponderado »); y 2) tomando en consideración la variabilidad alrededor de dichas tendencias (análisis « ponderado »). Se presentan los detalles de la metodología en Lennert-Cody *et al.* (2010; 2013).

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Cerco

Las zonas identificadas por los dos análisis de árbol de los datos de cerco (Figuras 4 y 5), que arrojaron resultados casi idénticos, muestran cierta similitud a las áreas actuales de evaluación de poblaciones (Figura 1). En particular, existe una separación ecuatorial en la región de alta mar del OPO en zonas norte y sur, y además una separación costera-alta mar en la región sur del OPO. No obstante, los análisis de árbol indican diferencias dentro de la zona costera, al norte y sur de 5°N, mientras que la zona costera de evaluación de poblaciones (Área 8) es continua. Además, los límites occidentales de las zonas de árbol costeras se extiende en al oeste del Área 8 (Figura 1), tanto al norte como al sur de la línea ecuatorial, lo cual sugiere que el Área 8 podría ser extendida al oeste.

#### 4.2. Palangre

Aunque la zona de operación de la pesquería cerquera sobre delfines y aquella de la pesquería palangrera no se sobreponen completamente (Figura 5), el patrón espacial a gran escala identificado por el análisis de árbol de los datos de palangre (Figuras 4 y 5) muestra ciertas similitudes con las zonas identificadas para los datos de cerco. Presentó, existe una separación del OPO en regiones norte y sur alrededor de 0°-5°N, en zonas costera y de altamar al sur de la línea ecuatorial alrededor de 95°-100°O, y en zonas costera y de altamar al norte de la línea ecuatorial en 120°O. Los análisis de árbol ponderados y no ponderados de los datos de palangre arrojaron resultados generalmente similares, aparte de las particiones en 20°S y 85°O. En el análisis no ponderado, tendencias atípicas en los márgenes pueden ejercer influencia más fácilmente porque el tamaño de las muestras típicamente más pequeño en los márgenes conduce a estimaciones más

variables de las tendencias.

### 4.3. Candidatos de estrato de evaluación

Sobre la base de las características comunes en la Figura 5, se construyeron cinco candidatos de estratificación de evaluación de poblaciones (Figure 6). Se limitaron las estratificaciones a cuatro zonas, a fin de limitar la complejidad del modelo de evaluación: demasiados estratos de pesca pueden conducir a tamaños de muestra de composición de la captura insuficientes o a que las demandas de computación sean imprácticas. Además, los candidatos de estratificación tenían que ser construidos para acomodar la resolución espacial de los datos de frecuencia de talla palangrera histórica (se dispuso de ciertos datos de antes de 2002 en una resolución de 10° de latitud x 20° de longitud). Para cada tipo de arte (red de cerco, palangre), los cinco candidatos de estratificación fueron clasificados conforme a la proporción media de la variabilidad explicada para los dos tipos de datos (distribuciones de frecuencia de talla, tendencias de la CPUE). El candidato (1) funcionó ligeramente mejor los otros cuatro, y está siendo considerado como alternativa a las estratificaciones actuales (Figura 1).

