

03043

3  
Zey

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**UNIDAD ACADEMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y DE POSGRADO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMATICAS APLICADAS Y SISTEMAS**  
**PROYECTO ACADEMICO: ESPECIALIZACION EN ESTADISTICA APLICADA**

**ESTIMACIONES ANUALES DE MORTALIDAD POR ESPECIES DE DELFINES**  
**ASOCIADOS A LA PESCA DEL ATUN EN EL PERIODO 1992-1994.**

**TESINA:**  
**QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIZACION**  
**EN ESTADISTICA APLICADA**  
**PRESENTA:**  
**IGNACIO MENDEZ GOMEZ-HUMARAN**

**DIRECTOR DE TESINA:**  
**IGNACIO MENDEZ RAMIREZ**

**Agosto de 1995**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

A Daniela y Paulina con amor, por ser la luz que llena mi vida de alegría y entusiasmo para continuar mis esfuerzos por mejorar día a día.

A Ileana con todo mi amor, por su comprensión y su voz de aliento para impulsar mi desarrollo profesional.

A mi padre por ser el ejemplo de una vida académica y ética impecable, además de la formación que me brindó para encontrar el camino a una vida profesional digna.

A mi madre que me ha dado la vida, gracias por su preocupación constante en mi bienestar y el de mi familia, y por los consejos básicos para mi formación como ser humano.

A mis hermanas, todos mis familiares y amigos les doy las gracias, por que de una u otra forma están en mi vida y representan una fuente inagotable de experiencias enriquecedoras.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Guillermo Compeán Jiménez y al "Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de los Delfines" (PNAAPD), por el apoyo y orientación, además de brindarme la oportunidad de desarrollo profesional con excelentes condiciones de trabajo y la oportunidad de ser útil para mi país.

A mi jurado calificador, formado por el M. en C. Rafael Madrid, la Dra. Guillermina Eslava, el M. en C. Raúl Rueda, el M. en C. Martín Romero y al Dr. Ignacio Méndez, por sus excelentes recomendaciones y asesoramiento siempre desinteresado.

A todas aquellas personas que forman parte del proyecto académico "Especialización en Estadística Aplicada" por brindarme el acceso a la "cultura estadística" que es fundamental para la investigación científica.

## INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
MATERIALES Y METODOS	3
1. Métodos de estimación del total de mortalidad	
1.1 Estimador simple	
1.2 Estimador de razón	5
1.3 Estimador simple estratificado por el tamaño de barco	6
1.4 Estimador de razón estratificado	7
1.5 Importancia del sesgo	8
1.6 Estimadores por medio de percentiles "Bootstrap"	
2. Estimaciones anuales de mortalidad por especies	9
3. Estimación con información preliminar	10
3.1 Tamaño de muestra óptimo	
3.2 Análisis del error de estimación	11
RESULTADOS Y DISCUSION	12
4. Estimaciones anuales de la mortalidad	
4.1 Total de delfines muertos	
4.2 Delfín manchado ( <i>Stenella attenuata</i> )	
4.3 Delfín tornillo ( <i>S. longirostris</i> )	
4.4 Delfín común ( <i>Delphinus delphis</i> )	13
4.5 Especies poco comunes	
4.6 Los estimadores y sus características	
4.7 Fuentes de error	15
5. Tamaño de muestra en estimaciones anuales preliminares	16
CONCLUSIONES	17
LITERATURA CITADA	18

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución anual del número de delfines muertos por lance, observados en la flota atunera mexicana en el periodo 92-94 según la muestra del PNAAPD.

Figura 2: Simulación Montecarlo de los errores estándar obtenidos por los métodos de estimación clásicos en relación al tamaño de muestra.

Figura 3: Comparación de los errores estándar obtenidos para la estimación simple y los distintos errores de estimación obtenidos por el método "bootstrap" para distintos tamaños de muestra.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Intervalos de confianza obtenidos para la estimación anual del total de delfines muertos. Se incluyen los valores reales de mortalidad anual reportados por los observadores científicos, que cubren el 100% de los viajes de pesca realizados por la flota mexicana en el periodo 92-94.

