

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

TERCERA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)

15-18 de mayo de 2012

DOCUMENTO SAC-03-07a

CONDICIÓN DEL ATÚN BARRILETE EN EL OCÉANO
PACÍFICO ORIENTAL EN 2011

Mark N. Maunder

ÍNDICE

1. Resumen.....	1
2. Datos	2
3. Supuestos y parámetros.....	4
4. Evaluación de la población	6
5. Condición de la población	8
6. Direcciones futuras	9
Reconocimientos.....	9
Referencias.....	9

1. RESUMEN

Este informe presenta la evaluación más actual de la población de atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en el Océano Pacífico oriental (OPO). Se usan varios métodos alternativos para evaluar la condición del atún barrilete: a) indicadores de pesca y biológicos; b) análisis de datos de marcado; c) un modelo de evaluación de población por talla; d) un modelo de dinámica de poblaciones y ecosistema espacial (*Spatial Ecosystem and Population Dynamic Model* (SEAPODYM)). Se comparan los resultados de estos cuatro métodos al evaluar la condición del barrilete en el OPO.

El barrilete se encuentra distribuido por todo el Océano Pacífico, y es probable que exista una población continua por todo el Océano Pacífico, con intercambio de individuos a nivel local, aunque se cree que los desplazamientos a gran escala son poco comunes. La mayoría de las capturas de barrilete provienen de las regiones oriental y occidental; las capturas cerqueras son relativamente bajas cerca del límite occidental del OPO en 150°OW. Los desplazamientos de barrilete es marcados cubren generalmente centenas, no miles, de kilómetros, y el intercambio de peces entre el Océano Pacífico oriental y occidental parece ser limitado. Las tasas de desplazamiento entre el OPO y el Pacífico occidental no pueden ser estimadas con los datos de marcado actualmente disponibles. En algunos análisis se divide el OPO en seis subregiones independientes para acomodar la estructura espacial de la dinámica de la población y de la pesquería.

La evaluación de poblaciones requiere cantidades sustanciales de información, y la información varía de acuerdo al método usado. Los métodos aplicados al barrilete exigen una variedad de información, incluyendo datos de las capturas retenidas, descartes, índices de abundancia, la composición por tamaño de las capturas de las varias pesquerías, datos de marcado, y datos oceanográficos. Además, se han de hacer supuestos acerca de los procesos tales como crecimiento, reclutamiento, desplazamiento, mortalidad natural, selectividad, y estructura de la población.

Se estima que la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca son altamente variables a lo largo del

tiempo. Las estimaciones son inciertas, y son diferentes entre los métodos de evaluación alternativos. Parece que un reclutamiento grande ingresó a la población en 1999, y condujo a una biomasa incrementada en ese año, pero el incremento fue temporario, debido a la corta vida del barrilete. La biomasa parece haber sido superior al promedio en los últimos años, pero esto podría variar entre regiones, tal como lo indican las diferencias en la CPUE. SEAPODYM estima una biomasa en el barrilete de 30 cm o más de entre 1,800,000 y 2,350,000 t entre 1998 y 2008, pero la calidad de estas estimaciones queda todavía por determinar. El peso promedio del barrilete viene generalmente disminuyendo desde 2000, pero la tendencia es diferente entre regiones. Las evaluaciones previas que usaron un análisis de captura por talla (ASCALA) para evaluar al atún barrilete en el OPO fueron consideradas preliminares porque: 1) no se sabía si la captura por día de pesca en las pesquerías de cerco es proporcional a la abundancia; 2) es posible que exista una población de barriletes grandes invulnerable a las pesquerías; y 3) la estructura de la población del OPO en relación con las poblaciones del Pacífico occidental y central es incierta. Estos problemas son asimismo pertinentes a la evaluación actual.

Las evaluaciones previas estimaron que se logran los rendimientos máximos con una mortalidad por pesca infinita, porque el peso crítico es inferior al peso promedio al momento del reclutamiento a la pesquería. No obstante, esto es incierto debido a incertidumbres en las estimaciones de la mortalidad natural y el crecimiento. Por este motivo, no se dispone de puntos de referencia tradicionales para el atún barrilete en el OPO. Consecuentemente, se han usado indicadores y niveles de referencia para evaluar la condición de la población. La preocupación principal con respecto a la población de barrilete es el incremento constante de la tasa de explotación. No obstante, esta tasa parece haber permanecido estable en los últimos años, y el esfuerzo disminuido. Los indicadores basados en datos y en modelos todavía no han detectado consecuencias adversas de este incremento. El peso promedio estuvo por debajo de su nivel de referencia inferior en 2009, lo cual podría ser consecuencia de sobreexplotación, pero también puede ser causado por el hecho que los reclutamientos recientes han sido mayores que los anteriores, o por la expansión de la pesquería a zonas ocupadas por barriletes más pequeños. Toda disminución continuada de la talla promedio es motivo de preocupación y, combinada con una estabilización de la captura y la CPUE, podría indicar que la tasa de explotación se está acercando al nivel asociado con el RMS, o que se encuentra por encima del mismo. Los análisis de marcado correspondientes a las regiones A y C, el modelo por talla para la región B, y el análisis de SEAPODYM no brindan ninguna información que indique un riesgo creíble para la población (o poblaciones) de barrilete.

Resultados clave

1. Existe incertidumbre acerca de la condición del atún barrilete en el OPO.
2. Podrían existir diferencias en la condición de la población entre regiones.
3. No existen pruebas que indiquen un riesgo creíble para la población (o poblaciones) de barrilete.

2. DATOS

Los datos usados varían entre los cuatro métodos usados para evaluar el barrilete en el OPO). En general, se usaron datos de captura, esfuerzo, y composición por tamaño, más datos biológicos, para realizar las evaluaciones. Los datos de 2011, que son preliminares, incluyen registros que fueron añadidos a la base de datos de la CIAT antes de abril de 2011. Todos los datos son resumidos y analizados mensual o anualmente. En algunos análisis los datos son separados en seis áreas, que se usan para representar poblaciones independientes, con base en agrupar las áreas de medición del aleta amarilla (muestreo de frecuencia de talla). En la Tabla 2.1 se definen las regiones, y se ilustran en la Figura 2.1. En algunos de los métodos de evaluación se usaron datos de marcado y oceanográficos.

2.1. Definiciones de las pesquerías

Se definen tres pesquerías para cada población modelada en la evaluación del barrilete. Se definen las dos primeras sobre la base del tipo de lance cerquero: sobre atunes asociados con objetos flotantes y no asociados. Se usa la tercera pesquería para representar barrilete pequeño descartado. Se añaden a la pesquería

no asociada las capturas de otras pesquerías (red de cerco sobre atunes asociados con delfines, palangre, y caña).

2.2. Capturas

Para realizar la evaluación de la población de barrilete, se estratifican los datos de captura y esfuerzo en las bases de datos de la CIAT de acuerdo a la región y las definiciones de las pesquerías descritas en la sección 2.1 e ilustradas en la Tabla 2.1. Se definen las “descargas” como captura descargada en un año dado aún si el pescado no fue capturado en ese año, y la “captura retenida” como la captura que es tomada en un año dado y no descartada en el mar. Se usa “captura” y para la captura total (descartes más captura retenida) o la captura retenida; el contexto determina la definición apropiada.

Se usan todos los tres tipos de datos para evaluar la población de barrilete. Las extracciones por las pesquerías sobre objetos flotantes y no asociadas son captura retenida, más algunos descartes que resultan de ineficacias en el proceso de pesca. Las extracciones por las pesquerías de descarte son solamente descartes que resultan de la clasificación de la captura tomada por las pesquerías sobre objetos flotantes y no asociadas.

En las Figuras 2.2a y 2.2b se ilustran las tendencias en la captura de barrilete en el OPO durante cada trimestre desde enero de 1970 hasta diciembre de 2011. Cabe notar que existieron pesquerías de superficie de barrilete sustanciales antes de 1970. Una característica importante de las tendencias de la captura es el aumento de la captura tomada desde aproximadamente 1993 en lances cerqueros sobre peces asociados con objetos flotantes, especialmente los dispositivos agregadores de peces (« plantados »). La proporción de la captura tomada por las pesquerías sobre objetos flotantes y no asociadas varía entre regiones.

2.2.1. Descartes

Para los fines de la evaluación de la población, se supone que el barrilete es descartado de capturas realizadas por buques de cerco debido a ineficacias en el proceso de pesca (cuando la captura de un lance excede la capacidad de almacenamiento restante del buque pesquero) o porque los pescadores clasifican la captura para seleccionar peces de más de un cierto tamaño. En ambos casos, la cantidad de barrilete descartado es estimado con información recolectada por observadores de la CIAT o nacionales, aplicando los métodos descritos por Maunder y Watters (2003a). Independientemente de los motivos por descartar barrilete, se supone que todos los peces descartados mueren. Maunder y Watters (2001) describen cómo se implementaron los Descartes en la evaluación del aleta amarilla.

Se añaden a las capturas retenidas estimaciones de los Descartes que resultan de ineficacias en el proceso de pesca. No se dispone de datos de observadores para estimar los descartes antes de 1993, y se supone que no hubo descartes debidos a ineficacias antes de ese año. Existen períodos para los cuales los datos de los observadores son insuficientes para estimar los Descartes, en cual caso se supone que la tasa de descarte (Descartes/capturas retenidas) es igual a la tasa de descarte es del mismo trimestre en el año previo o si no está disponible, un año adyacente.

Los Descartes que resultan del proceso de clasificar las capturas son tratados como pesquerías separadas, y se supone que las capturas tomadas por esas pesquerías consisten solamente en peces de menos de 60 cm de talla (Figura 2.2c). Maunder y Watters (2001) explican los motivos por tratar estos Descartes como pesquerías separadas.

2.3. Índices de abundancia

Los índices de abundancia fueron derivados de datos de captura y esfuerzo de cerco. Se calculó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de las pesquerías de cerco como la captura dividida por el número de días de pesca. El número de días de pesca por tipo de lance fue estimado a partir del número de lances, usando una regresión múltiple de días de pesca total como función del número de lances, por tipo de lance (Maunder y Watters 2001). En la Figura 2.3 se presentan las series de tiempo de CPUE de las distintas pesquerías y regiones.

2.4. Datos de composición por tamaño

Las pesquerías del OPO capturan barrilete de tamaños similares. En la Figura 2.4 se ilustra la distribución media de la frecuencia de tallas de las seis regiones y en la Figura 2.5 la serie de tiempo de talla promedio para cada una de las seis regiones.

2.5. Datos de marcado

Se dispone de datos de liberaciones y recapturas de marcas de ocho viajes de barcos cañeros entre 1973 y 1981. Se dispone de información de liberaciones en forma resumida de registros impresos. Las liberaciones fueron costeras y al norte de la línea ecuatorial. Se dispone de la información de recaptura en una base de datos electrónica. No se dispone actualmente de información detallada, tal como la talla de liberación. No se dispone de números de identificación de las liberaciones en formato electrónico, por lo que las recapturas pueden ser emparejadas con el viaje de liberación solamente, y no con los detalles específicos de la liberación (por ejemplo, mes). En la base de datos de la CIAT se dispone de los datos de liberación y recaptura de marcas de varios viajes de barcos cañeros entre 2000 y 2006. La extensión espacial de las liberaciones está limitada a una zona cerca de la línea ecuatorial.

3. SUPUESTOS Y PARÁMETROS

3.1. información biológica y demográfica

3.1.1. Crecimiento

El personal de la CIAT usó una tasa de crecimiento de 24 cm/año, de Forsbergh (1989), en su modelo del rendimiento por recluta de barrilete. Bayliff (1988) usó datos de marcado para calcular las estimaciones de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, pero los resultados de sus análisis de sensibilidad indicaron que las estimaciones de los parámetros eran imprecisas.

Maunder (2001) calculó estimaciones similares a las de Bayliff (1988), y concluyó que eran necesarios más datos sobre barriletes grandes y pequeños. En esta evaluación se usaron las estimaciones agrupadas de Bayliff (1988) con el supuesto que un barrilete de 30 cm es de 9 meses de edad como distribución previa de talla media a edad. La edad a los 30 cm se basa en evidencia de que los barriletes producen unos 0,8 anillos en los otolitos cada día (Wild y Foreman 1980) y un barrilete de 30 cm tiene unos 210 anillos (Uchiyama y Struhsaker 1981).

Maunder (2002a) estimó el crecimiento para las áreas costeras del norte y del sur por separado, usando una versión de la curva de crecimiento de Richards, que es más flexible, y también estimó la variación en el crecimiento, permitiendo la creación de matrices de transición de crecimiento para uso en un modelo basado en tamaño.

La relación peso-talla del barrilete en el OPO es $W = 5,5293 \times 10^{-6} L^{3.336}$, donde W = peso en kg y L = talla en cm (Hennemuth, 1959).

3.1.2. Mortalidad natural

Wild y Hampton (1994) discuten los intentos de estimación de la tasa de mortalidad natural (M) de barrilete, y los muchos problemas asociados con estos estudios. El personal de la CIAT usa un valor de 1,5, sobre una base anual, para M en los análisis de rendimiento por recluta (Anónimo, 2000: 69). A diferencia de los atunes aleta amarilla y patudo, el barrilete no muestra un aumento en la proporción de machos para los peces de mayor edad (Schaefer 2001). Hampton (2000) demostró, usando datos de marcado, que las estimaciones de mortalidad natural de barrilete en el Pacífico occidental arrojaban niveles más altos para individuos viejos y jóvenes. Los resultados señalan tasas de mortalidad natural mucho más altas para barriletes de menos de 40 cm y de más de 70 cm. Para la presente evaluación se usaron las estimaciones del Pacífico occidental (Hampton 2000) para desarrollar una curva de mortalidad natural por edad (Figura 3.1). Las estimaciones de Hampton de mortalidad natural elevada para barriletes viejos podrían ser un artefacto de los datos de marcado que resulta de que los peces de mayor edad salgan de la pesque-

ría. Se supuso por lo tanto que la mortalidad natural es constante para las edades mayores. Las estimaciones de Hampton de mortalidad natural elevada para barriletes jóvenes podría asimismo ser un artefacto de los datos de marcado debido a mortalidad por marcado, por lo que se usó en este estudio una tasa de mortalidad natural más baja.