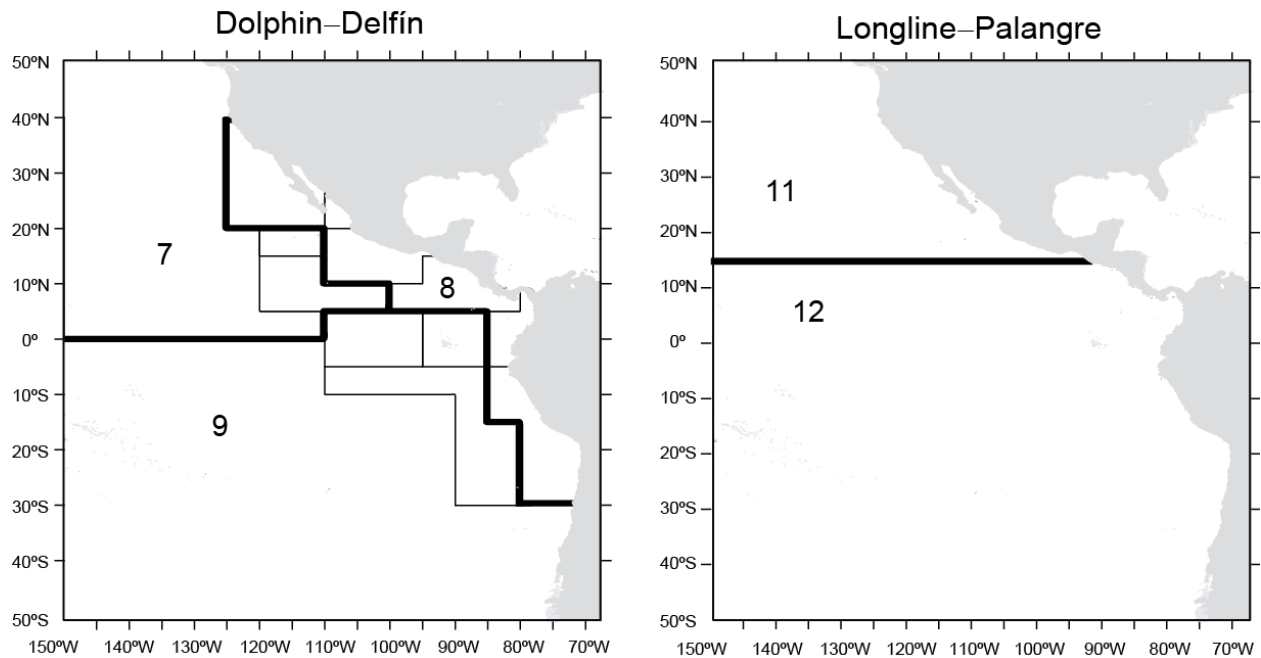
La estructura espacial podría ser acomodada en el modelo de evaluación del aleta amarilla mediante la especificación de pesquerías separadas para cada estrato o mediante el modelado de subpoblaciones para cada estrato. Las pruebas actuales de los datos de marcado de aleta amarilla (Schaefer *et al.* 2011) sugieren que los desplazamientos de esta especie en el OPO son limitados, lo cual indica que es preferible modelar su poblaciones. Se está considerando para evaluaciones futuras del aleta amarilla modelar dos subpoblaciones separadas divididas alrededor de 5°N o 10°N. Las otras divisiones identificadas en el presente análisis serán usadas para crear separadas pesquerías en el modelo de evaluación de poblaciones.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece especialmente a Christine Patnode su ayuda con las gráficas y la Nickolas Vogel su ayuda con las bases de datos.

