

Muestreo a bordo de barcos mexicanos para estimar la estructura poblacional del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) del Pacífico Oriental

Rafael Solana-Sansores^{1,4},
Gabriel Aldana-Flores^{2,3} y
Guillermo Compéan-Jiménez^{2,4}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Apdo. Postal 1880. Km. 103 Carr. Tijuana-Ensenada, Baja California, México, 22860.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Unidad "B". Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, 64000.

³Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines, PNAAPD-FIDEMAR. Km. 107 Carr. Tijuana-Ensenada, campus CICESE. Ensenada, B. C. México, 22800.

⁴Instituto Nacional de la Pesca. Pitágoras 1320 por Universidad. Col. Sta. Cruz Atoyac. México, D.F. 03310. e-mail: solana@hotmail.com

Solana-Sansores, R., G. Aldana-Flores y G. Compéan-Jiménez, 2001. Muestreo a bordo de barcos mexicanos para estimar la estructura poblacional del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) del pacífico oriental. *Hidrobiológica* 11 (2): 123-132.

RESUMEN

Se propone un diseño de muestreo estratificado en tres etapas para obtener muestras de longitudes furcales (LF) de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) a bordo de embarcaciones cerqueras mexicanas en el Océano Pacífico Oriental. Los estratos corresponden a las regiones administrativas propuestas por la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), combinadas con los tres tipos de lances: lances sobre delfín (LD), lances sobre cardúmenes libres (LC) y lances sobre objetos flotantes (LOF). En un año y para cada estrato, se obtiene una muestra aleatoria de viajes pesqueros (unidades primarias). Las unidades secundarias (lances pesqueros, dentro de cada viaje seleccionado) son obtenidas a través de un esquema de muestreo sistemático. Finalmente, una muestra aleatoria de atunes aleta amarilla (tercera etapa) es obtenida en cada lance. Este diseño de muestreo (DM) permite estimar el peso promedio de los atunes aleta amarilla capturados, el número total de peces de esa especie y el número por clase de longitud, para la captura. El DM y sus estimadores fueron aplicados a la muestra de atunes obtenida en los viajes de pesca realizados durante 1997. Se observó que el peso promedio de los peces en LD y LC fue significativamente mayor al peso promedio de los peces capturados en LOF ($P < 0.05$), pero el número de peces por tonelada fue superior en este último. Además, la estructura por talla de peces en LD y en LC tienden a valores cercanos a 100 cm, mientras que en LOF los valores centrales se aproximan a los 50 cm. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por otros DM definidos para la captura de desembarco (Tomlinson *et al.*, 1992). Sin embargo, el diseño de muestreo propuesto tiene la ventaja de abarcar un mayor intervalo de tallas (incluyendo a los peces descartados) y cubrir una zona más amplia.

Palabras clave: diseño de muestreo probabilístico; muestreo en el mar; muestreo de atún aleta amarilla; *Thunnus albacares*; Océano Pacífico Oriental; pesquería mexicana.

ABSTRACT

A stratified three-stage sampling design is proposed to obtain furcal length (FL) of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) on board of Mexican purse-seine vessels in the eastern Pacific Ocean. The strata correspond to the administration regions proposed by the Interamerican Tropical Tuna Commission (IATTC) and are combined with three different sets: dolphin sets (DS), school sets (SS) and log sets (LS). In the first stage, it is obtained a random sample of the trips, over annual period. The second units (fishery sets, in each trip) are obtained through a systematic sampling. Finally, a random sample of yellow fin tunas (third stage) is obtained in each set. This sampling design (SD) allows to estimate the average weight, total number of fishes and total number of fish by length class in the catch. The SD and their

estimators were applied to the FL sample in 1997 at sea. It was observed that the average weight of the fishes in DS and SS was significantly larger than in LS ($P < 0.05$), whereas the number of fishes by ton was higher in this last. Moreover, the size structure of fishes in DS and SS tends to values close to 100 cm, whereas in the LS the central values were about 50 cm. These results are similar to those obtained by others SD in ports (Tomlinson *et al.*, 1992). However, this SD has the advantage of including information from the bycatch and it of covering a greater zone also.

Key words: Probability sampling design; sampling at sea; yellowfin tuna sampling; *Thunnus albacares*; eastern Pacific Ocean; Mexican fishery.

INTRODUCCIÓN

Para evaluar la salud de las poblaciones de atún aleta amarilla, (AAA) (*Thunnus albacares*; Bonnaterre, 1788) se han utilizado, entre otros, modelos basados en las características de la estructura por edades de la población (Anónimo, 1997; Punsly *et al.*, 1994). Estos modelos se basan en muestras obtenidas de la captura comercial, obtenidas en el puerto (Tomlinson, *et al.*, 1992) o en el momento de su captura (Hallier y Parajau, 1999). Así, los resultados de las evaluaciones están fuertemente influenciados por las características de los datos (Fournier, 1984; Zwandenburg y Smith, 1984; Baird y Stevenson, 1984; Smith y Gavaris, 1993). Por ejemplo, los muestreos en el mar permiten conocer las características de la maniobra y de los valores de las variables medioambientales, presentes al momento de la captura. Además, permiten conocer la estructura de tallas de aquellos peces que son descartados por no alcanzar un tamaño comercial. Sin embargo, esta fuente de información, por lo regular, resulta más costosa que los muestreos en puerto. La preferencia de una u otra fuente dependerá de los objetivos perseguidos, su accesibilidad y el presupuesto asignado al muestreo.

La captura de atún en el Océano Pacífico Oriental, OPO (fig 1) es una de las actividades pesqueras más importantes para México. La especie objetivo es el atún aleta amarilla, que principalmente se extrae con la red de cerco, en la superficie del mar. Este arte de pesca se utiliza bajo tres tipos de maniobras pesqueras diferentes: 1) lances sobre delfín (LD); 2) lances sobre cardúmenes libres (LC); y 3) lances sobre objetos flotantes (LOF) (Joseph, 1994). Los LD son los que realiza con mayor frecuencia la flota mexicana en el OPO y es donde se obtienen peces de tallas más grandes (Solana-Sansores, 1999); le siguen en importancia los LC y por último los LOF (Compéan-Jiménez y Dreyfus, 1996). Estos últimos capturan regularmente AAA de tallas pequeñas (Hall, *et al.*, 1999; Hallier y Parajau, 1999; Dagorn y Freón, 1999); asimismo, es donde se registra un alto valor de descarte de AAA que no presenta una talla comercial (Hall, 1996).