3.1.3. Reclutamiento y reproducción

Anónimo (1998: 26) y Schaefer (2001) presentan información sobre la reproducción del barrilete en el OPO. El desove ocurre por toda la zona entre aproximadamente 15°N y 10°S desde el litoral del continente americano hasta 130°O con temperaturas superficiales del mar (TSM) de 24°C o más. Se supone que el atún barrilete puede ser reclutado a la población pescable durante cada mes del año. No se hacen supuestos fuertes acerca de la relación entre la biomasa (o abundancia) de adultos y el reclutamiento en la evaluación de la población de barrilete. Sin embargo, sí se hace un supuesto acerca de cómo el reclutamiento puede variar alrededor de su nivel promedio.

3.1.4. Desplazamientos

Schaefer *et al.* (1961), Fink y Bayliff (1970), Hunter *et al.* (1986) y Schaefer (2009) presentan información sobre los desplazamientos del barrilete en el OPO. Los porcentajes de barrilete liberados en el Pacífico occidental que permanecieron en libertad de 0 a 30 días, 31 a 180 días, y más de 180 días y que se desplazaron más de 500 millas náuticas son 0, un 5, y un 30, respectivamente. Han sido recapturados en el Pacífico central u occidental 27 barriletes marcados liberados en el OPO (Bayliff, 1988: Anexo 2), pero no se han recapturado en el OPO barriletes marcados liberados en el Pacífico central u occidental. Se debe tener en cuenta que el número de peces marcados recapturados en distintos lugares depende de la cantidad de esfuerzo de pesca en esos lugares. Si se inician experimentos de marcado donde hay mucho esfuerzo de pesca es probable que las distancias recorridas por los peces sean menores de lo que serían si hubiesen sido liberados en zonas con pesca intensa y ligera. No obstante, para los propósitos de la presente evaluación se supone que las tasas de desplazamiento del barrilete en el OPO son lo suficientemente rápidas como para asegurar que la población esté mezclada al azar al principio de cada mes del año. Se supone que el barrilete no se desplaza entre subpoblaciones.

3.1.5. Estructura de la población

El barrilete se encuentra en todas las aguas tropicales y subtropicales del Océano Pacífico, y se sabe que ocurre un intercambio considerable de peces entre zonas. Se han usado varios métodos para estudiar la estructura de poblaciones de la especie, inclusive análisis de estadísticas de captura, el ciclo vital, marcado, datos de genética bioquímica, y datos sobre la composición química de los otolitos de los peces. Muchas organizaciones han realizado investigaciones de estos temas, entre ellas la CIAT, la Comisión del Pacífico Sur (ahora la Secretaría de la Comunidad del Pacífico; SPC), el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS) de EE.UU., y varias organizaciones en Japón. Los resultados pertinentes a una solución de este problema fueron examinados por Argue (1981), y discutidos en detalle por Anónimo (1984: 186-189). En resumen, hay dos hipótesis principales sobre la estructura de poblaciones del barrilete en el Océano Pacífico. La hipótesis de subpoblaciones separadas postula que existen dos ó más subpoblaciones de barrilete genéticamente distintas en el Océano Pacífico, y la hipótesis clinal que no existen subpoblaciones separadas de barrilete en el Océano Pacífico, pero que hay aislamiento por distancia – es decir, la probabilidad de hibridación de dos peces dados es una función inversa de la distancia entre los dos. Argue (1981) concluyó que los datos disponibles no permiten decidir a favor de una ni otra hipótesis. Estudios posteriores, descritos por Anónimo (1995: 255-257), no produjeron información que sirviera mejor como base para decisiones de ordenación. (Sin embargo, no se deben considerar inútiles esos estudios, ya que es posible que la información que arrojaron sea eventualmente combinada con información reunida en el futuro para lograr una mayor comprensión de la estructura de las poblaciones de barrilete en el Océano Pacífico.) Para los propósitos de la presente evaluación de poblaciones, se supone que existen dos poblaciones, una en el OPO y la otra en el Pacífico central y occidental.

3.2. Influencias ambientales

Forsbergh (1989) estudió las influencias de ciertas variables ambientales sobre la abundancia aparente de barrilete en el OPO. La abundancia de larvas de barrilete en el Pacífico central y occidental se duplica, aproximadamente, con cada aumento de 1° en las TSM entre 23°C y un máximo de 29°C. Las capturas de barrilete por artes de superficie suelen disminuir durante episodios de El Niño, debido a que durante esos episodios aumenta la profundidad de la termoclina y los peces pasan menos tiempo en la superficie que durante períodos de La Niña (Joseph y Miller 1989).

Una evaluación previa de la población (Maunder y Watters 2002a) incluyó el supuesto de que las condiciones oceanográficas podrían afectar el reclutamiento de atún barrilete en el OPO. A fin de incorporar la posibilidad de un efecto ambiental sobre el reclutamiento de barrilete en el OPO, se incorporó una variable de temperatura en el modelo previo de evaluación de la población, a fin de determinar si existe una relación estadísticamente significativa entre dicha variable y las estimaciones de reclutamiento. Maunder (2002) realizó la correlación por separado del modelo de evaluación de la población, usando las TSM y el Índice de Oscilación del Sur, y no descubrió ninguna relación entre el reclutamiento y las variables ambientales.

El método de evaluación SEAPODYM (Senina *et al.* 2008, Lehodey *et al.* 2011) usa datos ambientales para forzar la productividad y los desplazamientos, ver descripción de la próxima sección.

4. EVALUACIÓN DE LA POBLACIÓN

Se usan varios métodos alternativos para evaluar la condición del atún barrilete en el OPO: a) indicadores de pesca y biológicos; b) análisis de datos de marcado; c) un modelo de evaluación basada en talla; d) un modelo de dinámica de poblaciones y ecosistema espacial (*Spatial Ecosystem and Population Dynamic Model* (SEAPODYM)).

4.1. Métodos de evaluación

4.1.1. Indicadores

Ya que las evaluaciones de la población y los puntos de referencia son inciertos para el barrilete en el OPO, sería ventajoso elaborar métodos alternativos de evaluación y ordenación de la especie que fuesen robustos a estas incertidumbres. Maunder y Deriso (2007) investigaron unos indicadores sencillos de la condición de la población basados en cantidades relativas. En lugar de usar puntos de referencia basados en RMS, compararon los valores actuales de los indicadores con la distribución de los indicadores observada históricamente. Elaboraron también un modelo sencillo de evaluación de población para generar indicadores de biomasa, reclutamiento, y tasa de explotación. Maunder (2012a) actualizó sus resultados para incluir datos de hasta 2011. Para evaluar los valores actuales de los indicadores en comparación con los valores históricos, usaron niveles de referencia basados en los percentiles 5 y 95, ya que las distribuciones de los indicadores son algo asimétricas. Se evaluaron ocho indicadores basados en datos y en el modelo: captura, captura por día de pesca por las pesquerías sobre objetos flotantes, capturas por día de pesca por las pesquerías no asociadas, esfuerzo estandarizado, peso promedio, biomasa relativa, reclutamiento relativo, y tasa de explotación relativa. Se presentan estos indicadores para la población del OPO entera.

4.1.2. Análisis de datos de marcas

La CIAT realizó numerosos experimentos de marcado de atunes entre los años 1950 y principios de los 1980, y reanudó el marcado a escala más limitada a partir de 2000. Estos datos no han sido usados en las evaluaciones de las poblaciones de atún barrilete excepto para proporcionar información sobre las tasas de crecimiento (Bayliff 1988; Maunder 2002a). Maunder (2012b) realizó un análisis preliminar de los datos de marcado para investigar su contenido de información acerca de las tasas de explotación. Se analizaron los datos de marcado usando un modelo de pérdida de marcas que compara las recuperaciones de marcas observadas y predichas. Se modela la dinámica de las marcas usando un modelo de dinámica poblacional

que es esencialmente el mismo que aquellos usados en las evaluaciones de las poblaciones. El modelo es diferente en el sentido que el reclutamiento es liberaciones de marcas, y se modelan factores tales como pérdida de marcas, mortalidad relacionada con el marcado, y la tasa de notificación. Se dispone de estimaciones para las regiones A y C solamente. Las estimaciones de las tasas de explotación son altamente inciertas.

4.1.3. Modelo de evaluación basado en talla

Maunder (2012c) desarrolló un modelo basado en talla para evaluar el atún barrilete. Este modelo es diferente del modelo estándar basado en edad usado para evaluar los atunes aleta amarilla y patudo, aplicado usando *Stock Synthesis*. Los datos de edad para el atún barrilete son poco confiables, y la información de crecimiento se basa en datos de marcado de incremento de talla. El crecimiento basado en datos de incrementos de talla es idealmente adecuado para los modelos basados en talla, y es problemático para aquellos basados en edad. El OPO está dividido en seis poblaciones, y cada población es analizada por separado. El modelo es ajustado a índices de abundancia relativa y datos de composición por talla.

Los datos de composición por talla y CPUE no contienen suficiente información para producir estimaciones confiables del tamaño de la población de barrilete. En todas las regiones menos una (región B, frente al litoral de Ecuador) las estimaciones de abundancia y tasas de explotación no fueron realistas. Las tasas de selectividad o crecimiento son suficientemente diferentes entre las poblaciones que compartir la información de selectividad de la región B para otras regiones produce asimismo estimaciones no realistas. Por lo tanto, se presentan los resultados del modelo de evaluación basado en talla para la región B solamente.

4.1.4. Modelo SEAPODYM

Se aplicó al atún barrilete en el Océano Pacífico un modelo de dinámica de poblaciones y ecosistema espacial (*Spatial Ecosystem and Population Dynamic Model* (SEAPODYM)) que se ajusta a una variedad de fuentes de datos (Senina *et al.* 2008) (ver detalles en Lehodey *et al.* 2011). El análisis es diferente de Lehodey *et al.* (2011) en el sentido que: 1) usó las variables SODA 2.1.6 más actuales disponibles; 2) cambió a estimaciones de talla por edad MFCL-2010; 3) fijó los coeficientes de reclutamiento y mortalidad para escalar la población del Pacífico central y occidental a las estimaciones de MFCL; y 4) usó funciones gaussianas asimétricas para las selectividades de la pesca de cerco en lugar de selectividad sigmoidea. En la presente evaluación se usan estimaciones de biomasa para el OPO solamente.

El modelo SEAPODYM es un modelo de interacción física-biológica acoplado bidimensional a escala de cuenca oceánica, y contiene componentes ambientales y espaciales usados para limitar los desplazamientos y el reclutamiento de los atunes. El modelo combina un modelo de producción de alimento (presas) con un modelo de población basado en edad de las especies (atunes depredadores) objetivo de la pesquería. Se describe toda la dinámica espacial con una ecuación de advección-difusión. Los conjuntos de datos oceanográficos de insumo para el modelo son temperatura superficial del mar (TSM), corrientes oceánicas y producción primaria que pueden ser datos predichos de modelos físico-biogeoquímicos, así como distribuciones de datos derivados de satélites. Las mejoras recientes incluyen una optimización rigurosa de los parámetros, usando datos de la pesca (composición por talla de índices de abundancia), que se basa en métodos usados para modelos contemporáneos de evaluación de poblaciones (Senina *et al.*, 2008).

4.2. Resultados de la evaluación

A continuación se describen los resultados de cada uno de los métodos de evaluación.

4.2.1. Mortalidad por pesca

Las estimaciones de la mortalidad por pesca basadas en el análisis de marcado son altamente variables a lo largo del tiempo (Figura 4.1). La mortalidad por pesca mensual máxima fue 0.65 en el caso de los datos históricos (liberaciones de 1973-1981 en la región A) y 0.20 en el caso de los datos recientes (liberaciones de 2000-2006 en la región C). Se estimó la mortalidad por pesca mensual media (anual = mensual multiplicada por 12) en 0.049 (0.588) y 0.025 (0.300), respectivamente. Las estimaciones de la mortalidad por

pesca mensual contienen mucha incertidumbre, con CV alrededor de 40% a 140%. Las estimaciones de las tasas mensuales de mortalidad por pesca medias y máximas aproximadas de la región B basadas en la evaluación basada en talla son más altas, 0.13 y 2.37, respectivamente (Figura 4.2). Se estima que la mortalidad por pesca fue alta hacia fines de los años 1970 y principios de los 1980, pero considerablemente más baja en los últimos años (por ejemplo, mensual (promedio mensual (anual = mensual multiplicada por 12) de 0.06 (0.74) entre 1998 y 2008). La mortalidad anual media aproximada durante 1998-2008, calculada a partir de la captura anual y las estimaciones de SEAPODYM de la biomasa anual, es 0.12 (Figura 4.3). El esfuerzo estandarizado, una medida de las tasas de explotación, y la tasa de explotación relativa basado en el análisis de indicadores, viene aumentando desde 1985, pero disminuyó en los últimos años (Figura 4.4).

4.2.2. Reclutamiento

El análisis de indicadores estima que el reclutamiento fue mucho más bajo hasta 2002, con la excepción de un reclutamiento grande en 1999 (Figura 4.4). El modelo basado en talla para la región B estima un reclutamiento mensual altamente variable, con un reclutamiento muy grande en 1999, pero no estima que el reclutamiento reciente sea sustancialmente mayor que el reclutamiento previo (Figura 4.5).