Tablas 2 y 3: Intervalos de confianza para la mortalidad total anual del delfín manchado (*Stenella attenuata*), para el "stock" de altamar y el "stock" costero respectivamente.

Tablas 4 y 5: Intervalos de confianza para la mortalidad total anual del delfín tornillo (*Longirostris*), para el "stock" oriental y el "stock" panza blanca respectivamente.

Tablas 6 y 7: Intervalos de confianza para la mortalidad total anual del delfín común (*Delphinus delphis*) y para el delfín listado (*S. coeruleoalba*).

Tablas 8 y 9: Intervalos de confianza para la mortalidad total anual del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y para el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*).

## RESUMEN

Debido a la problemática actual en relación con la mortalidad de las diferentes especies de delfines que son capturadas incidentalmente por la flota cerquera mexicana, es de vital importancia tener estimaciones veraces de la mortalidad total de cada especie para el periodo 92-94. Se presentan cinco esquemas básicos para la estimación de la mortalidad anual: a) estimación simple utilizando la mortalidad por lance; b) estimación por medio de la razón de mortalidad por tonelada de atún capturado; c) estimación simple con estratificación por el tamaño de barco; d) estimación de razón dentro de estratos; y e) estimaciones por "bootstrap" con distintos tamaños de muestra. Se compararon las estimaciones obtenidas por estos métodos para la mortalidad total de delfines y para la mortalidad por especies y por razas (stocks) en algunos casos. Los resultados principales se comentan brevemente. Se observa una tendencia de disminución substancial en la mortalidad anual para el periodo prácticamente en todas las estimaciones. Los estimadores simples y de razón, así como los estimadores estratificados presentan intervalos de confianza muy similares; además, conforme disminuye la mortalidad incidental, las diferencias entre los estimadores se hacen mínimas. En estos estimadores existe una subestimación ligera debida a valores extremos que afectan ligeramente la validez de la aproximación normal. Por otro lado, se analizan los errores de estimación por todos los métodos y su relación con los tamaños de muestra. El método bootstrap es más robusto cuando se presentan valores muy extremos que influyen en las distribuciones de probabilidad de los estimadores. Además, el método bootstrap es útil para analizar el error cuadrático medio y tamaños de muestra adecuados para obtener buenas estimaciones preliminares.

## INTRODUCCION

Por más de 30 años los barcos cerqueros que pescan en el océano Pacífico oriental, han aprovechado la asociación que existe entre cardúmenes de atún, principalmente atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), y algunas especies de delfines como el delfín manchado (*Stenella attenuata*), el delfín tornillo (*S. longirostris*) y delfín común (*Delphinus delphis*) entre otros. Durante las operaciones de pesca, algunos delfines mueren incidentalmente. Probablemente los efectos de la mortalidad incidental sean suficientes para alterar la abundancia de "stocks"<sup>1</sup> principalmente de esas tres especies (Anganuzzi y Buckland, 1989).

Con el fin de monitorear entre otras cosas la mortalidad incidental de delfines, desde 1979 la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), ha colocado observadores científicos, en barcos de la flota internacional que opera en el océano Pacífico oriental; de manera similar, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos (National Marine Fisheries Service, NMFS) coloca observadores en barcos de la flota de Estados Unidos (Hall y Boyer, 1992).

Por su parte, en México se implementó en 1991 el Programa Nacional para el Aprovechamiento del Atún y la Protección de los Delfines (PNAAPD), en el cual se estableció un subprograma de observadores científicos (Compeán, 1993), cubriendo en conjunto con la CIAT el 100% de los viajes nacionales desde finales de 1991. También se lleva un registro del número total de delfines por barco, por lo que se cuenta con un registro de mortalidad total de la flota mexicana sin que se determinen las especies.

En estudios recientes, se ha observado que existe una disminución significativa en la mortalidad incidental de los delfines. Esto es resultado de modificaciones tecnológicas, principalmente en las características de la red y en las operaciones de pesca, mejoras que permiten la liberación de los delfines encerrados en el cerco.

---

<sup>1</sup> Término comúnmente utilizado en pesquerías, que se refiere a la subdivisión de una población biológica que es vulnerable a una pesquería, este término no siempre es compatible con el término de subpoblación biológica (Argue *et al.*, 1986).