En la pesca del atún del OPO, México ha implementado un programa de observadores para la adquisición de datos a

bordo de las embarcaciones pesqueras (Compéan-Jiménez, 1993). Este programa ha sido implementado a través del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD). Desde el año de 1995, la colecta de datos de las longitudes furcales (LF) de AAA ha sido una de las tareas de los observadores de este programa. Dado que se pueden considerar los costos económicos mínimos, esta fuente resulta altamente redituable y es ideal para la toma de las mediciones de peces (Miyake, 1990). Entre sus ventajas destacan: 1) la obtención de muestras de LF de los peces descartados; 2) la toma de medidas de LF de AAA antes de que los peces se clasifiquen por tallas, lo que reduce la probabilidad de sesgos; 3) se amplía el área que cubre el muestreo: esto es muy importante si se toma en cuenta que el AAA muestra un comportamiento de estratificación espacial (Hall, *et al.* 1999); y 4) Se tiene la posibilidad de asociar a las

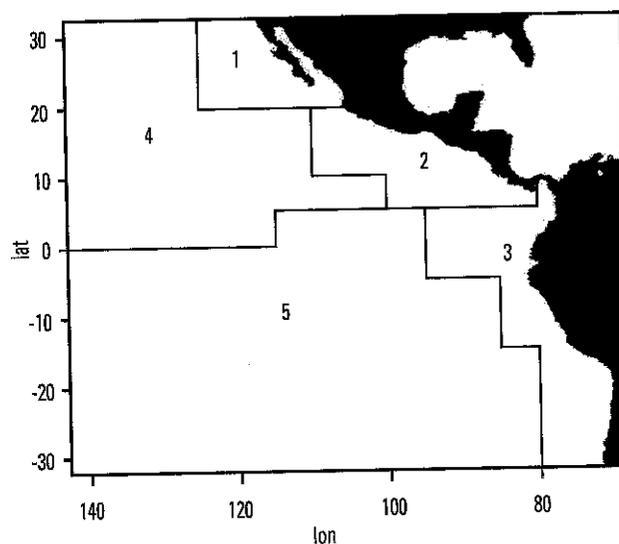


Figura 1. Océano Pacífico Oriental y las zonas administrativas para la pesca del atún. Las zonas administrativas fueron definidas por la Comisión Interamericana del Atún Tropical, CIAT, con base a las características observadas de la distribución espacial del esfuerzo de pesca y la estructura de las tallas del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*).

LF las características de la maniobra de pesca y de las variables ambientales.

El presente escrito tiene como objetivo describir el diseño de muestreo utilizado actualmente por el programa de observadores del PNAAPD, para la toma de muestras de atunes aleta amarilla a bordo de embarcaciones mexicanas. Este esquema de colecta permite: 1) estimar el peso promedio de los peces por tipo de lance; 2) estimar y comparar la estructura por tallas en la población capturada por tipo de lance; 3) estimar la captura total en peso y número de peces, por tipo de lance y área de pesca.

MÉTODOS

1. Supuestos.

Se parte de un diseño de muestreo estratificado en tres etapas (Cochran, 1980). Los estratos corresponden a cinco regiones del OPO utilizadas en la administración del recurso atún por parte de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, CIAT (fig. 1), además de considerar también los tipos de lances pesqueros. Para cada estrato considérense los siguientes supuestos: 1) los viajes en un año, N (unidades primarias, UP) son seleccionadas para la muestra (n) en forma aleatoria; 2) en cada viaje se selecciona aproximadamente el 33% del total de lances (m_i) a través de un muestreo sistemático (unidades secundarias, US); es decir, uno de cada tres lances con arranque aleatorio (Raj, 1980); y 3) la selección de la muestra de peces (o_{ij}) es aleatoria (unidades terciarias, UT), dentro de cada lance muestreado. En esta última etapa todos los peces de la última maniobra de "salabardeo" son seleccionados y medidos. Cabe aclarar que las fracciones de muestreo en la primera (f_1) y segunda (f_2) etapas se fijaron de antemano dada la conveniencia de operación de la toma de muestra. En estas dos etapas, el tamaño de muestra no es fijo, sino más bien depende del número total de viajes durante el año y del número de lances realizados durante el viaje de pesca seleccionado.

2. Estimación del peso promedio de los peces.

La estimación del peso promedio sigue la estructura del muestreo en tres etapas, de tal forma que primeramente se estima el peso promedio por lance muestreado (etapa 3), posteriormente, el peso promedio por viaje (etapa 2) y por último, el peso promedio de la zona (estrato), para algún tipo de

lance. El estimador del peso promedio para una zona y tipo de lance viene dado por la siguiente ecuación:

$$\bar{w} = 1/n \sum_{i=1}^n m_i \sum_{j=1}^{m_i} o_{ij} w_{ijk} \dots \dots \dots (1)$$

donde n , m_i y o_{ij} son los tamaños de las muestras de cada etapa, respectivamente, y w_{ijk} es el peso del k -ésimo pez obtenido en la muestra, en el j -ésimo lance del i -ésimo viaje.

La varianza de (1) se obtiene de la manera estándar para los diseños de muestreo polietápico, por el uso del teorema de las varianzas condicionales para tres etapas (ver Raj, 1980). Su expresión matemática es la siguiente:

$$Var(\bar{w}) = (1 - f_1) \frac{S_1^2}{n} + f_1(1 - f_2) \frac{S_2^2}{\sum_i m_i} + f_1 f_2(1 - f_3) \frac{S_3^2}{\sum_i \sum_j o_{ij}} \quad (2)$$

donde f_1 , f_2 y f_3 , son las fracciones de muestreo para la primera, segunda y tercera etapas, respectivamente y las varianzas (s_i^2 's) del peso, observadas en la primera, segunda y tercera etapas, respectivamente, se definen como sigue (Solana-Sansores y Arreguín-Sánchez, 1991):

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2 \dots \dots \dots (2a)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n(m_i - 1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (w_{ij} - \bar{w}_i)^2 \dots \dots \dots (2b)$$

$$S_3^2 = \frac{1}{nm_i o_{ij} - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{o_{ij}} (w_{ijk} - \bar{w}_{ij})^2 \dots \dots (2c)$$

Es decir, son las expresiones que miden la varianza promedio entre peces (s_3^2), la varianza promedio entre lances (s_2^2) y la varianza entre viajes (s_1^2).