4.2.3. Biomasa

El análisis de indicadores estima que la biomasa fue mucho más baja hasta 2003, con la excepción de una biomasa grande en 1999 (Figura 4.4). El modelo basado en talla para la región B estima una biomasa mensual altamente variable, con una biomasa muy grande en 1999 y una biomasa generalmente creciente desde 1980 (Figura 4.6). SEAPODYM estima una biomasa anual de barrilete de 30 cm de talla o más que varía entre 1,800,000 t y 2,350,000 t desde 1998 hasta 2008 (Figura 4.7).

4.2.4. Peso promedio del pescado en la captura

El análisis de indicadores estima que el peso promedio del barrilete viene disminuyendo desde 2000, y en 2009 estuvo por debajo del nivel de referencia inferior, pero aumentó ligeramente en 2010 y 2011 (Figura 4.4). La tendencia de la talla media es diferente entre regiones (Figura 2.5).

4.3. Comparación con la evaluación previa

Maunder y Harley (2005) usaron un análisis basado en edad y captura por talla (A-SCALA) para evaluar el atún barrilete en el OPO. En el Boletín de la CIAT, Vol. 22, No. 5 (2003), se describe el método y los detalles técnicos. Se consideró que en la evaluación operatoria preliminar porque: 1) no se sabía si la captura por unidad de pesca de las pesquerías de cerco es proporcional a la abundancia; 2) es posible que exista una población de barrilete grande que es invulnerable a la pesca; 3) la estructura de la población del OPO con respecto a las poblaciones del Pacífico central y occidental es incierta. No obstante, los resultados de su evaluación fueron más consistentes entre los análisis de sensibilidad comparados con la evaluación previa.

5. CONDICIÓN DE LA POBLACIÓN

Mantener las poblaciones de atunes en niveles que permitirán el RMS es el objetivo de la ordenación especificado por la Convención de la CIAT. La CIAT no ha adoptado puntos de referencia objetivo o límite para las poblaciones que gestiona. Las evaluaciones previas descubrieron que se maximiza el rendimiento por recluta si se captura del barrilete tamaño más pequeño observado en la captura. Combinado con la escasez de pruebas de una relación población-reclutamiento, esto indica que tasas de mortalidad por pesca muy altas y niveles de biomasa muy bajos estarían asociados con el RMS. La evaluación previa (Maunder y Harley 2004) estimó que se logran los rendimientos máximos con una mortalidad por pesca infinita porque el peso crítico es menos el peso promedio de reclutamiento a la pesquería. No obstante, esto es incierto debido a incertidumbres en las estimaciones de mortalidad natural y crecimiento. Por este motivo, no se dispone de puntos de referencia tradicionales para el atún barrilete en el OPO. Como consecuencia, se han usado indicadores y niveles de referencia para evaluar la condición de la población.

La preocupación principal con la población de barrilete es la tasa de explotación, que hasta recientemente iba constantemente en aumento. Parece que en los últimos años se ha estabilizado, y el esfuerzo ha disminuido. Los indicadores basados en datos y en un modelo todavía no han detectado ninguna consecuencia adversa de este aumento. El peso promedio estuvo por debajo de su nivel de referencia inferior en 2009, lo cual podría ser consecuencia de sobreexplotación, pero también podría resultar de que los reclutamientos recientes fueron mayores que en el pasado o de una expansión de la pesquería a zonas ocupadas por barriletes más pequeños. Cualquier disminución continuada de la talla promedio es motivo de preocupación y, combinada con la estabilización de la captura y de la CPUE, podría indicar que la tasa de explotación se está acercando al nivel asociado con el RMS, o que lo haya rebasado.

El análisis de marcado correspondiente a las regiones A y C el modelo basado en talla de la región B, día del análisis de SEAPODYM no brindó ninguna información que indique un riesgo creíble para la población (o poblaciones) de barrilete.

6. DIRECCIONES FUTURAS

6.1. Recolección de información nueva y actualizada

Realizar un estudio de marcado exhaustivo, bien planeado, y bien implementado es probablemente la única forma de producir una evaluación adecuada de la población de barrilete en el OPO.

6.2. Refinamientos del modelo y método de evaluación

La integración de los datos de marcado en el modelo de evaluación de poblaciones basado en talla podría potencialmente mejorar los resultados. No obstante, la incertidumbre en las estimaciones de la mortalidad por pesca del análisis de marcado indica que cualquier mejora será mínima. Compartir información entre las poblaciones tiene el potencial de mejorar las estimaciones correspondientes a las regiones que tienen poca información en sus datos. No obstante, el análisis inicial sugiere que diferencias en selectividad y/o crecimiento entre regiones, podría prevenir compartir parámetros de selectividad. Sería quizá posible compartir la capturabilidad del índice de CPUE de abundancia relativa entre regiones si se calcula la CPUE como la suma de las CPUE de los cuadrángulos de 1° en una región. Se ha usado este método para la CPUE palangrera en el Pacífico central y occidental.

RECONOCIMIENTOS

Muchos miembros del personal de la CIAT y de países miembros proporcionaron datos para la evaluación. William Bayliff y Patrick Tomlinson brindaron asesoramiento sobre los datos, las pesquerías, y la biología del atún barrilete. Nicholas Webb ayudó con la redacción, y tradujo el informe al español. Christine Patnode ayudó con las gráficas.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1984. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 1983: 272 pp.
- Anónimo. 1995. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 1994: 296 pp.
- Anónimo. 1998. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical 1996: 306 pp.
- Anónimo. 2000. Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, 1998: 357 pp.
- Argue, A.W. (editor). 1981. Report of the Second Skipjack Survey and Assessment Programme workshop to review results from genetic analysis of skipjack blood samples. South Pacif. Comm., Skipjack Survey and Assessment Programme, Tech. Rep. 6: v, 39 pp.
- Bayliff, W.H. 1988. Crecimiento de los atunes barrilete, *Katsuwonus pelamis*, y aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico oriental, estimada a partir de datos de marcado. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 19: 307-385.
- Fink, B.D., y W.H. Bayliff. 1970. Migraciones del atún aleta amarilla y barrilete en el Océano Pacífico oriental según han sido determinadas por los experimentos de marcación realizados en 1952, 1952-1964. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 15: 1-227.

- Forsbergh, E.D. 1989. La influencia de algunas variables ambientales sobre la abundancia aparente del atún barrilete, *Katsuwonus pelamis*, en el Océano Pacífico oriental. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 19: 429-569.
- Joseph, J., y F. R. Miller. 1989. El Niño and the surface fishery for tunas in the eastern Pacific. Japan. Soc. Fish. Ocean., Bull. 53: 77-80.
- Hampton J. 2000. Natural mortality rates in tropical tunas: size really does matter. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 1002-1010.
- Hennemuth, R.C. 1959. Información adicional sobre la relación entre la longitud y el peso del barrilete del Océano Pacífico oriental tropical. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 4: 23-37.
- Hunter, J.R., A.W. Argue, W.H. Bayliff, A.E. Dizon, A. Fonteneau, D. Goodman, y G.R. Seckel. 1986. The dynamics of tuna movements: an evaluation of past and future research. FAO Fish. Tech. Pap. 277: 1-78.
- Lehodey, P., Senina, I., Calmettes, B., Hampton, J., Nicol, S., Williams, P., Jurado Molina, J., Ogura, M., Kiyofuji, H., y Okamoto, S. 2011. SEAPODYM working progress and applications to Pacific skipjack tuna population and fisheries. WCPFC-SC7-2011/EB-WP 06 rev. 1.
- Maunder, M.N. 2002a. Crecimiento del atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en el Océano Pacífico oriental, estimado a partir de datos de marcado. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 22: 93-131.
- Maunder, M.N. 2002b. Condición del atún barrilete en el Océano Pacífico oriental. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep. 3: 135-200.
- Maunder, M.N. 2012a. Updated indicators of stock status for skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. SAC3.
- Maunder, M.N. 2012b. Preliminary analysis of historical and recent skipjack tuna tagging data to explore information on exploitation rates. SAC3.
- Maunder, M.N. 2012c. A length-based meta-population stock assessment model: application to skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. SAC3.
- Maunder, M.N. y Deriso, R.B. 2007. [El uso de indicadores de condición de población cuando no se dispone de puntos de referencia tradicionales](#). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep., 8: 229-248.
- Maunder, M.N. y Harley, S.J. 2005. Condición del atún barrilete en el Océano Pacífico oriental en 2003 y perspectivas para 2004. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep., 5: 109-167.
- Maunder, M.N. y G.M. Watters. 2001. Condición del atún aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep. 1: 5-86.
- Maunder, M.N. y G.M. Watters. 2003. A-SCALA: un análisis estadístico de captura a talla estructurado por edad para la evaluación de las poblaciones de atunes en el Océano Pacífico oriental. IATTC Bull. 22: 433-582.
- Schaefer, K.M. 2001. An assessment of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) spawning in the eastern Pacific Ocean. Fish. Bull. 99: 343-350.
- Schaefer, K.M. 2009. [Estructura de las poblaciones de los atunes patudo, aleta amarilla, y barrilete en el Océano Pacífico oriental](#). Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep. 9: 203-221.
- Schaefer, M.B., B.M. Chatwin, and G.C. Broadhead. 1961. Marcación y recobro de atunes tropicales, 1955-1959. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 5: 341-455.
- Senina I., Sibert J., y Lehodey P. (2008). Parameter estimation for basin-scale ecosystem-linked population models of large pelagic predators: application to skipjack tuna. Progress in Oceanography, 78: 319-335.
- Wild, A. y J. Hampton. 1994. A review of the biology and fisheries for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean. FAO Fish. Tech. Pap. 336 (2): 1-51.

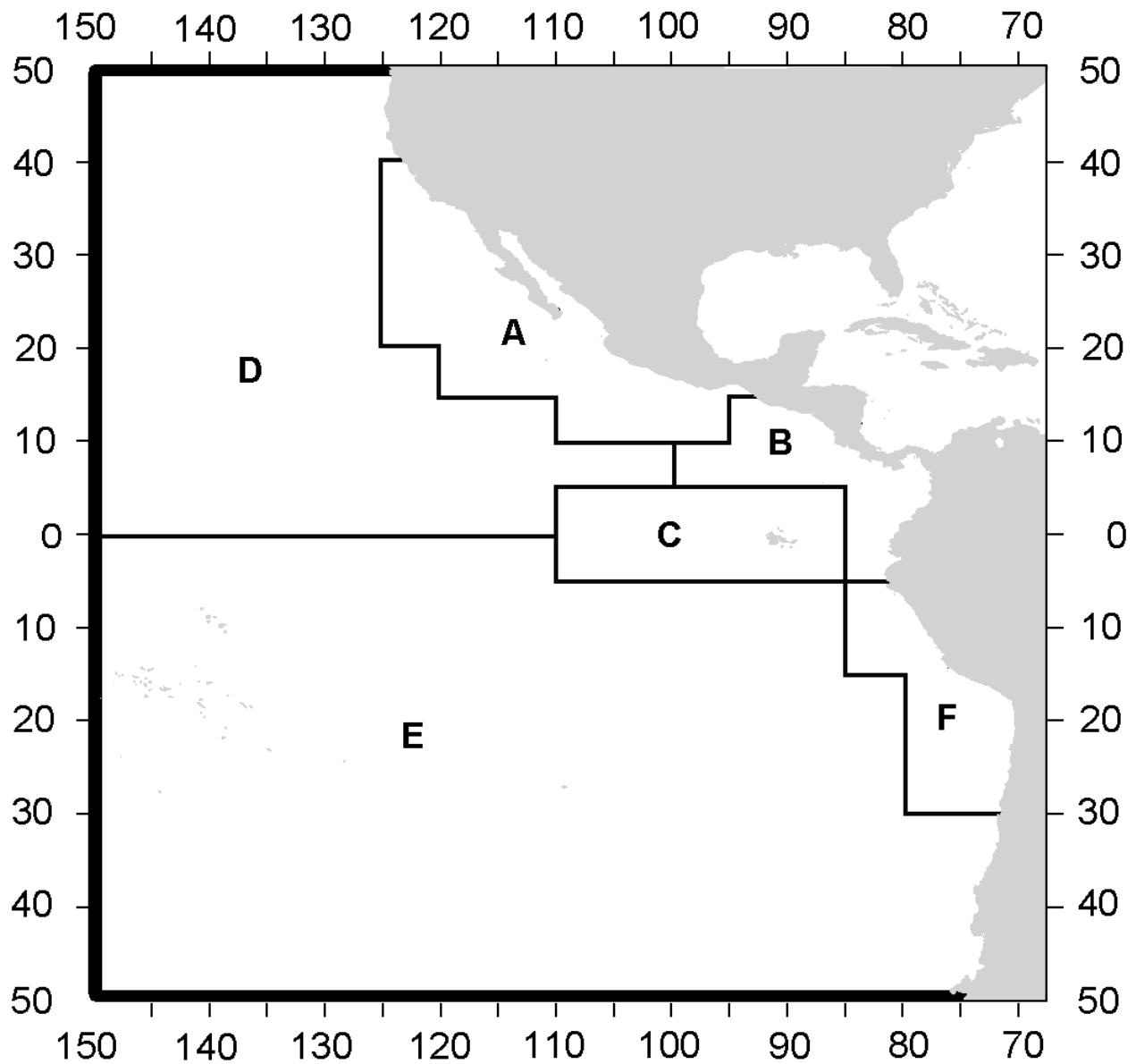


FIGURE 2.1. Spatial extents of the sub-stocks (regions) defined for the stock assessment of skipjack tuna in the EPO.

FIGURA 2.1. Extensión espacial de las subpoblaciones (regiones) definidas para la evaluación del atún barrilete en el OPO.