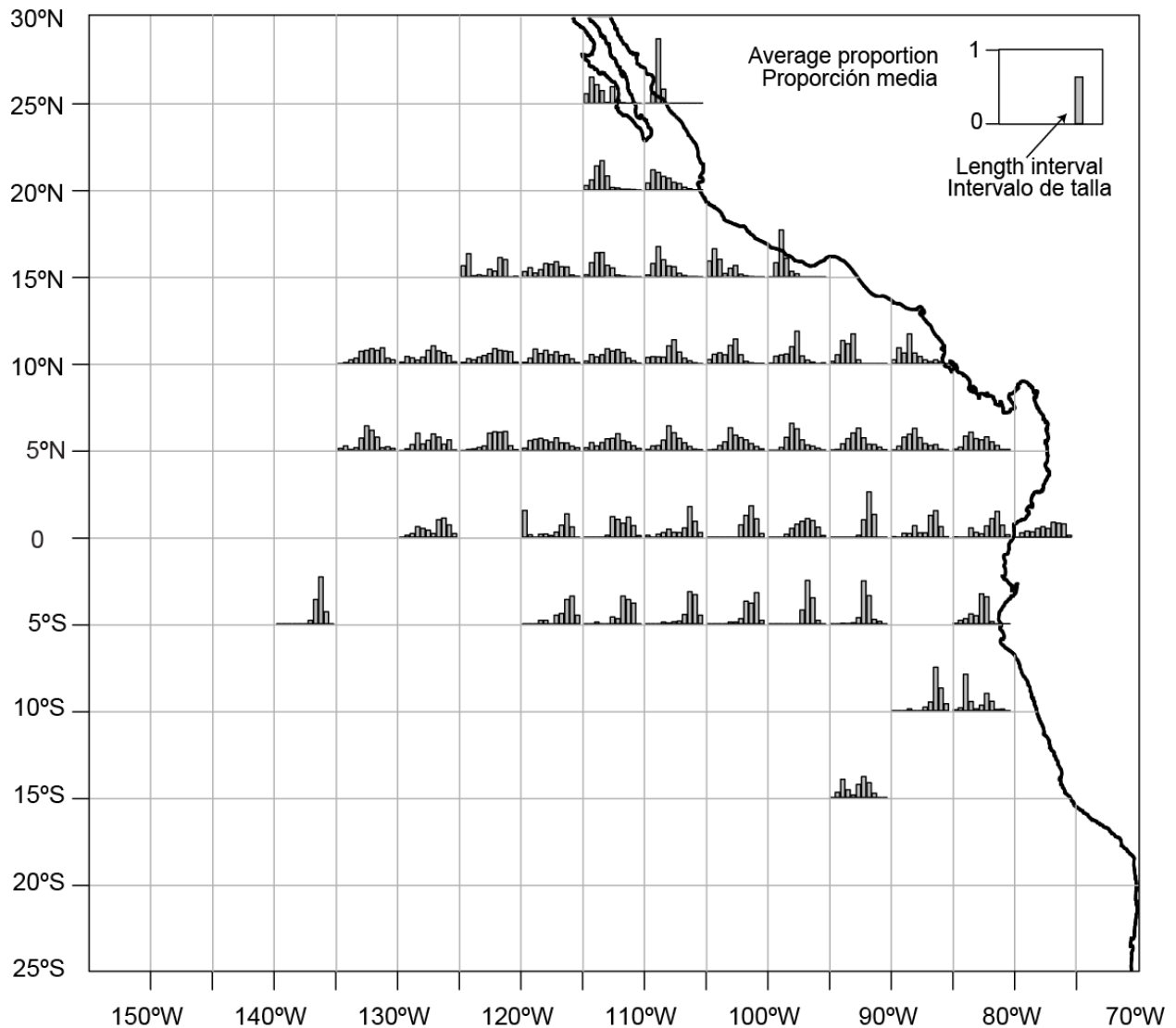
## REFERENCIAS

- CIAT 2012. Informe de la situación de la pesquería 10.  
<http://www.iattc.org/PDFFiles2/FisheryStatusReports/FisheryStatusReport10SPN.pdf>
- Lennert-Cody, C.E., Minami, M., Tomlinson, P.K., Maunder, M.N. 2010. Exploratory analysis of spatial-temporal patterns in length-frequency data: an example of distributional regression trees. *Fisheries Research* 102: 323-326.
- Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., Aires-da-Silva, A. 2012. Exploring large-scale patterns in yellowfin tuna data from dolphin sets in the eastern Pacific Ocean purse-seine fishery. Documento YFT-01-02, Revisión externa de la evaluación de la CIAT del atún aleta amarilla, 15-19 de octubre de 2012, La Jolla, CA.
- Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., Aires-da-Silva, A., Minami, M. 2013. Defining population spatial units: simultaneous analysis of frequency distributions and times series. *Fisheries Research* 139, 85-92.
- Schaefer, K.M., Fuller, D.W., and Block, B.A. 2011. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including unscented Kalman filtering. *Fisheries Research* 112: 22– 37.
- Suter, J.M. 2010. An evaluation of the area stratification used for sampling tunas in the eastern Pacific Ocean and implications for estimating total annual catches. Comisión Interamericana del Atún Tropical, Informe Especial 18.
- Tomlinson, P.K. 2004. Sampling the tuna catch of the eastern Pacific Ocean for species composition and length-frequency distributions. Comisión Interamericana del Atún Tropical, Informe de la Situación de las Poblaciones 4, pág. 311-333.
- Watters, G.M. 1999. Geographical distributions of effort and catches of tunas by purse-seine vessels in the eastern Pacific Ocean during 1965-1998. Informe de Datos de la CIAT 10.
- Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC. 391 pp.