3. Tamaño de muestra óptimo para la estimación del peso promedio.

Supóngase que el costo total de muestreo puede ser expresado en forma lineal con respecto al costo de muestreo en la primera, segunda y tercera etapas:

$$C = nc_1 + nm_i c_2 + nm_i o_{ij} c_3 \dots \dots \dots (3)$$

Donde C es el costo total de la campaña de muestreo; c_1 , c_2 y c_3 , son los costos de obtener las muestras de unidades primarias, secundarias y terciarias, respectivamente.

Al minimizar el producto de (2) y (3), se obtienen las ecuaciones que calculan los tamaños de muestra óptimos para la segunda y tercera etapas (Schweigert y Sibert, 1983):

$$m_i = \sqrt{\frac{c_1 s_2^2}{c_2 s_1^2}} \dots \dots \dots (4)$$

$$o_{ij} = \sqrt{\frac{c_2 s_3^2}{c_3 s_2^2}} \dots \dots \dots (5)$$

¹Salabardeo = Acción de utilizar el cucharón o salabardo para subir los peces del bolso de la red a la cubierta del barco.

donde las s^2_i , son las varianzas muestrales descritas en (2a) a (2c). El tamaño óptimo de muestreo de UP vendrá dado por la siguiente expresión (desde la ecuación 2):

$$n = \frac{1}{V_0} \left(s^2_1 + \frac{s^2_2}{m_i} + \frac{s^2_3}{m_i o_{ij}} \right) \dots\dots\dots (6a)$$

donde V_0 es una varianza fija. Si se prefiere con costos fijos (C_0), el tamaño de muestra de viajes podrá calcularse como sigue:

$$n = \frac{C_0}{c_1 + c_2 m_i + c_3 m_i o_{ij}} \dots\dots\dots (6b)$$

La varianza fija (V_0) o el costo fijo (C_0), en las ecuaciones (6a) y (6b), se determinan de acuerdo con el nivel de precisión necesario o al presupuesto del muestreo.

4. Estimación de la captura total, tasas de captura y número total de peces capturados por zona.

Cuando no se tiene acceso a una fuente de información sobre la captura total, por área o por barco (por ejemplo, las bitácoras de pesca) es necesario estimar las tasas de captura y, posteriormente, la captura total para una zona en particular. Para ello se utiliza la información muestral de las capturas por zona y tipo de lances pesquero, de la base de datos de los observadores del PNAAPD (BDO). Dado el número total de lances de cada tipo (LD, LC y LOF) en cada estrato (L_i), un estimador de la tasa de captura para algún estrato y tipo de lance, estará dado por lo siguiente:

$$c_i = \frac{\sum c_{ij}}{l_i} \dots\dots\dots (7)$$

donde l_i es el número total de lances muestreados y c_{ij} la captura en el i -ésimo lance. La varianza está dada por la siguiente ecuación:

$$Var = \left\langle \frac{S^2_i}{l_i} \right\rangle \dots\dots\dots (8)$$

donde S^2_i es la varianza muestral de las capturas por lance.

Un estimador de la captura total por lance estará dada por la siguiente ecuación:

$$C_i = l_i \cdot \bar{c}_i \dots\dots\dots (9)$$

y la varianza de la captura:

$$Var \langle C_i \rangle = l_i^2 \cdot Var \langle \bar{c}_i \rangle \dots\dots\dots (10)$$

Con (1) y (9) es posible definir un estimador del número total de individuos en la captura para un estrato particular y un tipo de lance. Este vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$N_i = \frac{C_i}{W} \dots\dots\dots (11)$$

Una buena aproximación de la varianza de (11) puede ser obtenida a través del método delta (Seber, 1985). Así, la expresión de la varianza estará dada como sigue:

$$Var(N_i) = C_i^2 \cdot Var \left\langle \frac{1}{W} \right\rangle + \left\langle \frac{1}{W} \right\rangle^2 \cdot Var(C_i) + 2 \cdot C_i \cdot \left\langle \frac{1}{W} \right\rangle \cdot Cov \left\langle \frac{1}{W}, C_i \right\rangle \dots\dots\dots (12)$$

El último término de (12) representa la covarianza entre el inverso del peso promedio y la captura, estimados. Al multiplicarse por la captura y el inverso del peso, representa la proporcionalidad de la covarianza en el estimador de la varianza.

Cuando se dispone de la información exacta de las capturas por área no es necesario el uso de las ecuaciones (7) a (10), para estimar el número total de peces capturados.

5. Estimación de las proporciones de individuos por clases de longitud.

De acuerdo a las características de la estructura de las clases de longitud descritas en los trabajos de Wild (1986) y de Tomlinson y colaboradores (1992), se definieron clases de longitud con amplitud de cinco centímetros cada una. Las clases comprenden desde los 20 hasta los 225 cm.

Las estimaciones de las proporciones son definidas de acuerdo al diseño de muestreo propuesto. Para obtener una estimación de la proporción en cada clase de longitud se supone que cada LF se comporta como una variable con dos posibles resultados: la LF pertenece a la clase de longitud "E" o la LF no pertenece a "E".

Un estimador no sesgado para la proporción de individuos que pertenece a una clase de longitud (p_{ijE}), en el j -ésimo lance e i -ésimo viaje, viene dado como sigue:

$$p_{ijE} = \frac{o_{ijE}}{o_{ij}} \dots\dots\dots (13)$$

y su varianza:

$$Var(p_{ijE}) = \frac{p_{ijE} \cdot (1 - p_{ijE})}{o_{ij}} \dots\dots\dots (14)$$

Si se supone que el número de lances y el número de viajes es grande, un estimador no sesgado de la proporción de individuos que pertenecen a la clase de longitud E en el estrato, vendrá dada como sigue:

$$\bar{p}_E = \frac{1}{n \cdot m_i} \sum_{ij} p_{ijE} \dots \dots \dots (15)$$

La varianza muestral de (15) estará dada por la siguiente ecuación:

$$Var(\bar{p}_E) = \frac{(1 - f_1)}{n(n - 1)} \sum_{ij} (\bar{p}_{ijE} - \bar{p}_E)^2 + \frac{f_1(1 - f_2)}{n \cdot m_i \cdot (m_i - 1)} \sum_{ij} (\bar{p}_{ijE} - \bar{p}_{iE})^2 + f_1 f_2 (1 - \frac{f_3}{n \cdot m_i \cdot (m_i - 1)}) \sum_{ij} p_{ijE} (1 - p_{ijE}) \dots \dots (16)$$

Posteriormente, es posible definir intervalos de confianza para cada proporción estimada por el uso de los intervalos de confianza de Goodman (1965) o por otro mecanismo.