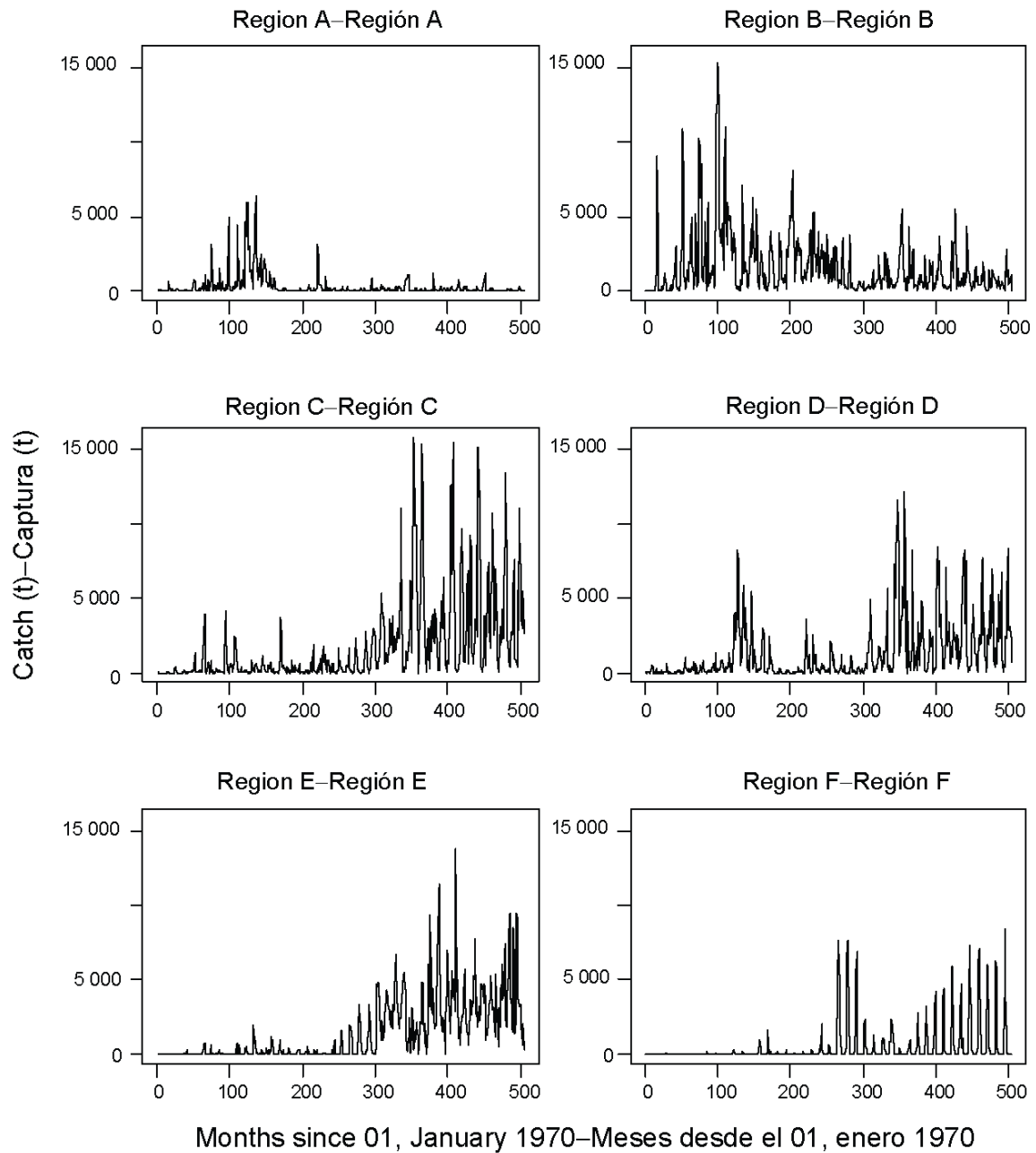


FIGURE 2.2a. Monthly catches in purse-seine sets on floating objects, by region.
FIGURA 2.2a. Capturas mensuales en lances cerqueros sobre objetos flotantes, por región.

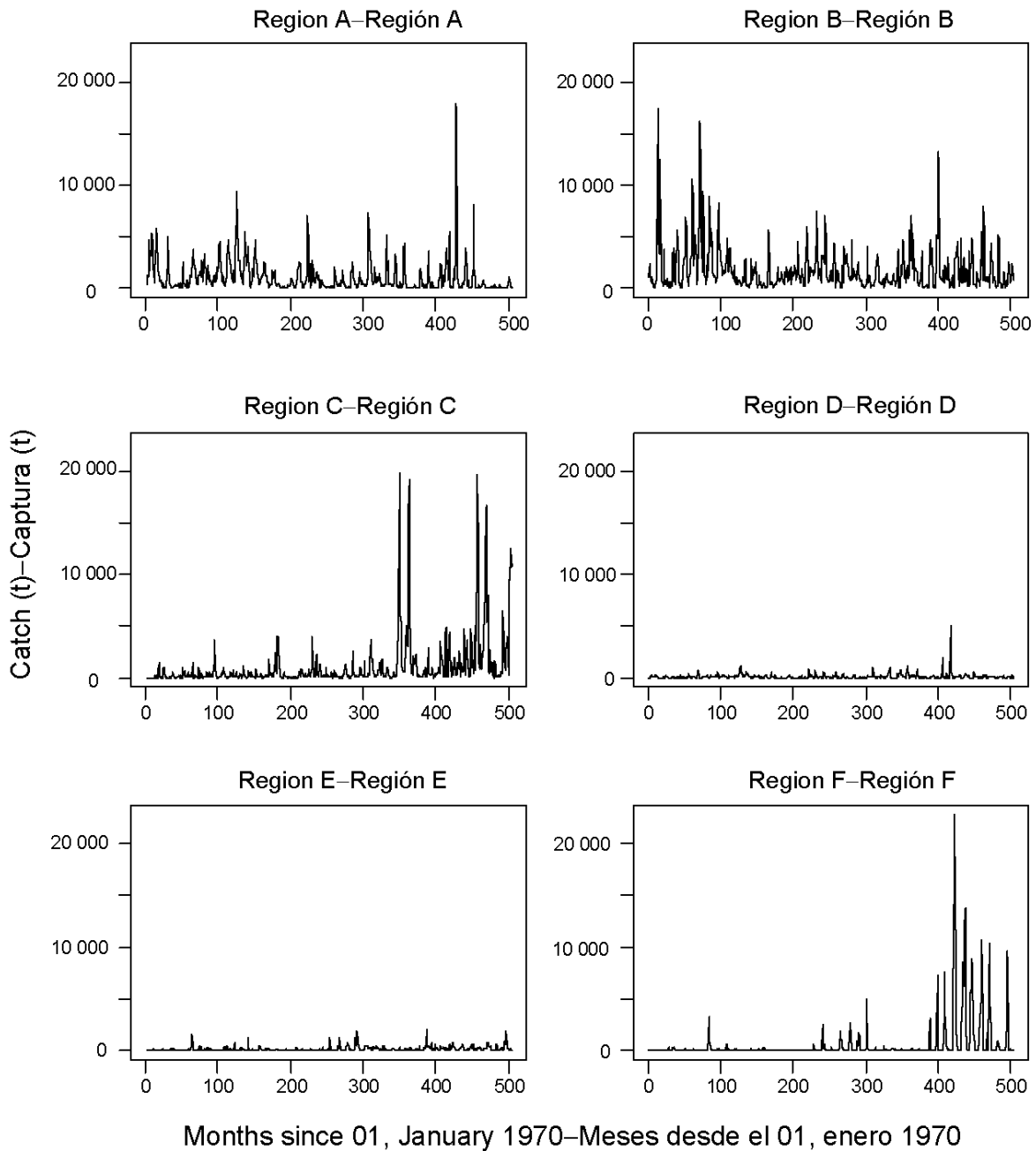


FIGURE 2.2b. Monthly catches in purse-seine sets on unassociated tunas, by region.
FIGURA 2.2b. Capturas mensuales en lances cerqueros sobre atunes no asociados, por región.

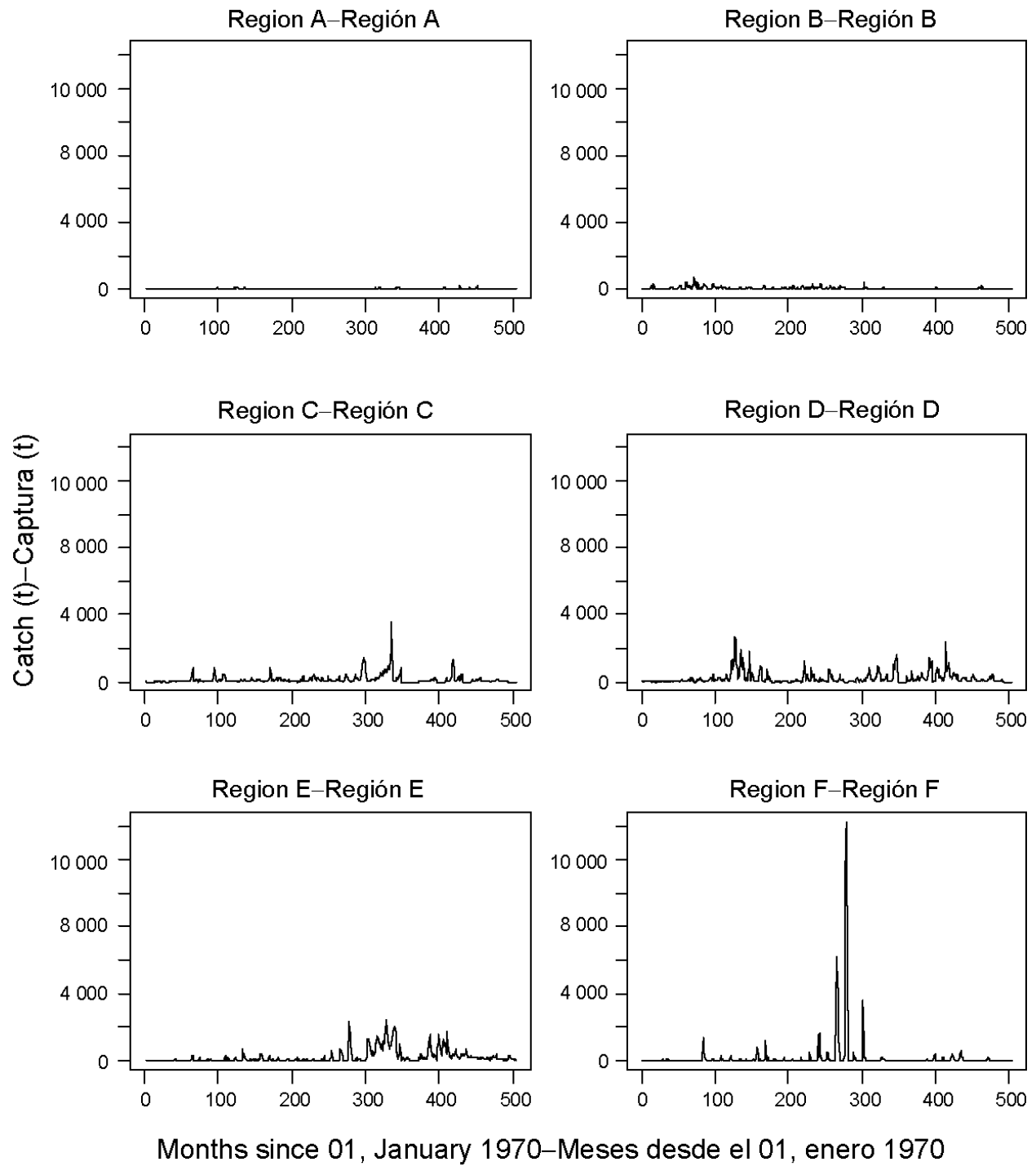


FIGURE 2.2c. Monthly discards of small skipjack, by region.
FIGURA 2.2c. Descartes mensuales de barriletes pequeños, por región.

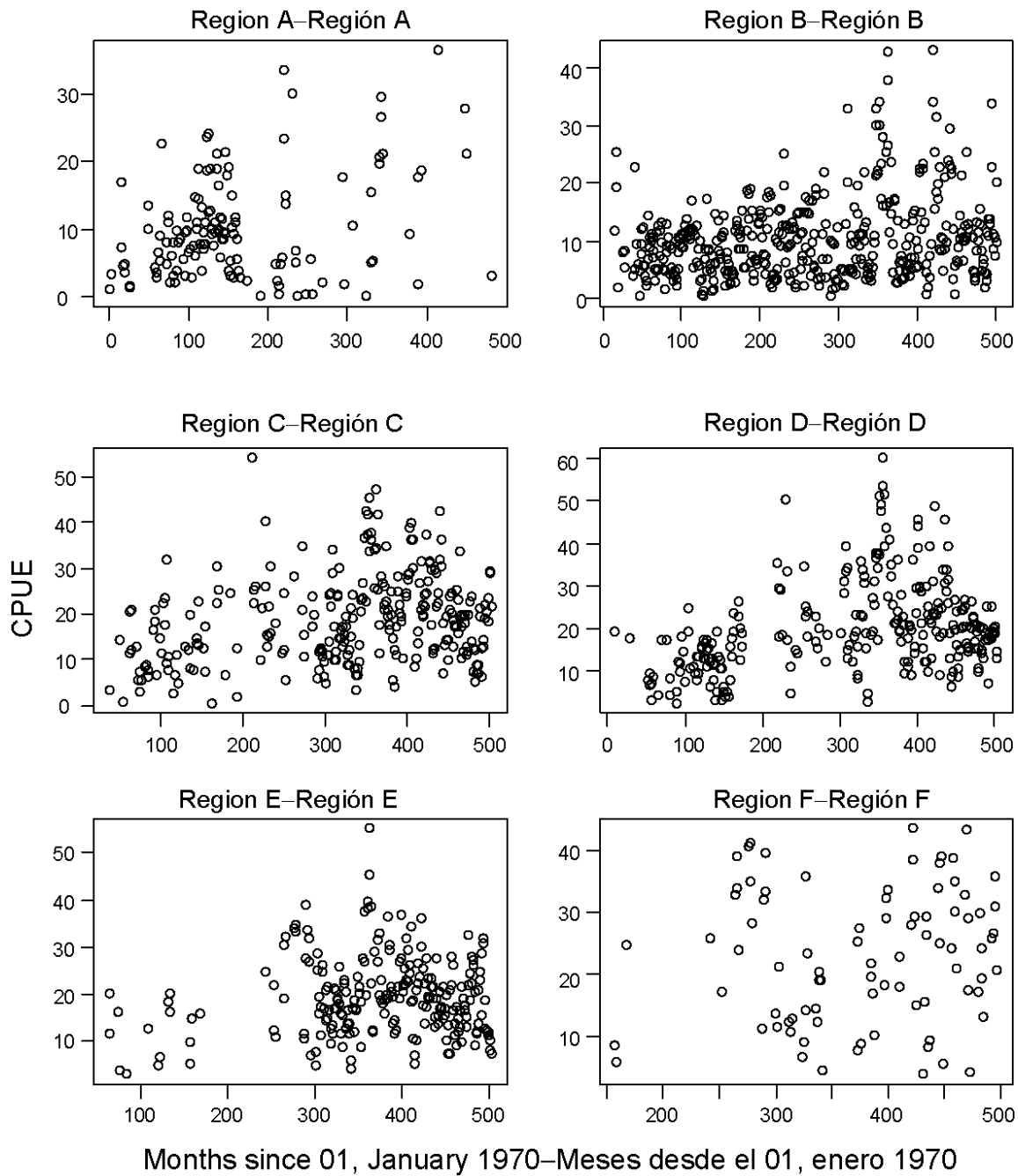


FIGURE 2.3a. Monthly CPUEs for the floating-object fisheries, by region.