En este trabajo se pretende obtener una metodología eficiente en la estimación del total de mortalidad anual, para cada una de las diferentes especies de delfines presentes en la pesca que realiza la flota mexicana, basados en el muestreo del 50% de los viajes de pesca. Por otro lado, se busca determinar un tamaño de muestra óptimo que permita realizar predicciones o estimaciones preliminares de la mortalidad total anual durante el año correspondiente, cuando la información de la muestra aún esta incompleta.

## MATERIALES Y METODOS

### 1. METODOS DE ESTIMACION DEL TOTAL DE MORTALIDAD.

Con el fin de estimar el total de delfines muertos anualmente por especies, durante las operaciones de la flota mexicana, se utilizó la información registrada por medio del subprograma de observadores del PNAAPD. Durante 1992 se cubrieron dos de cada tres viajes en forma sistemática, representando el 63% (Hall y Lennert ,1993). En 1993 y 1994 fue uno de cada dos, que es una muestra del 50%.

Se utilizó la información del número de delfines muertos por especie y en total por lance, tomando como unidad muestral, cada lance sobre delfines registrados con delfines encerrados. Se incluyó la información de la captura de atún para todos los lances en muestra.

Inicialmente, se estimó el número total de delfines muertos en base a la muestra del PNAAPD, con el fin de comparar las técnicas utilizadas en relación a la mortalidad total reportada por los observadores de la CIAT y el PNAAPD.

#### 1.1 Estimador simple.

En base a los datos de la muestra, se calcula la mortalidad promedio por lance  $\bar{y}$ . Un estimador insesgado de la mortalidad total anual de delfines (Des Raj, 1968, p50; Cochran, 1977, p46) es

$$\hat{Y} = N \cdot \bar{y} \quad \dots (1),$$

donde  $N$  representa el total de lances realizados, en este caso  $N$  en cada año se obtuvo a partir de la fracción de viajes que pertenecen al PNAAPD. Suponiendo que la proporción de viajes es similar a la de lances muestreados, la fracción muestral  $f = n/N$  utilizada entonces fue 0.63, 0.5 y 0.5 respectivamente.

El estimador de la varianza del estimador del total de mortalidad anual, que es insesgado, se define como

$$\hat{V}(\hat{Y}) = N^2 \cdot (1-f) \cdot \hat{S}^2/n \quad \dots(2).$$

El teorema central del límite (Des Raj, 1968, 32p; De Groot, 1975, 261p) establece que

$$\text{Si } n \rightarrow \infty \text{ entonces } \hat{\theta} \sim N(\theta, V(\theta)) \quad \dots(3),$$

esto es que en base a una muestra de tamaño  $n$ , el parámetro  $\theta$  es estimado por  $\hat{\theta}$  y su distribución probabilística se aproxima a la distribución normal cuando se tienen muestras grandes, sin importar la forma de la distribución de la variable aleatoria observada, siendo requisito indispensable el que la varianza sea finita. De acuerdo con la teoría clásica, es posible obtener intervalos de confianza al  $(1-\alpha) \cdot 100\%$  para los estimadores de la mortalidad total anual dados por

$$\hat{Y} \pm Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\hat{V}(\hat{Y})} \quad \dots(4),$$

donde  $Z_{1-\alpha/2}$  representa el percentil  $1-\alpha/2$  de la distribución normal, que garantiza el nivel de confiabilidad deseado.

Otra forma de estimación útil, es por medio de la desigualdad de Tchebyshev (Des Raj, 1986, p28), que permite interpretar a la varianza como una medida del grado de concentración en torno a un valor esperado, de tal manera que

$$\Pr \left[ \left| \hat{\theta} - \theta \right| \geq k \sqrt{V(\hat{\theta})} \right] \leq 1/k^2 \quad \dots(5),$$

esto es que hay una probabilidad de cuando más  $1/k^2$  de que el estimador  $\hat{\theta}$  difiera del valor real  $\theta$ , en más de  $k$  veces su error estándar. Considerando a esta probabilidad como el nivel de significancia ( $\alpha$ ), tenemos que  $k$  se obtiene del nivel de confianza

$$1 - \alpha = 1 - \frac{1}{k^2} \therefore k = \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \quad \dots (6)$$

Utilizando esta información, también se pueden establecer intervalos de confianza para estimar el total de mortalidad anual; este se obtiene substituyendo  $Z_{1-\alpha/2}$  por  $k$  en la ecuación 4. Es importante mencionar que esta desigualdad no supone una distribución de probabilidad teórica específica para los estimadores.