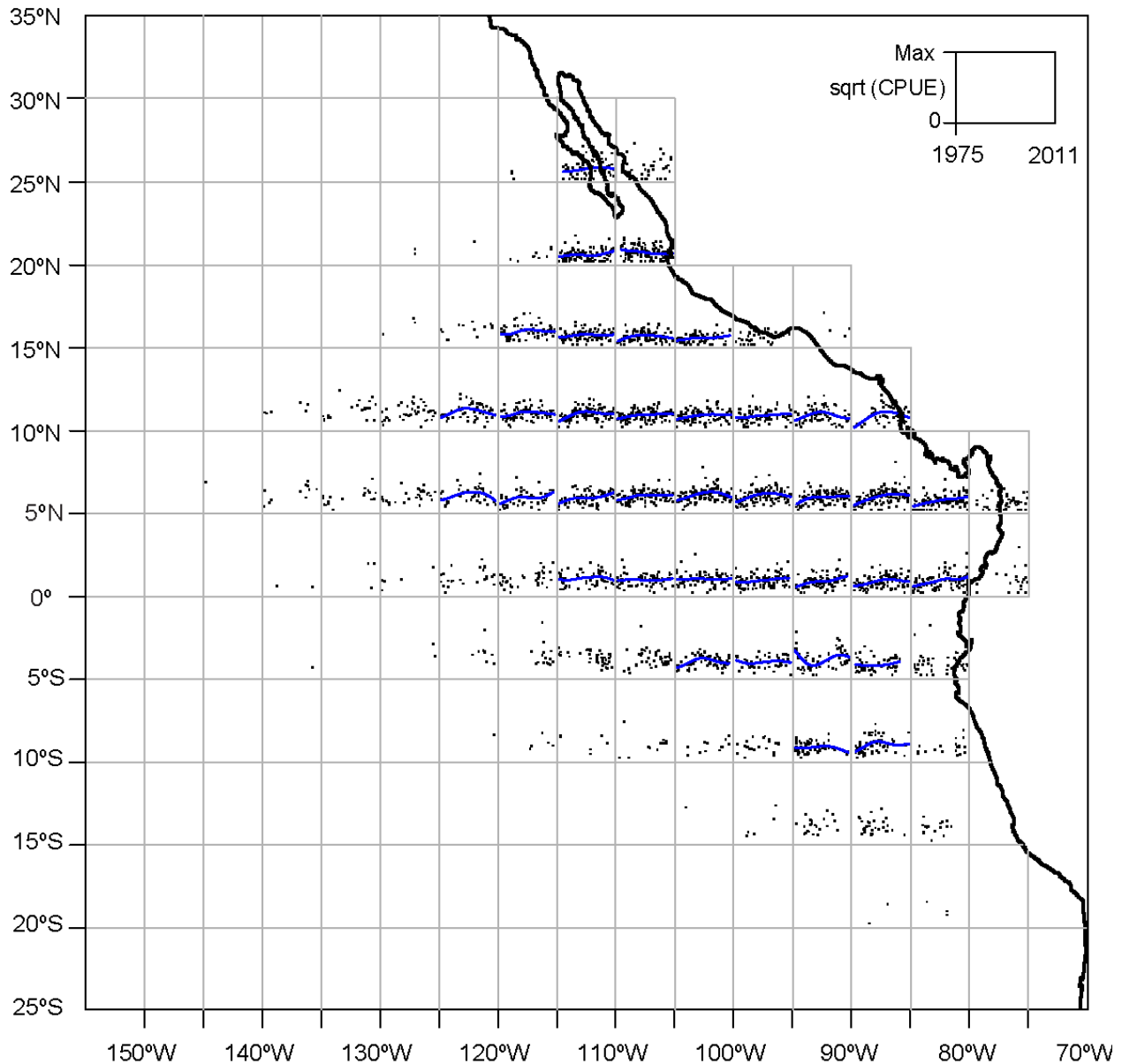
**FIGURE 1.** Current yellowfin tuna stock assessment areas for purse-seine dolphin sets (left) and longline (right). The thin lines indicate the boundaries of 13 length-frequency sampling areas, the bold lines the boundaries of the fisheries defined for the stock assessment, and the numbers the fisheries to which the latter boundaries apply.

**FIGURA 1.** Áreas usadas en la evaluación actual de la población de atún aleta amarilla para lances sobre delfines (izquierda) y palangre (derecha). Las líneas delgadas indican los límites de 13 zonas de muestreo de frecuencia de tallas, las líneas gruesas los límites de cada pesquería definida para la evaluación de la población, y los números en negritas las pesquerías correspondientes a estos últimos límites.