FIGURA 2.3a. CPUE mensuales de las pesquerías sobre objetos flotantes, por región.

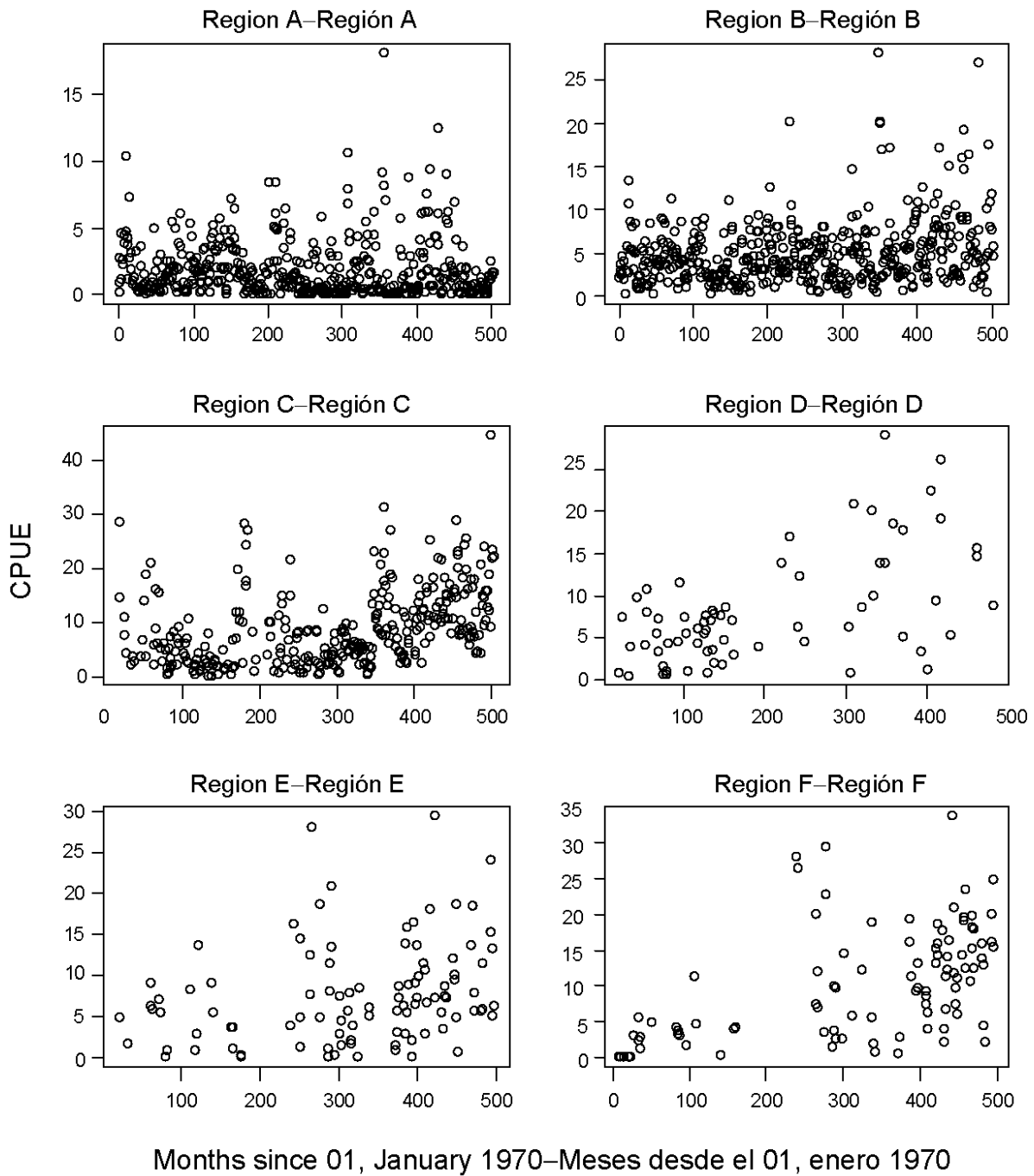


FIGURE 2.3b. Monthly CPUEs for the unassociated fisheries, by region.
FIGURA 2.3b. CPUE mensuales de las pesquerías no asociadas, por región.

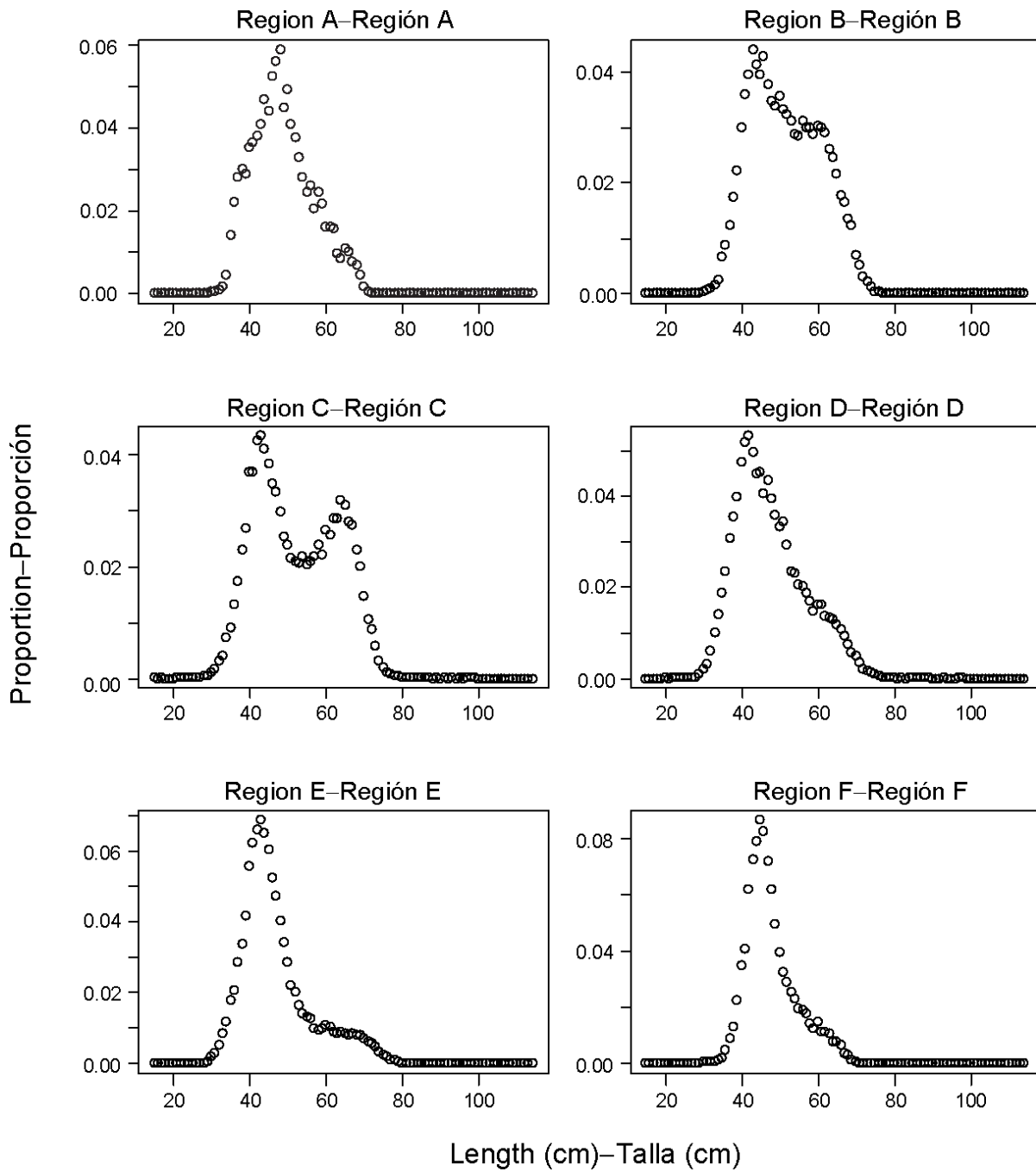


FIGURE 2.4. Average length-composition data, 1970-2011, for the floating-object fishery, by region.
FIGURA 2.4. Datos de composición por talla media, 1970-2011, de la pesquería sobre objetos flotantes, por región.

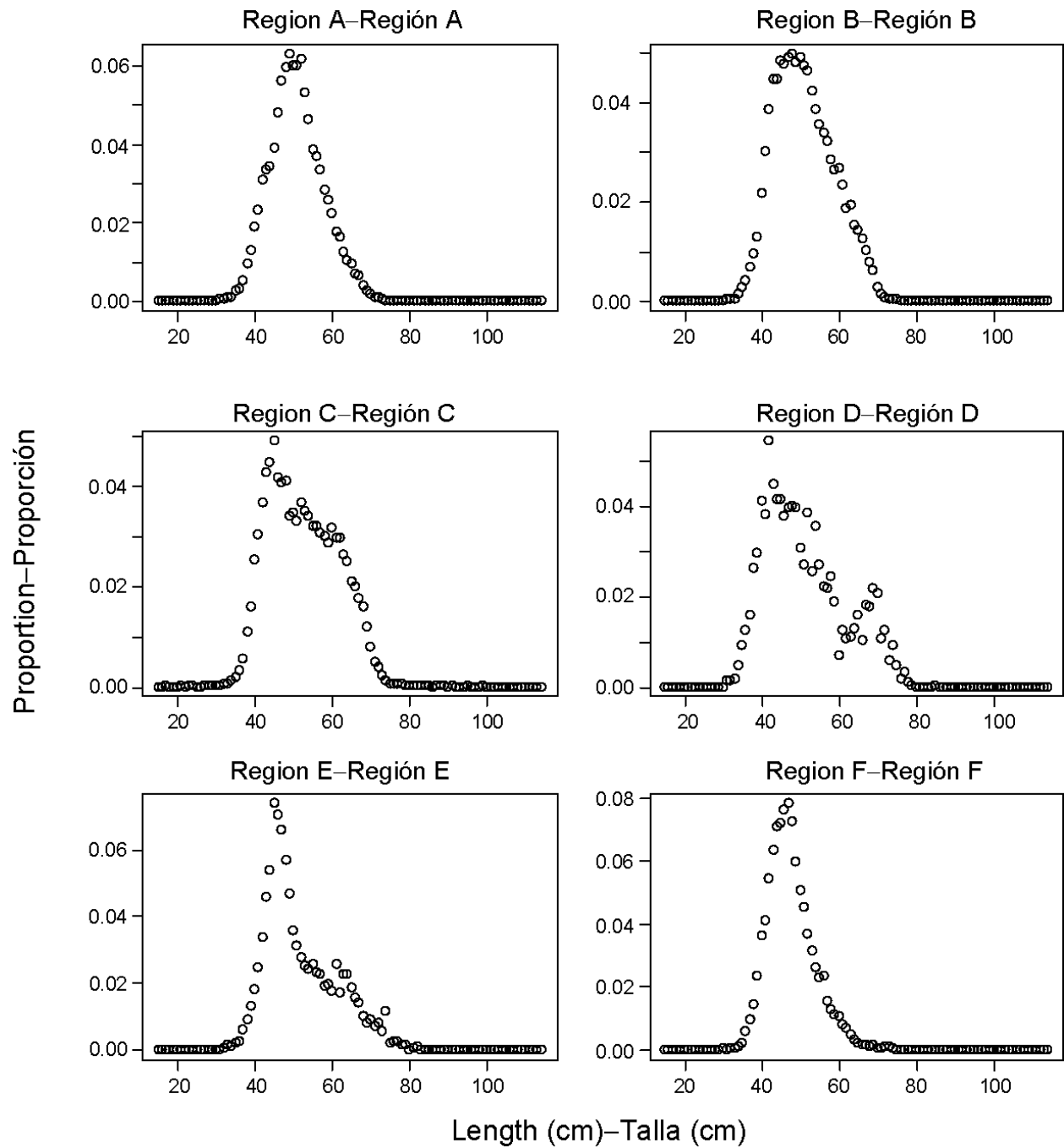


FIGURE 2.4, (continued).
FIGURA 2.4. (continuación)