### 1.2 Estimador de razón.

Otra forma de estimación del total de mortalidad, es utilizando información adicional como es la cantidad de atún capturado (Hammond, 1984; Hall y Lennert, 1983). Un estimador sesgado pero consistente de la razón de mortalidad de delfines por tonelada de atún capturado, se define por

$$\hat{R} = \frac{\sum y_i}{\sum x_i} \quad \dots (7)$$

donde  $y_i$  es el número de delfines muertos y  $x_i$  es la captura de atún en el  $i$ -ésimo lance.

Cuando se tienen muestras grandes, y en base al teorema de límite central, la distribución del estimador tiende a la normalidad y el sesgo tiende a ser despreciable. De acuerdo con Des Raj (1968, p101) y Cochran (1977, p209), una forma de acotar el sesgo en esta estimación, es en base a la siguiente condición

$$|B(\hat{R})|/\sigma(\hat{R}) \leq CV(\hat{x}) \leq 0.1 \quad \dots (8)$$

donde  $|B(\hat{R})|/\sigma(\hat{R})$  representa el sesgo estandarizado, que no puede ser mayor al coeficiente de variación de la captura por lance en pesca sobre delfines,  $CV(\hat{x})$ ; de manera que si este coeficiente de variación es menor al 10%, el sesgo es despreciable.

El estimador correspondiente para el total de mortalidad de delfines con este método es entonces

$$Y_R = \hat{R} \cdot X \quad \dots(9),$$

donde X representa el total de toneladas de atún capturado en lances sobre delfines para el año en cuestión, que comúnmente se desconoce. Una buena aproximación es por medio de la estimación simple del total de atún capturado en lances sobre delfines.

Cuando el sesgo del estimador de la razón se considera despreciable, el estimador de la varianza (error cuadrático) del total de mortalidad obtenido por este método es entonces

$$\hat{V}(\hat{Y}_R) = \frac{N^2 \cdot (1-f)}{n \cdot (n-1)} \cdot \left[ \sum y_i^2 - 2\hat{R} \sum y_i \cdot x_i + \hat{R}^2 \sum x_i^2 \right] \quad \dots(10).$$

Una vez obtenidos los estimadores, es posible construir el intervalo de confianza para el total de mortalidad anual substituyendo los estimadores correspondientes a este esquema muestral en la ecuación 4.

### 1.3 Estimador simple estratificado por el tamaño del barco.

El tamaño de la embarcación posiblemente provoca una mayor heterogeneidad en la mortalidad de delfines por lance, debido a que los barcos grandes tienden a alejarse más de la costa donde predomina la pesca sobre delfines, además del posible efecto por la distribución espacial de las especies. Esto nos llevó a plantear la existencia de dos estratos: 1) barcos con 750 toneladas métricas o menos de capacidad de acarreo, y 2) barcos con más de 750 tons.

Un estimador estratificado simple del total de delfines muertos anualmente es entonces

$$\hat{Y}_u = \sum_h N_h \cdot \bar{y}_h \quad \dots(11),$$

donde  $N_h$  es el total de lances estimado,  $\bar{y}_h$  es el promedio de delfines muertos para cada estrato  $h$ -ésimo y  $L$  representa el número de estratos.

El estimador de la varianza del total estimado es simplemente la suma de las varianzas de los estimadores dentro de cada estrato

$$\hat{V}(\hat{Y}_t) = \sum_h^L N_h^2 \cdot (1 - f_h) \cdot \frac{\hat{S}_h^2}{n_h} \quad \dots (12).$$

Una vez obtenidos los estimadores, se construyen los intervalos de confianza correspondientes a este esquema muestral.