**FIGURE 2.** Summary of the purse-seine length-frequencies for the fourth quarter, 2000-2011. The values shown are the average proportion of the fish in each of the 11 length intervals, where the average was computed over all samples from months and years in the same grid cell. The y-axis for the length-frequency data ranges from 0-1.

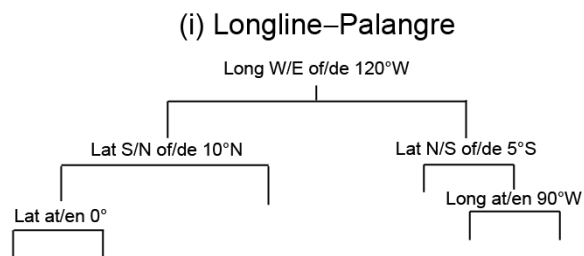
**FIGURA 2.** Resumen de las frecuencias de talla de la pesquería de cerco correspondientes al cuarto trimestre, 2000-2011. Los valores representan la proporción media de los peces en cada uno de los 11 intervalos de talla, donde el promedio fue computado para todas las muestras de meses y años en la misma cuadrícula. El eje y de los datos de frecuencia de talla varía de 0 a 1.



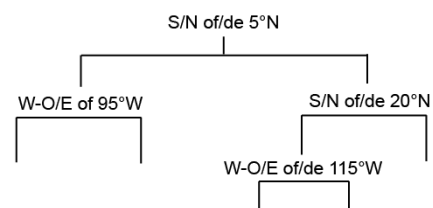
**FIGURE 3.** Purse-seine CPUE trend data for the fourth quarter, 1975-2011. The black dots are the data points (monthly catch per day fishing in the 4<sup>th</sup> quarter); the blue lines show the smoothed trends for grid cells with sufficient data. For each grid cell, the x-axis ranges from 1975 to 2011, and the y-axis from 0 to  $\max(\text{sqrt}(\text{CPUE}))$ , the maximum value of the square root of the CPUE for all areas and quarters.

**FIGURA 3.** Datos de tendencias de CPUE cerquera correspondientes al cuarto trimestre, 1975-2011. Los puntos negros representan los puntos de datos (captura mensual por día de pesca en el cuarto trimestre); las líneas azules indican las tendencias suavizadas de las cuadrículas con suficientes datos. Para cada cuadrícula, el eje x va de 1975 a 2011, y el eje y de 0 a  $\max(\text{sqrt}(\text{CPUE}))$ , el valor máximo de la raíz cuadrada de la CPUE de todas las áreas y trimestres.

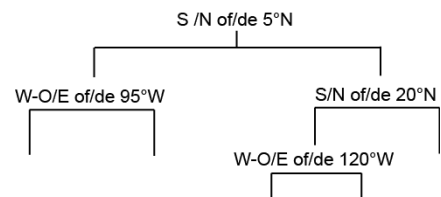
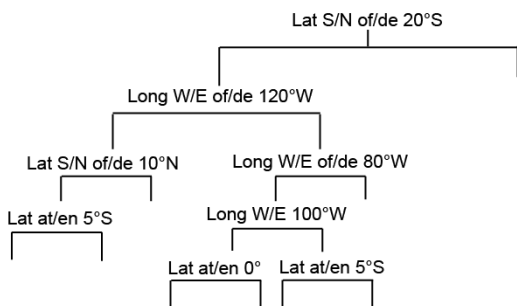
Weighted analysis  
Análisis ponderado