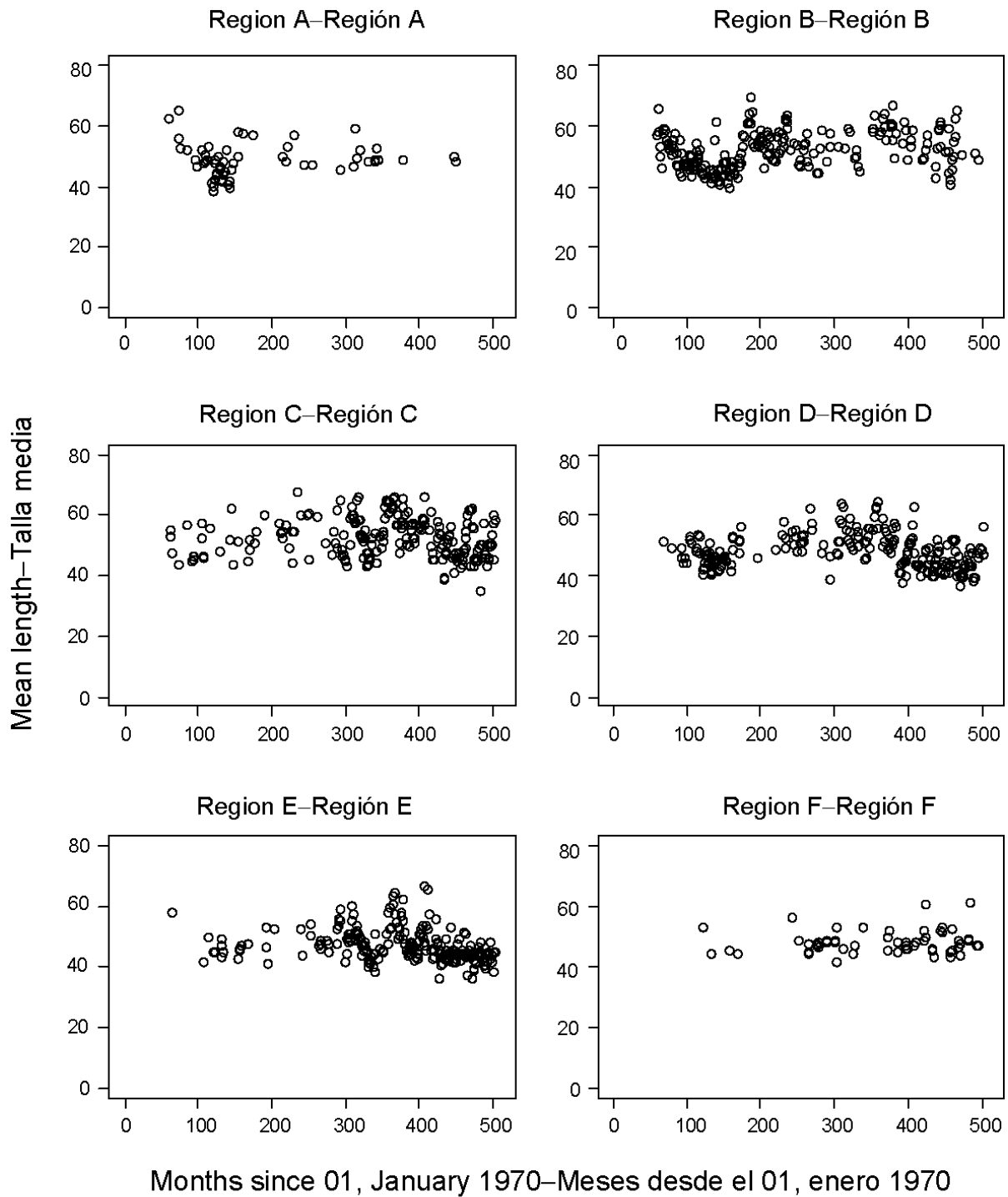


FIGURE 2.5a. Estimated average length of skipjack tuna caught in purse-seine sets on floating objects, by region.

FIGURA 2.5a. Talla promedio estimada del atún barrilete capturado en lances cerqueros sobre objetos flotantes, por región.

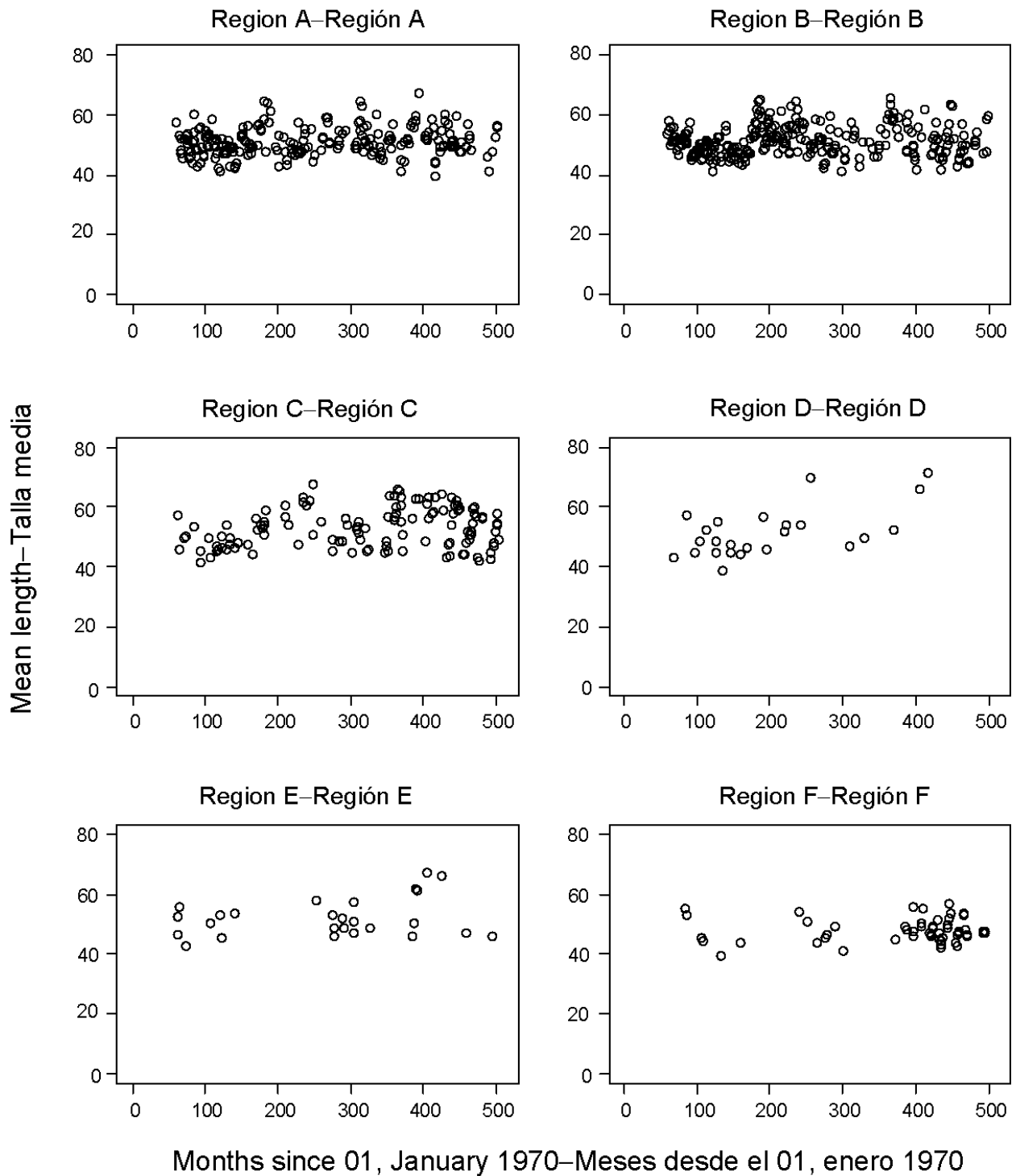


FIGURE 2.5a. Estimated average length of skipjack tuna caught in purse-seine sets on unassociated tunas, by region.
FIGURA 2.5a. Talla promedio estimada del atún barrilete capturado en lances cerqueros sobre atunes no asociados, por región.

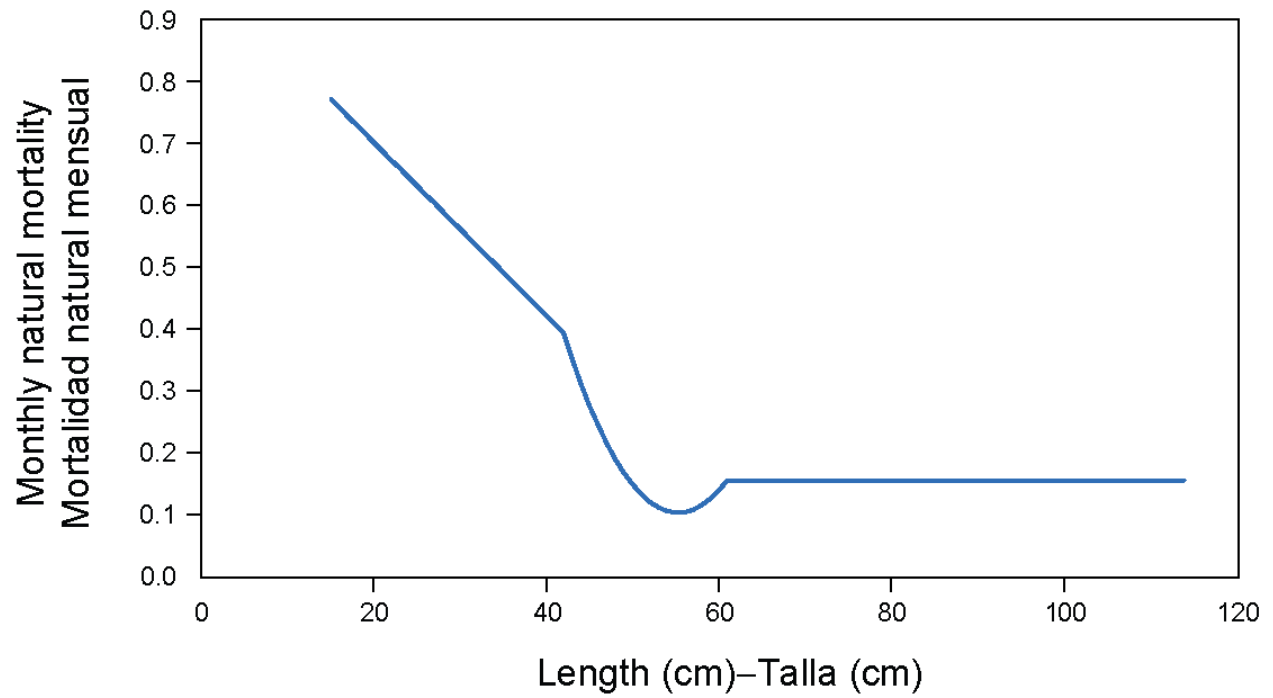


FIGURE 3.1. Rates of monthly natural mortality (M) used for the length-structured assessment of skipjack tuna.

FIGURA 3.1. Tasas de mortalidad natural (M) mensual usadas para la evaluación por talla del atún barrilete.

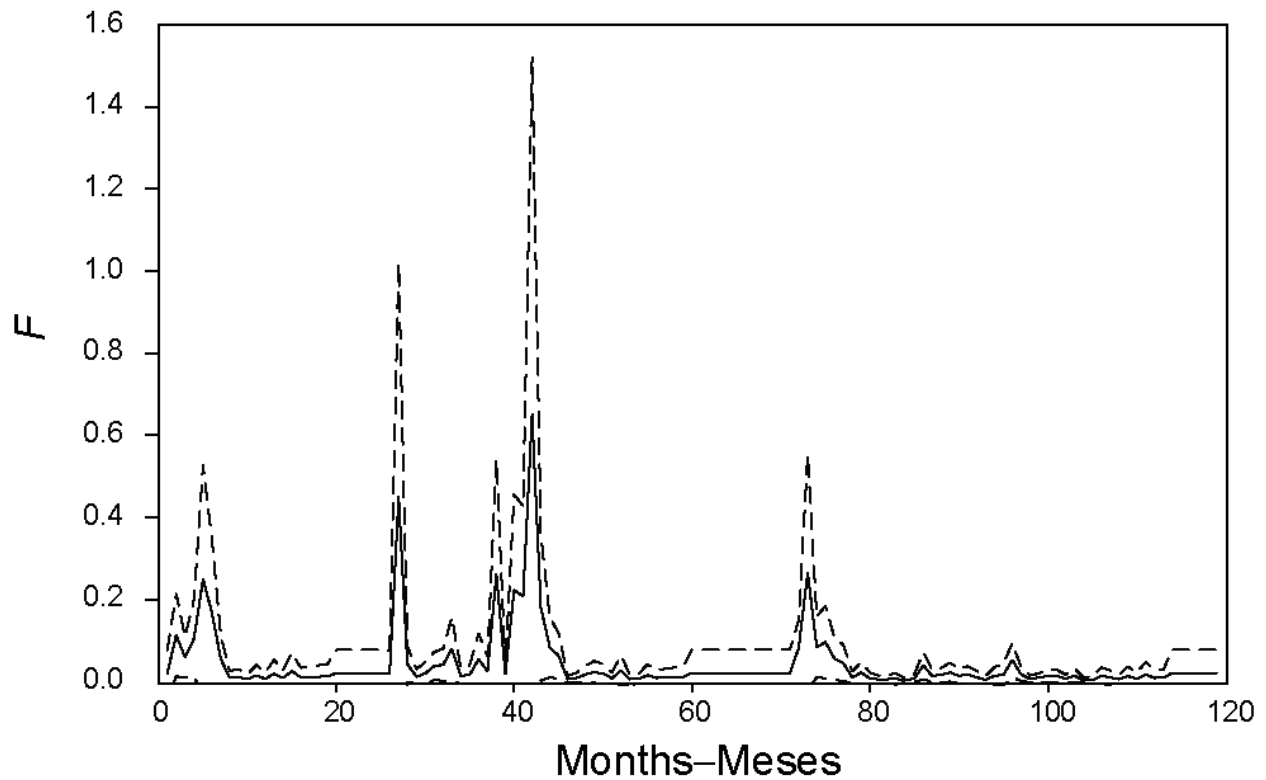


FIGURE 4.1a. Estimates of fishing mortality (F), with 95% confidence intervals, for the historic tag data. Time is in months since June 1973 (month 1).