#### 1.4 Estimador de razón estratificado.

En esta estimación, se combina la razón de mortalidad de delfines por tonelada de atún capturado y la estratificación por tamaño del barco propuesta anteriormente. Para esto, se necesitan para cada estrato los estimadores del promedio de mortalidad por lance, el promedio de la captura de atún por lance, las correspondientes varianzas y covarianzas, así como los estimadores de la razón de mortalidad por tonelada de atún capturado.

Se utilizó el método de estimación separada (Des Raj, 1968, p119; Cochran, 1977, p212). En este caso, también existe sesgo en los estimadores de la razón en cada estrato. Cuando se tienen tamaños de muestra grandes, el número de estratos es reducido y se cumple la condición

$$|B(\hat{Y}_{str})| / \sigma(\hat{Y}_{str}) \leq \sqrt{L} \cdot CV(\hat{x}_h) \leq 0.3 \quad \dots (13),$$

el sesgo se considera despreciable. Todo esto bajo el supuesto de que el sesgo es igual en ambos estratos.

El estimador resultante del total de mortalidad anual, es la suma de los totales estimados de cada estrato utilizando la estimación de razón por estrato. De la misma forma, el estimador de la varianza del estimador (error cuadrático medio) es la suma de

las varianzas de los estimadores del total de ambos estratos. Finalmente, los intervalos de confianza se obtienen realizando las sustituciones pertinentes a la ecuación 4.

### **1.5 Importancia del sesgo.**

La distribución del número de delfines muertos por lance es muy asimétrica, esto se explica por el hecho de que los lances con cero mortalidad ocupan más del 66%; mientras que lances con más de 10 delfines muertos supera el 3% en 1992, disminuyendo a menos del 1% para 1994 (figura 1).

Cuando se trabaja con distribuciones muy asimétricas, la construcción de límites de confianza basados en el teorema central del límite, aún con muestras grandes pueden tener inconsistencias en los niveles de confiabilidad, que se manifiesta en variaciones del error en cada extremo del intervalo según la dirección del sesgo (Cochran, 1977).

Existen otros métodos de estimación que pueden ser útiles cuando el sesgo es importante y produce efectos no deseados, o cuando se presentan valores extremos que influyen de manera importante en los estimadores; algunos ejemplos son la media podada, la media de Winsor y otros estimadores robustos como los M-estimadores (Huber, 1981).

### **1.6 Estimadores por medio de percentiles "Bootstrap".**

Otras técnicas de estimación útiles, son los métodos de remuestreo como el "bootstrap" (Efron, 1982; Efron y Tibshirani, 1991; Hall, 1992).

Con este método, se generaron distribuciones empíricas de los estimadores simples del total de mortalidad anual, así como del error estándar del estimador. Para lograr esto, se tomaron secuencias de  $m = 1000$  muestras con reemplazo, con tamaños de muestra,  $n$ , fijos en 100, 500 y 1000 para cada secuencia. De cada distribución empírica, se obtuvieron las medianas y los percentiles 0.025 y 0.975, con los que se establecen intervalos no paramétricos con el 95% de confianza.

Por otro lado, se realizó la evaluación Montecarlo de la varianza del estimador del total de mortalidad, que es la varianza empírica del estimador (Efron, 1982, p28)

$$E(V) = \frac{\sum_j \left[ \hat{Y}_{nj} - \left( \frac{\sum_j \hat{Y}_{nj}}{m} \right) \right]^2}{m} \quad \dots(14),$$

donde  $\hat{Y}_{nj}$  representa el total estimado en cada j-ésima muestra de tamaño fijo n.

También se obtuvieron estimaciones empíricas del error cuadrático medio, que representa la suma de la varianza más el sesgo al cuadrado, este se define por

$$ECM = \frac{\sum_j (\hat{Y}_{nj} - \hat{Y})^2}{m} \quad \dots(15),$$

donde  $\hat{Y}$  representa el total estimado con toda la muestra original. Cuando el sesgo es nulo, el error cuadrático medio es igual al estimador de la varianza.