El tamaño de muestra óptimo en todas las etapas del muestreo para estimar cada proporción, se puede obtener por sustituir los términos de las varianzas de primera, segunda y tercera etapas de la ecuación (16), en las ecuaciones (4), (5) y (6), para una varianza fija (V_{θ}).

6. Estimaciones del número total de individuos por clase de longitud, N_E , en la captura.

Un estimador delta del número de individuos por clase de longitud para atunes, es dado por la siguiente expresión:

$$N_e = N_T \cdot \bar{p}_e \dots \dots \dots (17)$$

La varianza del estimador delta se define de la siguiente manera (Seber, 1985):

$$Var(N_e) = N_T^2 \cdot Var(\bar{p}_E) + p_E^2 \cdot Var(N_T) + 2 \cdot N_T \cdot \bar{p}_E \cdot Cov(\bar{p}_E, N_T) \dots (18)$$

donde el último término de la derecha es la covarianza del estimador de la proporción de individuos en la clase de longitud E y el estimador del número total de individuos en la captura.

RESULTADOS

1. Estimación.

Las ecuaciones definidas en este diseño de muestreo se aplicaron a la información de longitudes furcales de atunes aleta amarilla, obtenidos a bordo de las embarcaciones pesqueras durante el año de 1997. La tabla 1 presenta un resumen de las características generales de la información muestral.

Debido a que no se contó con la información total de las capturas por zona (por ejemplo: información de las bitácoras), fue necesario realizar una estimación de estas, en toneladas métricas (tm), por tipo de lance pesquero y estrato.

Tabla 1. Número de lances de pesca y de atunes aleta amarilla (*Thunnus albacares*), en donde se obtuvieron medidas de longitudes estándar (cm), por tipo de lance. Los valores de las tallas promedio fueron obtenidos de la información de las muestras de longitudes estándar, registradas por los observadores del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines, a bordo de embarcaciones cerqueras mexicanas que pescaron atún en el Pacífico Oriental durante 1997.

| Tipo de lance de pesca | Número de lances colectados | Número de peces medidos | Talla promedio (cm) |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Lances sobre delfín | 359 | 15,023 | 98.4 |
| Lances sobre cardúmenes libres | 220 | 12,925 | 80.1 |
| Lances sobre objetos flotantes | 17 | 745 | 67.7 |

Para ello, se utilizó la BDO del PNAAPD. En la tabla 2 se presentan las capturas totales de México, así como el número total de lances (por tipo), para 1997.

Las estimaciones del peso promedio por zona de pesca y tipo de lance se presentan en la tabla 3. En los estratos 1 y 2, frente a las costas de México, los pesos promedio (kg) en LD fueron los más altos; le siguieron los pesos obtenidos en LC y por último en LOF. Sin embargo, en el estrato 4, zona lejana a las costas de México, el peso promedio estimado en LOF fue prácticamente el doble a los otros dos tipos de lances. Estas tres zonas son en donde se registra la mayor actividad de la flota mexicana. Obsérvese, sin embargo, que el error estándar (en porcentaje) asociado al peso promedio en ese último estrato para los LOF es cercano al 50%, lo cual indicaría que existe una error grande en la estimación. Contrariamente, en las estimaciones del peso promedio en LD el error estándar relativo no rebasa el 17%, por lo que se consideran buenas estimaciones. En esos tres estratos los pesos promedio estimados en LD fueron mayores que en LC, el segundo tipo de lance más importante en las actividades de la

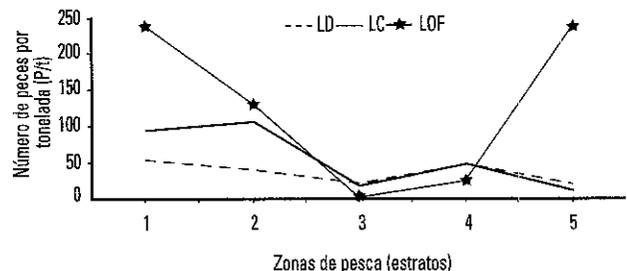


Figura 2. Estimación del número de peces capturados por tonelada, por tipo de lance y zona de pesca, durante 1997. LD = Lances sobre delfín; LC = Lances sobre cardúmenes libres; LOF = Lances sobre objetos flotantes.

Tabla 2. Número de lances pesqueros y captura (t.m.), totales y muestrales, registrados en la base de datos del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD), durante 1997.

| Tipo de lance de pesca | Número total de lances | Captura total (tm) | Número de lances en la muestra | Captura en los lances de la muestra (tm) |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|--|
| Lances sobre delfín | 4,722 | *** | 2,657 | 44,776 |
| Lances sobre cardúmenes libres | 3,276 | *** | 2,093 | 19,943 |
| Lances sobre objetos flotantes | 312 | *** | 214 | 2,599 |
| Total | 8,310 | 125,166 | 4,964 | 67,318 |

flota atunera mexicana. Los estratos 3 y 5 son los menos visitados por la flota atunera mexicana. En esos dos estratos, los lances sobre cardúmenes libres son los más importantes para México en donde los peces alcanzan tallas grandes. Por ello, aunque en esos dos estratos las estimaciones se basan en muestras pequeñas (de uno o dos cruceros de pesca), se alcanza a observar que los peces en ese tipo de lance son los más grandes para el año analizado.

La tabla 4 contiene las estimaciones del número de lances y de la captura total estimada, en toneladas y en número de peces. Si se observa la captura en peso, cerca del 85% de esta fue obtenida a través de LD, un 17% en LC y solamente un 3% en LOF. Sin embargo, si la captura se analiza en número de peces, en LD solamente se capturó un 49% de los peces, mientras que se observa que este porcentaje aumenta en las otras dos maniobras de pesca, para ese año.