FIGURA 4.1a. Estimaciones de la mortalidad por pesca (F), con intervalos de confianza de 95%, para los datos de marcado históricos. Tiempo en meses a partir de junio de 1973 (mes 1).

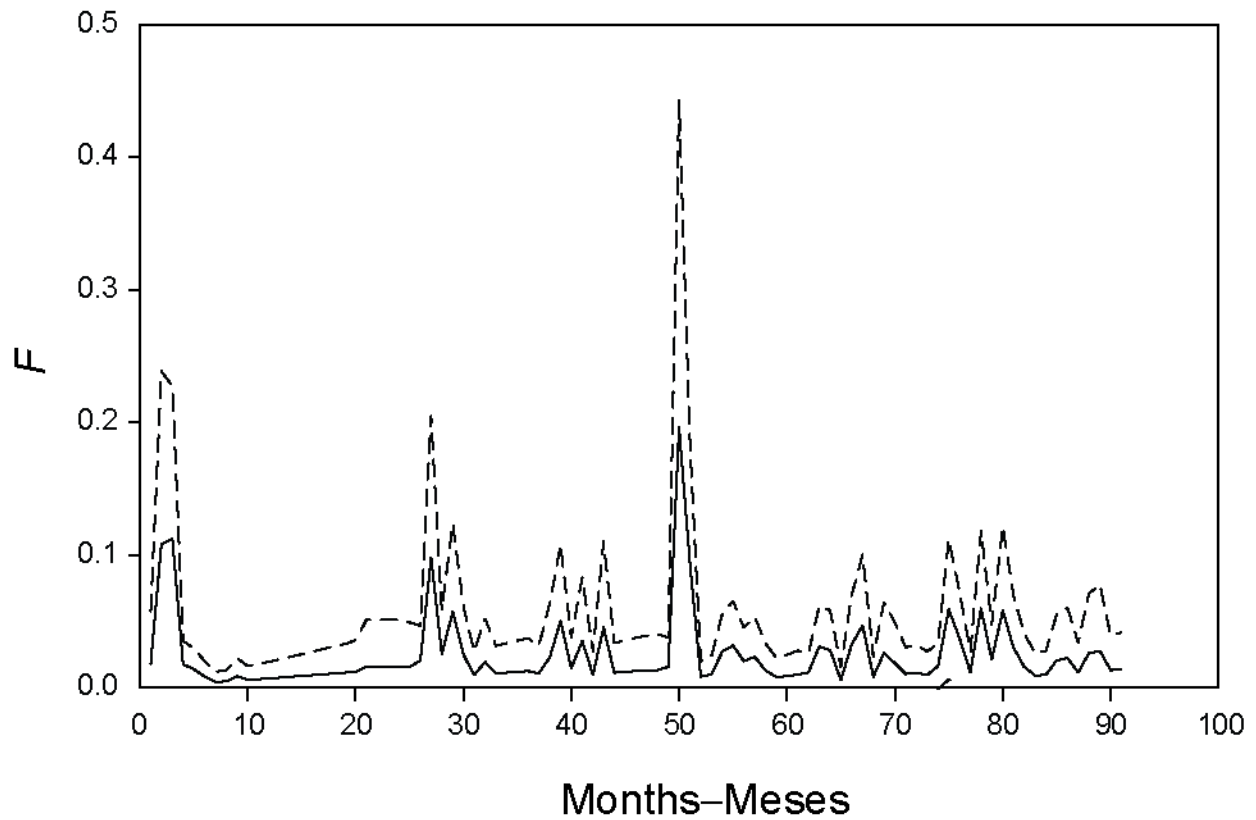


FIGURE 4.1b. Estimates of fishing mortality (F), with 95% confidence intervals, for the historic tag data. Time is in months since April 2000 (month 1).

FIGURA 4.1b. Estimaciones de la mortalidad por pesca (F), con intervalos de confianza de 95%, para los datos de mercado recientes. Tiempo en meses a partir de abril de 2000 (mes 1).

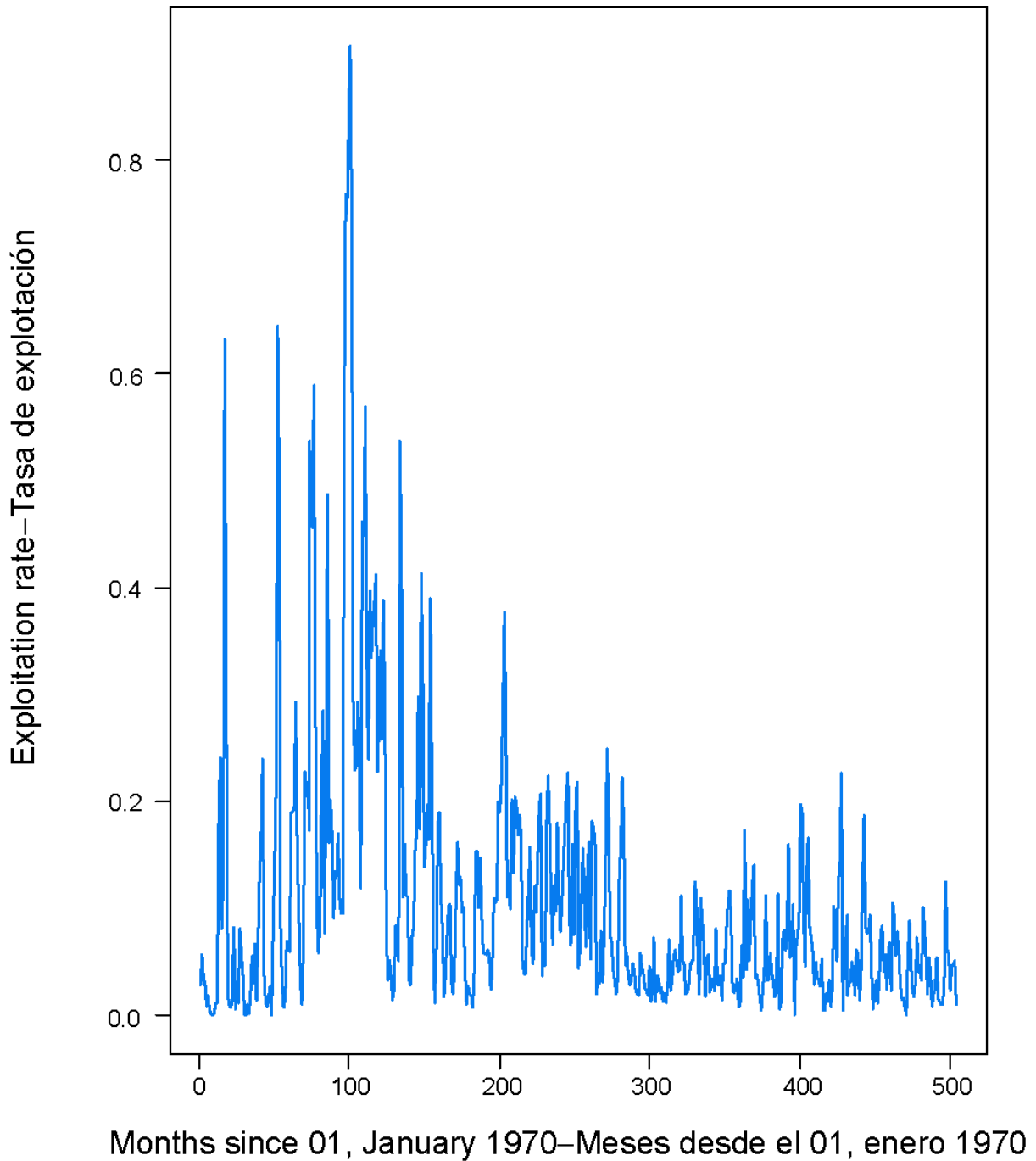


FIGURE 4.2. Monthly exploitation rate for region B estimated using the length-structured stock assessment model.
FIGURA 4.2. Tasa de explotación mensual correspondiente a la región B, estimada con el modelo de evaluación basado en talla.

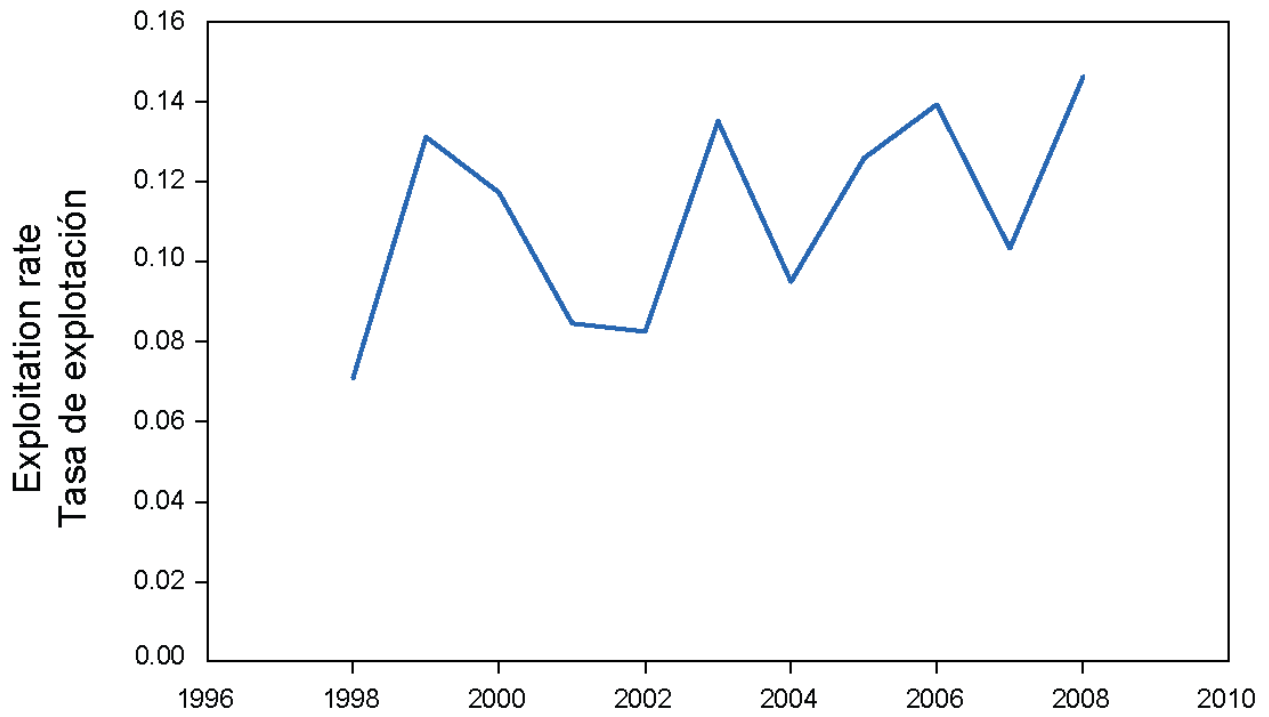


FIGURE 4.3. Annual exploitation rate of skipjack in the EPO, estimated by SEAPODYM.
FIGURA 4.3. Tasa de explotación anual de barrilete en el OPO, estimada con SEAPODYM.