(ii) Purse seine–Cercos

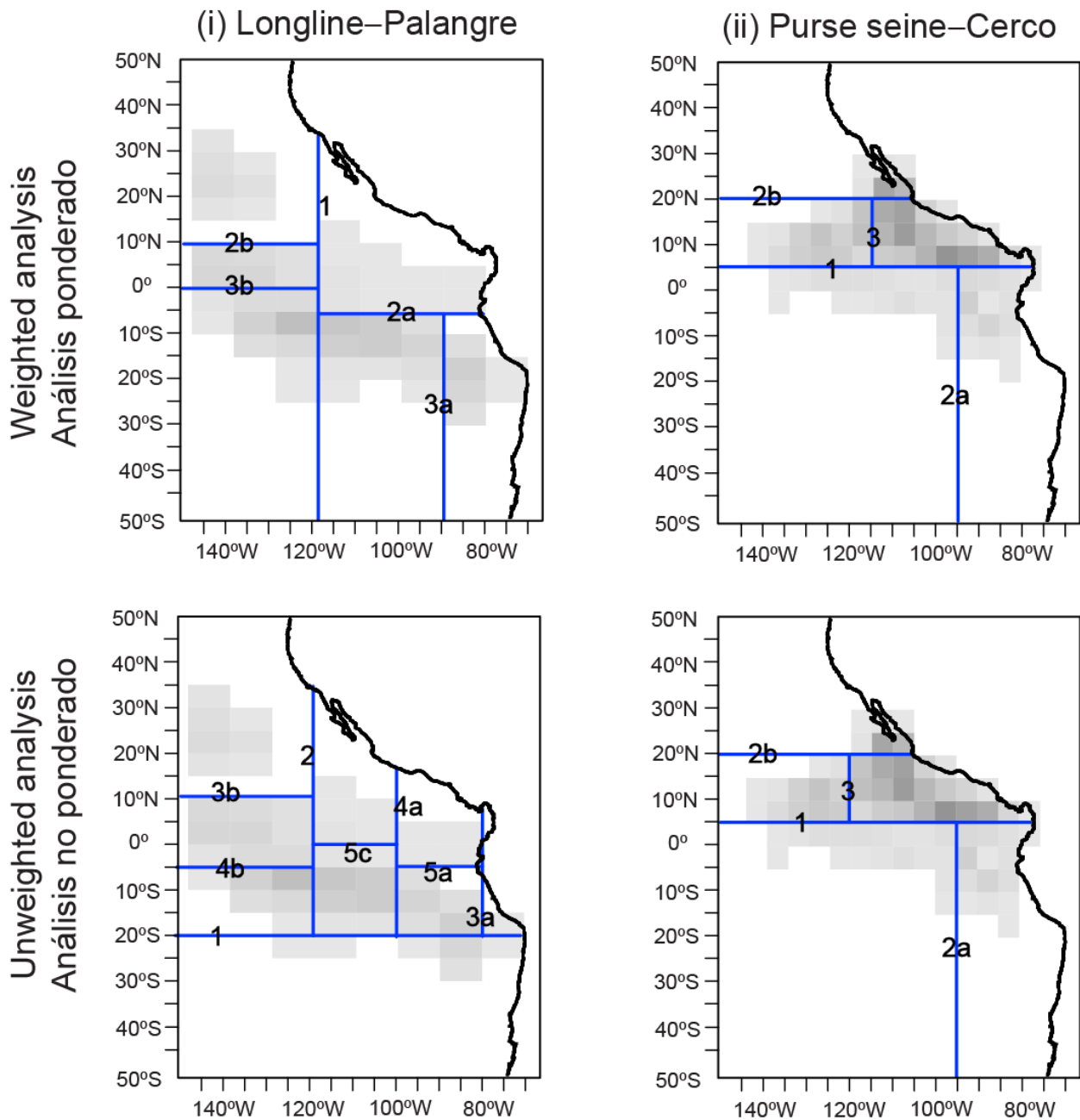


Unweighted analysis  
Análisis no ponderado



**FIGURE 4.** Trees produced by the weighted and unweighted analyses of yellowfin longline and purse-seine data.

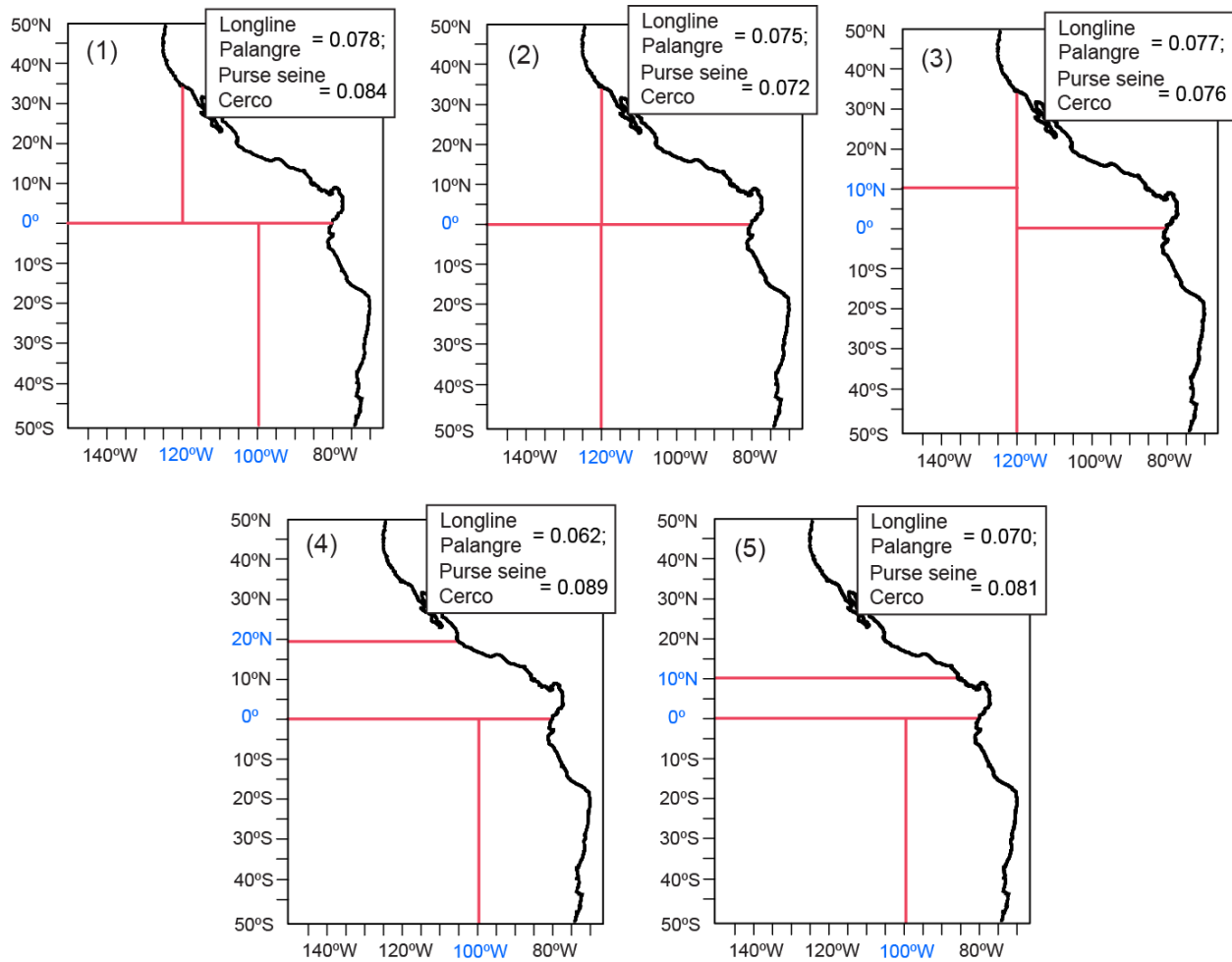
**FIGURA 4.** Árboles producidos por los análisis ponderados y no ponderados de los datos de captura palangrera y cerquera de aleta amarilla.



**FIGURE 5.** Areas from the tree analyses for (i) longline and (ii) purse-seine data. The numbers represent the partition order in the respective trees (see Figure 4). To provide an indication of the general area of operation of each fishery, shown in grayscale is the spatial coverage of the length-frequency data, with darker gray indicating regions with more data.

**FIGURA 5.** Áreas del análisis de árbol para datos de (i) palangre y (ii) cerco. Los números representan el orden de partición en los árboles respectivos (ver Figura 4). Para dar una indicación de la zona general de operación de cada pesquería, se señala en gris la cobertura espacial de los datos de frecuencia de talla; como más oscuro el color, mayor la cantidad de datos.





**FIGURE 6.** Candidate 4-area stratifications created from the tree results presented in Figure 5. The values in each map represent the average proportion of the variance explained for longline and purse seine.

**FIGURA 6.** Candidatos de estratificación en cuatro áreas creados a partir de los resultados del análisis de árbol ilustrado en la Figura 5. Los valores en cada mapa representan la proporción media de la varianza explicada para palangre y cerco.