Tabla 3. Estimaciones del peso promedio (en kilogramos) de atunes aleta amarilla (*Thunnus albacares*), por zona de pesca y tipo de lance, para el año de 1997. LD = Lances sobre delfín; LC = Lances sobre cardúmenes libres; LOF = Lances sobre objetos flotantes.

| Zona de pesca | Tipo de Lance | Número de peces medidos | Peso promedio (kg) | Error Estándar (E. E.) | E. E. en porcentaje |
|---------------|---------------|-------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | LD | 757 | 18.0 | 3.0 | 16.7 |
| | LC | 4470 | 10.7 | 1.7 | 15.9 |
| | LOF | 56 | 4.2 | 2.2 | 52.4 |
| 2 | LD | 3321 | 24.6 | 2.6 | 10.6 |
| | LC | 5848 | 9.4 | 1.0 | 10.6 |
| | LOF | 33 | 7.7 | 0.5 | 6.5 |
| 3 | LD | 338 | 45.8 | 14.0 | 30.6 |
| | LC | 124 | 67.2 | 1.5 | 2.2 |
| | LOF | 0 | *** | *** | *** |
| 4 | LD | 9715 | 23.6 | 1.6 | 6.8 |
| | LC | 1253 | 21.8 | 5.6 | 25.7 |
| | LOF | 621 | 41.7 | 20.7 | 49.6 |
| 5 | LD | 889 | 52.7 | 6.8 | 12.9 |
| | LC | 1230 | 81.6 | 13.3 | 16.3 |
| | LOF | 35 | 14.1 | 8.7 | 61.7 |

Una posible comparación entre los diferentes tipos de maniobras y zonas de pesca es a través del número de peces capturados por tonelada. Los valores se presentan en la última columna de la tabla 4 y en la figura 2. Comparando por tipo de lance, se observa que en LOF se tiende a pescar más peces por tm y menos en LD. Las zonas 3 y 5 es donde se observa que el número de peces/tm es menor, pero también son las zonas en donde en raras ocasiones realiza maniobras de pesca la flota mexicana.

Tabla 4. Resultados de las estimaciones del número total de lances y de la captura, por tipo de lance y zona de pesca durante 1997. La captura es estimada en peso (toneladas métricas), en número de individuos y en número de individuos por tonelada. LD = Lances sobre delfín; LC = Lances sobre cardúmenes libres; LOF = Lances sobre objetos flotantes.

| Zona de pesca | Tipo de Lance | Número estimado de lances | Captura total estimada (ton métricas) | Captura estimada en número de peces | Número de peces por tonelada |
|-----------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1 | LD | 234 | 3,532.7 | 186,339 | 52.7 |
| | LC | 1,223 | 9,024.2 | 845,662 | 93.7 |
| | LOF | 23 | 245.1 | 58,182 | 237.4 |
| 2 | LD | 1,008 | 10,295.1 | 415,737 | 40.4 |
| | LC | 1,614 | 20,909.0 | 2,214,397 | 105.9 |
| | LOF | 14 | 260.4 | 34,030 | 130.7 |
| 3 | LD | 97 | 1,846.4 | 40,061 | 21.7 |
| | LC | 34 | 654.0 | 9,737 | 14.9 |
| | LOF | 0 | 0.0 | 0 | *** |
| 4 | LD | 3,124 | 58,524.8 | 2,696,210 | 46.1 |
| | LC | 343 | 3,028.3 | 141,193 | 46.6 |
| | LOF | 260 | 2,759.1 | 66,135 | 24.0 |
| 5 | LD | 259 | 4,915.0 | 91,520 | 18.6 |
| | LC | 63 | 631.7 | 7,737 | 12.2 |
| | LOF | 15 | 287.0 | 36,540 | 127.3 |
| Total o tipo de lance | LD | 4,722 | 79,114.0 | 3,429,867 | 35.9 |
| | LC | 3,277 | 34,247.2 | 3,218,726 | 54.7 |
| | LOF | 312 | 3,551.6 | 194,887 | 129.8 |
| Total | | 8,311 | 116,912.8 | 6,843,480 | *** |