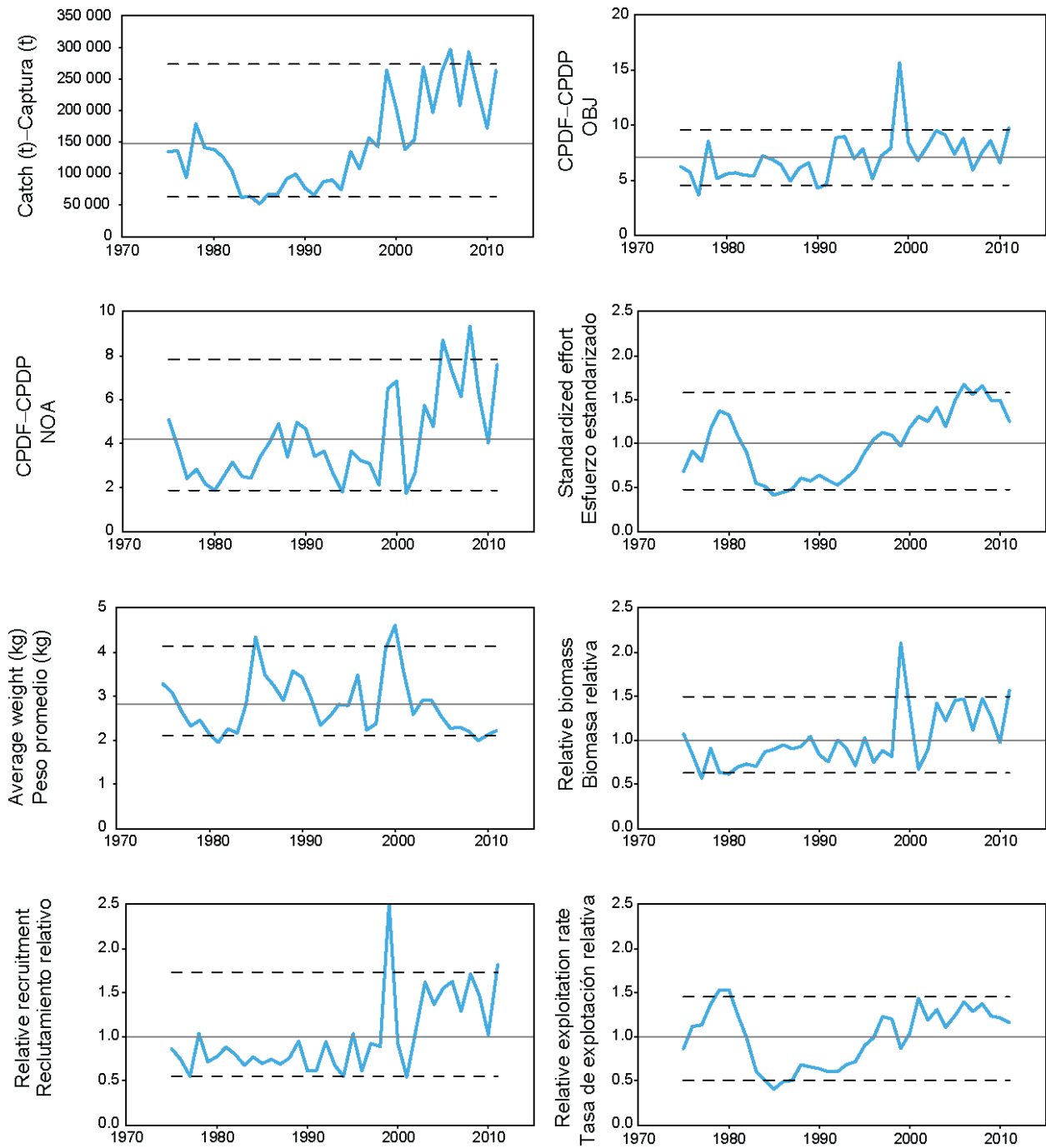


FIGURE 4.4. Indicators of stock status for skipjack tuna in the EPO. OBJ: floating-object fishery; NOA: unassociated fishery. All indicators are scaled so that their average equals one.

FIGURE 4.4. Indicadores de la condición de la población de atún barrilete en el OPO. OBJ: pesquería sobre objetos flotantes; NOA: pesquería no asociada. Se escalan todos los indicadores para que su promedio equivalga a uno.

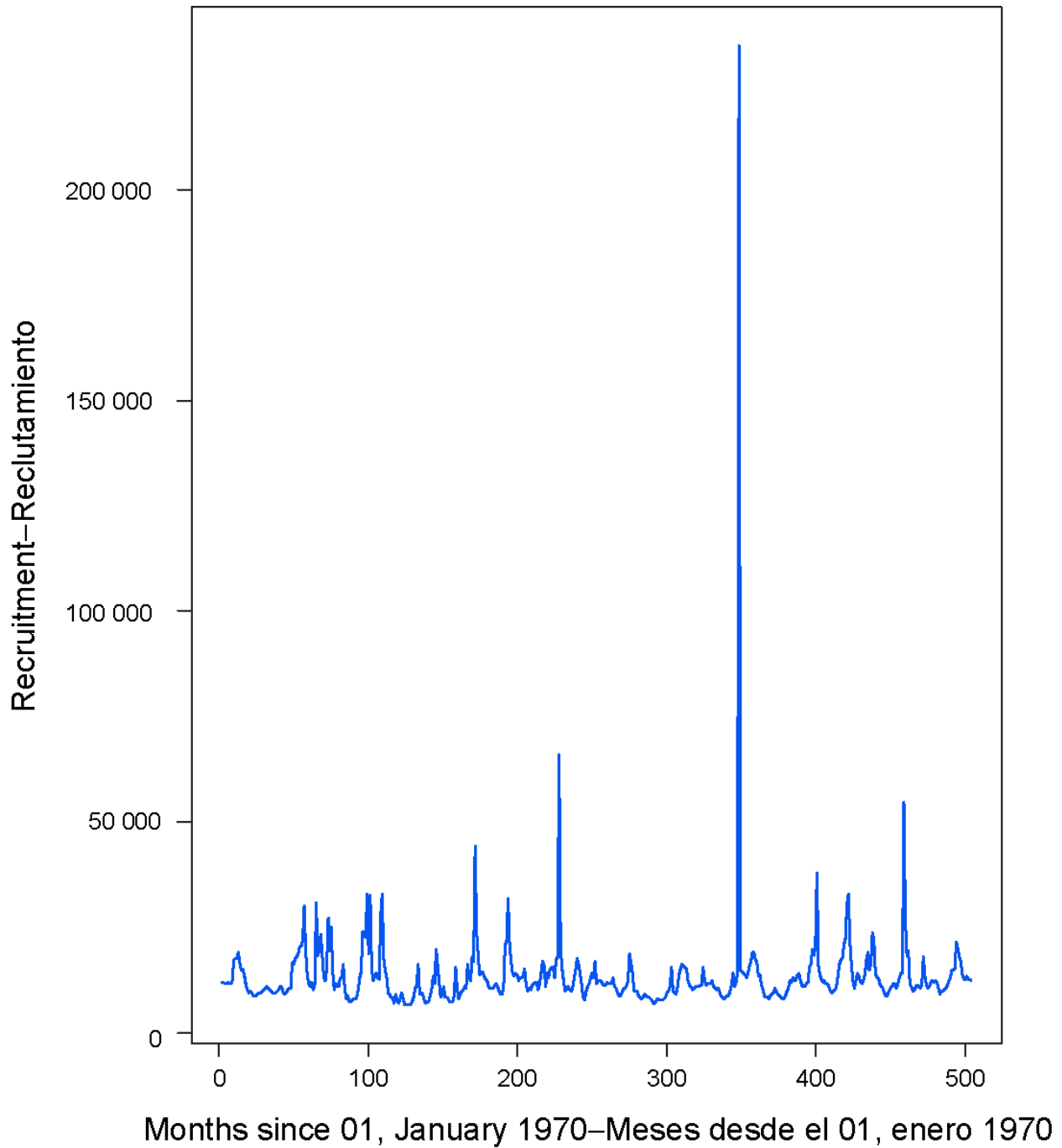


FIGURE 4.5. Monthly recruitment in region B, estimated by the length-structured model.
FIGURA 4.5. Reclutamiento mensual en la región B, estimado con el modelo basado en talla.

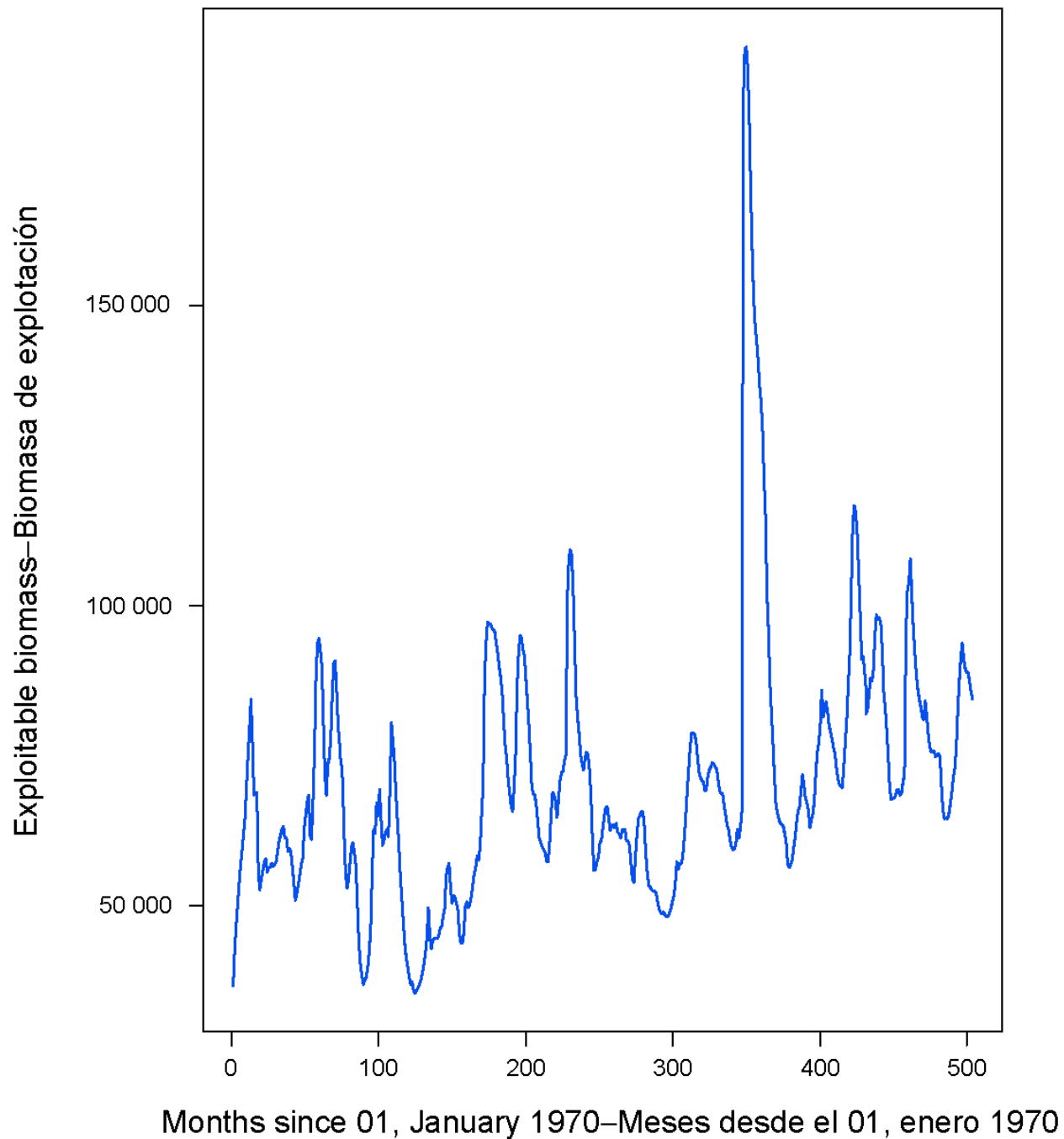


FIGURE 4.6. Exploitable biomass for the unassociated fishery in region B, estimated by the length-structured assessment model.
FIGURA 4.6. Biomasa explotable para la pesquería no asociada en la región B, estimada con el modelo basado en talla.

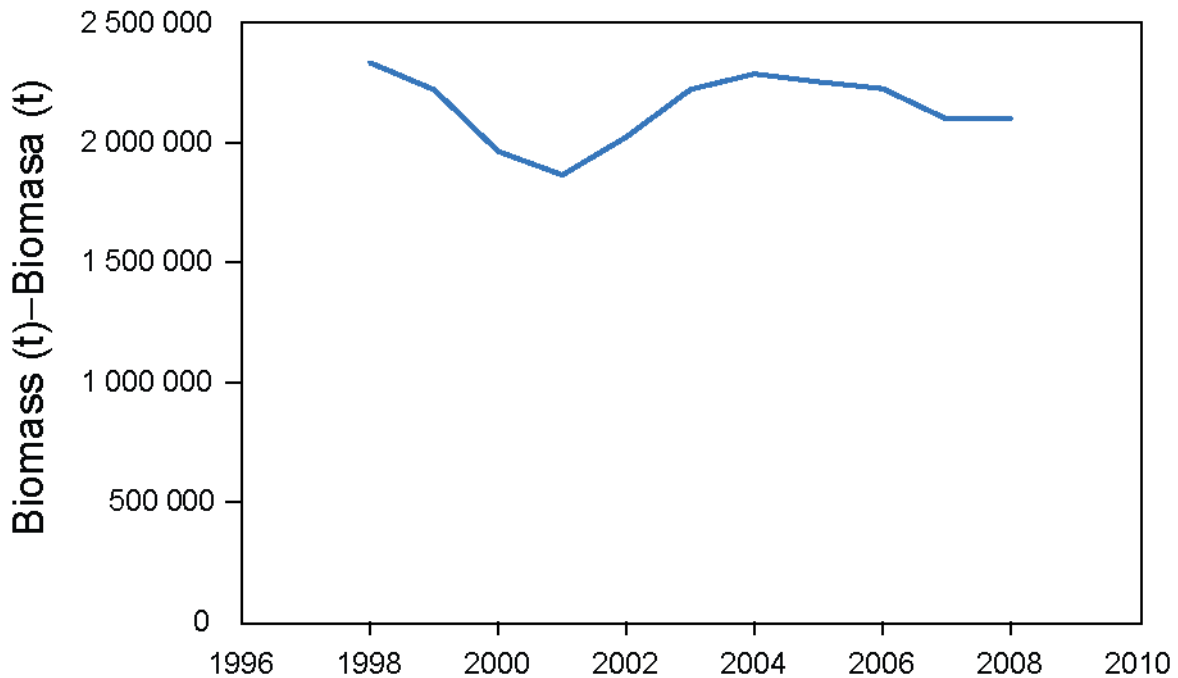


FIGURE 4.7 Biomass of skipjack 30 cm and larger in the EPO estimated by SEAPODYM.
FIGURA 4.7. Biomasa de barrilete de 30 cm de talla o más en el OPO, estimada con SEAPODYM.

TABLE 2.1. Regions defined for the stock assessment of skipjack tuna in the EPO. The sampling areas are shown in Figure 2.1.

TABLA 2.1. Regiones definidas para la evaluación de la población de atún barrilete en el OPO. En la Figura 2.1 se ilustran las áreas de muestreo.

Region	Description	Sampling areas
Región	Descripción	Áreas de muestreo
A	Inshore north Costera norte	1,2,4,8
B	Inshore central Costera central	5,6
C	Central	7,9
D	Offshore north Alta mar norte	3,10
E	Offshore south Alta mar sur	11,12
F	Inshore south Costera sur	13