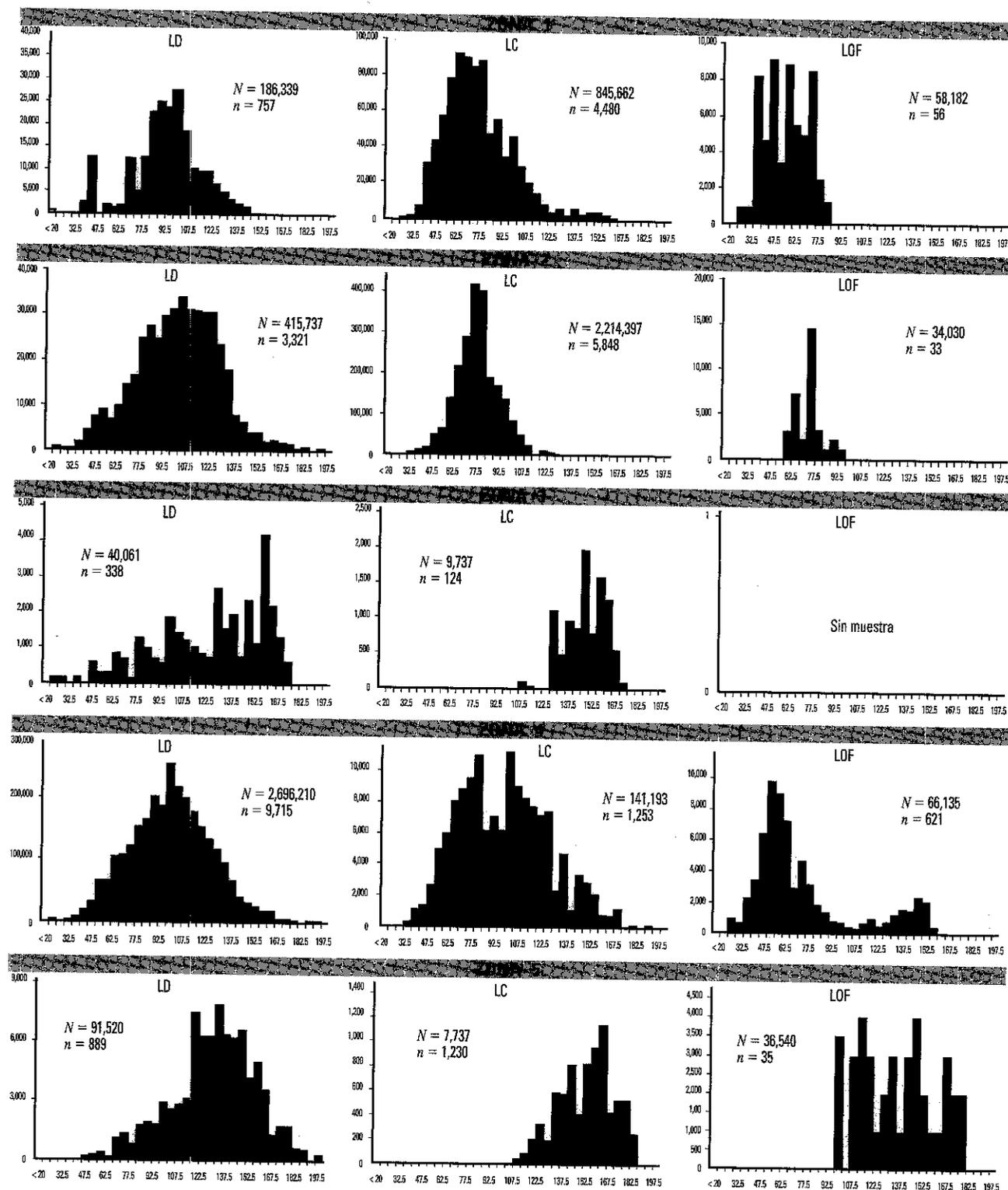


Figura 3. Estimaciones de la estructura de tallas en la población capturada, por tipo de lance y zona de pesca, durante 1997. Obsérvese que los ejes de las ordenadas muestran diferente escala, debido a que existió una gran variabilidad en las estimaciones del número total de atunes aleta amarilla capturados en cada caso. LD = Lances sobre delfín; LC = Lances sobre cardúmenes libres; LOF = Lances sobre objetos flotantes n = número de atunes aleta amarilla medidos para una zona y tipo de lance particular, durante ese año; N = Estimación del número total de atunes aleta amarilla capturados en una zona y tipo de lance de pesca, en particular.

En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos del número total de individuos por clase de longitud. En todas las zonas se observa que la estructura con LD tiende a clases de longitud más grandes que en LC y éstos a su vez mayores que en LOF. La zona 4 es la más productiva, en términos de número de peces capturados y toneladas de captura. Para los LC, en las zonas 1 y 2 se capturaron una mayor cantidad de peces. La captura de peces con LOF no son muy importantes, observándose que el número de peces en su clase modal no rebasa los 4000 peces.

2. Tamaño de Muestra.

Suponga que los costos (en minutos) para tomar las medidas de los peces son los siguientes:

$c_1 = 86,400$ min. (aproximadamente 60 días en el mar) = Desplazar un observador en un viaje de pesca.

$c_2 = 120$ min = Muestreo de un lance.

$c_3 = 0.5$ min = Toma de una LF de un pez en cubierta.

En la tabla 5 se presentan los valores para los tamaños de muestra de las tres etapas (n , m_i y o_{ij} , respectivamente), para cada zona y tipo de lance. Se observa que para la tercera etapa se requiere una muestra más grande de peces en lances sobre objetos flotantes (aunque para este año solamente pudieron calcularse los tamaños de muestra en este ti-

po de lance para la zona 4). Esto puede deberse a que existe una gran variabilidad de tallas medidas en los únicos siete lances de este tipo que se analizaron durante 1997 o a que en la zona en donde se obtienen las muestras de LOF los peces son de tallas muy diversas. En cuanto a las zonas, las muestras más grandes de peces requeridas corresponden a donde el número de lances de algún tipo es escaso. Por ejemplo, en la zona 1, en donde se observan menos LD (en comparación con las zonas 2 y 4), el número de peces por lance tendrá que ser mayor. Esta misma tendencia se observa también en la etapa dos, donde se obtiene muestras de lances.

Con el tamaño de muestra óptimo de lances (m_i) y peces (o_{ij}) por viaje, fijos, es posible analizar cual es el tamaño de muestra óptimo para viajes en un año particular. En la tabla 5 se presentan algunos valores de tamaños de muestra requeridos por zona y tipo de lance pesquero. Durante 1997 la flota mexicana realizó 216 viajes, de los cuales 131 fueron cubiertos por observadores del PNAAPD. Esto indica que el error de estimación (EE), en cada caso, es de alrededor del 25 al 30%, de acuerdo con las muestras obtenidas durante 1997.

DISCUSIÓN

El muestreo probabilístico para obtener información de datos biométricos ha mostrado ser eficiente en la pesquerías donde se ha aplicado (Kulka y Waldron, 1984; Sen, 1984; Nandram *et al.*, 1997). Esta ha sido posible por combinar el mues-

Tabla 5. Diferentes combinaciones de tamaños de muestra para la primera, n (viajes de pesca), segunda, m_i (lances pesqueros) y tercera, o_{ij} (atunes aleta amarilla), etapas; de acuerdo con varios niveles de precisión fija, por zona y tipo de lance pesquero. LD = Lances sobre delfín; LC = Lances sobre cardúmenes libres; LOF = Lances sobre objetos flotantes.

| Tipo de Lance | Zona | T. de M. de peces (o_{ij}) | T. de M. de lances (m_i) | Número de viajes que se necesitan muestrear, para diferentes niveles de error de estimación. | | | | | | | | |
|---------------|------|--------------------------------|------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% | 40% | 45% | 50% |
| LD | 1 | 32 | 13 | 95 | 42 | 24 | 15 | 11 | 8 | 6 | 5 | 4 |
| | 2 | 19 | 29 | 69 | 31 | 17 | 11 | 8 | 6 | 4 | 3 | 3 |
| | 3 | 22 | 14 | 120 | 54 | 30 | 19 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| | 4 | 22 | 34 | 52 | 23 | 13 | 8 | 6 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| | 5 | 19 | 23 | 56 | 25 | 14 | 9 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| LC | 1 | 17 | 15 | 259 | 115 | 65 | 41 | 29 | 21 | 16 | 13 | 10 |
| | 2 | 26 | 14 | 63 | 28 | 16 | 10 | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| | 3 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| | 4 | 15 | 25 | 156 | 69 | 39 | 25 | 17 | 13 | 10 | 8 | 6 |
| | 5 | 46 | 12 | 18 | 8 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LOF | 1 | 10 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| | 2 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| | 3 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| | 4 | 86 | 2 | 15 | 47 | 26 | 17 | 12 | 9 | 7 | 5 | 4 |
| | 5 | 16 | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Total | | | | 993 | 442 | 249 | 158 | 111 | 82 | 63 | 50 | 40 |

treo estratificado con diseños en etapas. En este caso se definieron los estratos con respecto a las zonas de pesca marcadas por la CIAT (Anónimo, 1996) y los diferentes tipos de lances pesqueros. Los estratos se definieron suponiendo que cada grupo mostrará homogeneidad en comparación con la variabilidad registrada entre ellos. El supuesto fue válido para este caso, ya que los pesos de los peces muestran diferencias en cada zona y entre los diferentes tipos de lances. La diferencia en el peso se debe a la estratificación espacial de los atunes aletas amarillas en el Pacífico Oriental (Hall, *et al.*, 1999; Anónimo, 1993; Tomlinson, *et al.*, 1992).

La toma de las muestras de viajes (UP) se supone aleatoria. El esquema de asignación de UP se ajusta al que se utiliza para desplazar observadores científicos del PNAAPD en un viaje de pesca. Los observadores de este programa cubren aproximadamente el 50% (o más) de los viajes que realiza la flota atunera mexicana en un año. La asignación obedece a las necesidades propias de la actividad de la pesca (fecha de salida, puerto de embarque, etc.), por lo que no se establece con anterioridad. Además, el supuesto de aleatoriedad en UP tiene un mayor apoyo, si se toma en cuenta que un viaje de pesca por lo regular no tiene el derrotero bien definido, al menos por los involucrados en la toma de muestras.

En la toma de muestras de peces el supuesto de aleatoriedad es difícil de cumplir. A bordo del barco, los observadores tienen una serie de restricciones que deben seguir para su propia seguridad a bordo y para no interferir con las maniobras de la pesca. Una de ellas es la de que el observador deberá permanecer en el puente de mando cuando se estén realizando las maniobras de captura. Debido a esto, el observador solamente tiene acceso a las últimas maniobras de embarque ("salabardos") para la obtención de la muestra de peces. Esto puede afectar el comportamiento de la muestra y producir sesgos sistemáticos. Sin embargo, si se supone que los peces al entrar en contacto con la red muestran un comportamiento errático (aleatorio), el supuesto de aleatoriedad puede ser adecuado. Contrario a ello, algunos capitanes de barcos mencionan que los cardúmenes de peces al entrar en contacto con la red tienden a estratificarse en un sentido vertical (Hall, comentario personal); si esto es cierto, las muestras de unidades terciarias no presentarán la característica de aleatoriedad. Un experimento que consistió en comparar tallas de atunes aleta amarilla en diferentes momentos de la maniobra de pesca (en salabardos inicial, intermedios y final), mostró que no existían diferencias significativas en los valores de las tallas promedio de los peces ($P > 0.05$), por lo que las muestras de peces dentro de cada lance se consideran aleatorias (Solana-Sansores y Aldana-Flores, ms).

El uso del muestreo sistemático en la etapa 2 tiene las siguientes ventajas: 1) repartir a lo largo de todo el viaje los lances muestreados (m_i), y 2) asegurar que se obtenga el 33%

de los lances en la muestra, debido a que no se conoce de antemano su número en cada viaje. En este sentido se les da instrucciones a cada observador de coleccionar uno de cada tres lances realizados en el viaje de pesca. La selección del primer lance dentro del primer grupo de tres, se hace de manera aleatoria; a este tipo de muestreo se le conoce como muestreo sistemático con arranque aleatorio (Cochran, 1980). Lo anterior es aplicable en los casos de lances sobre delfín y lances sobre cardúmenes libres. Los lances sobre objetos flotantes son escasos en viajes de pesca realizados por los barcos mexicanos, por lo que se le indica al observador que tome una muestra de peces en cada lance sobre objeto flotantes (LOF) del viaje, sin importar la secuencia del muestreo sistemático. De esta forma, los LOF son censados dentro de cada viaje. Con esto se pretende asegurar la obtención de una muestra de peces en este tipo de lance, semejante en tamaño a la obtenida en los otros dos tipos.

Los resultados obtenidos al aplicar el diseño de muestreo propuesto fueron los esperados para la pesquería del atún en el Pacífico Oriental. En otros esquemas propuestos para el OPO (Tomlinson, *et al.*, 1992), y para otros océanos (Ariz, *et al.*, 1999; Hallier y Parajau, 1999; Hampton y Bailey, 1999), se ha observado que en lances sobre LOF se obtienen las menores tallas de AAA, mientras que en LD (para el OPO, exclusivamente) y LC se registran las mayores tallas y pesos. Sin embargo, el diseño de muestreo aquí propuesto tiene ventajas sobre otros esquemas, en relación a poder obtener muestras de LF de peces descartados, lo que, por ejemplo, en muestreos en desembarco es imposible. Asimismo, la posibilidad de comparar las estructuras de tallas capturadas por diferentes criterios, como por ejemplo por tipo de lance, hora de pesca, presencia de algún tipo de manada, por zonas, etc; así como también, presenta la ventaja de ampliar la zona cubierta por el muestreo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la participación entusiasta de todos los observadores científicos del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines, PNAAPD. Nuestro agradecimiento a Pat Tomlinson, Beatriz Morales-Nin, Carlos de Alba, Amado Villaseñor y a tres revisores anónimos, por sus comentarios y sugerencias a este trabajo. El financiamiento estuvo a cargo de FIDEMAR. El primer autor, además contó con un financiamiento parcial por parte del CONACYT, a través del proyecto 3192B-P.

LITERATURA CITADA

ANÓNIMO, 1993. *Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical*, 1992. Comisión Interamericana del Atún Tropical. 315 p.

- ANÓNIMO, 1997. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, 1996. Comisión Interamericana del Atún Tropical. 306 p.
- ARIZ, J., A. DELGADO, A. FONTENEAU, F. GONZÁLEZ-COSTAS and P. PALLARÉS, 1999. Logs and tunas in the eastern tropical Atlantic: A review of present knowledge's and uncertainties. En: M. D. SCOTT, W. H. BAYLIFF, C. E. LENNERT-CODY and K. M. SCHAEFER (Comps.). *Proc. Internat. Work. Ecol. Fish. Tunas Assoc. Floating Objects*. 21-65.
- BAIRD, J. W. and S. C. STEVENSON, 1984. Levels of Precision-Sea versus Shore Sampling En: W. G. DOUBLEDAY and D. RIVARD (Comps.). *Sampling commercial catches of marine fish and invertebrates*. 185-188.
- COCHRAN, W. W., 1980. *Técnicas de Muestreo*. CECSA, México.
- COMPEÁN-JIMÉNEZ, G., 1993. Aprovechamiento del atún y protección del delfín. En: S. I. SALAZAR-VALLEJO and N. E. GONZÁLEZ (Comps.). *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO-CIQRO, México. 129-138.
- COMPEÁN-JIMÉNEZ, G. and M. DREYFUS, 1996. Interaction between vessels fishing for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern and southeastern Pacific. En: R. S. SHOMURA, J. MAJKOWSKY y R. F. HAMAN (Comps.) *Status of interactions of Pacific Tuna Fisheries in 1995*. FAO 365. Shimizu, Japan. 339-349.
- DAGORN, L. and P. FREÓN, 1999. Tropical tuna associated with floating objects: a simulation study of the meeting point hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:984-993.
- FOURNIER, D. A., 1983. Use of length and age data for estimating the age structure of a collection of fish. En: W. G. DOUBLEDAY and D. RIVARD (Comps.). *Sampling commercial catches of marine fish and invertebrates*. 206 - 208.
- GOODMAN, L. A., 1965. On simulations confidence intervals for multinomial populations. *Technometrics* 17: 247-255.
- HALL, M. A., M. GARCÍA, C. LENNERT-CODY, P. ARENAS y F. MILLER, 1999. The association of tunas with floating objects and dolphins in the eastern Pacific Ocean: A review of the current purse-seine fishery. En: M. D. SCOTT, W. H. BAYLIFF, C. LENNERT-CODY and K. M. SCHAEFER (Comps.). *Proc. Internat. Work. Ecol. Fish. Tunas Assoc. Floating Objects*. 87-194.
- HALL, M. A., 1996. On bycatches. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6: 319-352.
- HALLIER, J. P. and J. I. PARAJAU, 1999. Review of tuna fisheries on floating objects in the Indian Ocean. En: M. D. SCOTT, W. H. BAYLIFF, C. E. LENNERT-CODY and K. M. SCHAEFER (Comps.) *Proc. Internat. Work. Ecol. Fish. Tunas Assoc. Floating Objects*. 195- 221.
- HAMPTON, J. and K. BAILEY, 1999. Fishing for tunas associated with floating objects: review of the western Pacific Fishery. En: M. D. SCOTT, W. H. BAYLIFF, C. E. LENNERT-CODY and K. M. SCHAEFER (Comps.) *Proc. Internat. Work. Ecol. Fish. Tunas Assoc. Floating Objects*. 222-284.
- JOSEPH, J., 1994. The tuna-dolphin controversy in the eastern Pacific Ocean: Biological, economic, and political impacts. *Ocean. Develop. Internat. Law*. 25: 1-30.
- KULKA, D. W. and D. WALDRON, 1983. The Atlantic observer programs - A discussion of sampling from commercial catches at sea. En: W. G. DOUBLEDAY and D. RIVARD (Comps.). *Sampling Commercial Catches of marine fish and invertebrates*. 255-262.
- NANDRAM, B., L. SEDRANSK and S. J. SMITH, 1997. Order-restricted bayesian estimation of the age composition of a population of Atlantic cod. *J. Amer. Stat. Assoc* 92: 33-40.
- PUNSLEY, R. G., P. K. TOMLINSON and A. J. MULLEN, 1994. Potential tuna catches in the eastern Pacific Ocean from schools not associated with dolphins. *Fisheries Bulletin* 92: 132-143.
- RAJ, D., 1980. *Teoría del Muestreo*. Fondo de Cultura Económica, México. 305 p.
- SEBER, G. A. F., 1985. *The estimation of animal abundance (and relative parameters)*. Ch. Griffin and Co, USA. 638 p.
- SEN, A. R., 1984. Methodological problems in sampling commercial rockfish landings. *Fisheries Bulletin* 84: 408-421.
- SMITH, S. J. and S. GAVARIS, 1993. Improving the precision of abundance estimates of Eastern Scotian Shelf Atlantic Cod from bottom trawl surveys. *North. Amer. J. Fish. Manag.* 13: 35-47.
- SOLANA-SANSORES, R. and F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, 1991. Diseño de muestreo probabilístico para la pesquería artesanal del mero (*Epinephelus morio*) del estado de Yucatan, México. *Ciencias Marinas* 17: 51-72.
- SOLANA-SANSORES, R., 1999. El mar inicia en las montañas: La pesca del atún sobre objetos flotantes. *Avance y Perspectiva, CINVESTAV del IPN*. 18: 11-19.
- SCHWEIGERT, J. F. and J. R. SIBERT, 1983. Optimizing survey design for determining age structure of fish stocks: an example from British Columbia Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*). *Can. Journal Fisheries Aquatic Science* 40: 588-597.
- TOMLINSON, P. K., S. TSUJI, and T. P. CALKINS, 1992. Estimación de las frecuencias de talla de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) capturado por artes comerciales en el Océano Pacífico Oriental. *Bol. Com. Interam. Atún Tropical* 20(6): 359-398.
- WILD, A., 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. *Bol. Com. Interam. Atún Tropical* 18: 423-482.
- ZWANENBURG, K. C. T. and S. J. SMITH, 1983. Comparison of fin-fish length-frequency distribution estimated from samples taken at sea and in port. En: W. G. DOUBLEDAY and D. RIVARD (Comps.). *Sampling Commercial Catches of marine fish and invertebrates*. 189-193.

Recibido: 23 de octubre de 2000.

Aceptado: 6 de abril de 2001.