Es importante señalar que en este trabajo, las varianzas de los estimadores clásicos se utilizaron sin corrección por finitud en el análisis, ya que en el "bootstrap" implícitamente se supone una población infinita. Además, se estimaron las varianzas de los estimadores con tamaños de muestra fijos, n=1000. Todo esto con el fin de hacer comparables los estimadores de intervalo y los errores de estimación obtenidos por los diferentes métodos. Sin embargo, para realizar predicciones más precisas, es necesario incluir toda la muestra, así como la corrección por finitud correspondiente.

## 2. ESTIMACIONES ANUALES DEL TOTAL DE MORTALIDAD POR ESPECIES.

La mortalidad anual para las diferentes especies de delfines y "stocks" en algunos casos, se realizó siguiendo las técnicas de estimación descritas anteriormente para la mortalidad total. Se compararon las estimaciones obtenidas por los diversos métodos descritos, buscando la estimación que represente una mayor precisión para cada caso.

Con respecto a los estimadores estratificados, se utilizaron modelos de análisis de varianza para comparar las estimaciones de mortalidad promedio por efecto de las diferencias en el tamaño del barco. Posiblemente estos modelos permitan identificar las especies o "stocks" para las cuales la estratificación y/o el uso de información adicional en la estimación conduce a una mayor precisión.

### 3. ESTIMACION CON INFORMACION PRELIMINAR.

#### 3.1 Tamaño de muestra óptimo.

Para realizar el cálculo del tamaño de muestra óptimo, para estimadores clásicos basados en la teoría del muestreo, es necesario contar con información previa de la población sobre la cual se quieren hacer inferencias. Específicamente se necesita conocer la varianza de la mortalidad de delfines por lance. En los estimadores de razón se requiere además, la varianza de la captura de atún por lance, la covarianza y un estimador de la razón de delfines muertos por tonelada de atún capturado. De igual forma, en los estimadores estratificados, se requiere esta información por estrato en cada caso. La información puede obtenerse de la muestra parcial obtenida o del año anterior a la estimación si se tienen niveles de mortalidad por lance similares.

Por otro lado, es necesario fijar el nivel de significancia deseado,  $\alpha$ , que representa la probabilidad de que el parámetro real,  $\theta$  (que en este caso es el total de mortalidad anual de delfines), difiera en  $\delta_0$  o más de su estimador  $\hat{\theta}$ , a  $\delta_0$  se le llama nivel de precisión y es el grado de cercanía del estimador al parámetro. El nivel de significancia se obtiene bajo la distribución de probabilidad del estimador, que para muestras grandes, es normal de acuerdo con el teorema central del límite (Des Raj, 1968). Asimismo, se requiere fijar un valor arbitrario del nivel de precisión, este valor se relaciona con la varianza y el nivel de significancia; y determina la amplitud del intervalo de estimación. Así la precisión del estimador del total de mortalidad se define por

$$\delta_0 = Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\hat{V}(\hat{Y})} \quad \dots (16)$$



Como  $\hat{V}(\hat{\tau})$  depende de  $n$ , substituyendo los elementos correspondientes a las varianzas de los estimadores para cada método, es posible obtener el valor de  $n$ , que representa el tamaño de la muestra (para un número infinito de lances). En el caso de los estimadores estratificados, se calculó el tamaño de muestra utilizando el esquema de asignación proporcional. Sin embargo, se requiere un buen estimador del total de lances,  $N$ , que se realizarán en el año, para esto es necesario establecer un factor de expansión adecuado.

En todos los tamaños de muestra óptimos para los estimadores clásicos descritos anteriormente, es pertinente aplicar la corrección para poblaciones finitas, que nos permite obtener el tamaño de muestra más adecuado, dado que el número total de lances que se realizan al año llega a ser un número finito.

### **3.2 Análisis del error de estimación.**

Una forma práctica para seleccionar un tamaño de muestra aceptable, es en base al error de estimación y su relación con diferentes tamaños de muestra. Con esta finalidad, se realizaron gráficas iterativas de simulación Montecarlo, en las cuales se presentan los errores de estimación de cada método utilizado para diferentes tamaños de muestra, esto se realizó considerando el valor fijo de la varianza con toda la muestra.

En el caso de los estimadores obtenidos por el método de percentiles "Bootstrap", se comparan el estimador Montecarlo de la varianza y el error cuadrático medio empírico, obtenidos para cada secuencia de remuestreos con toda la muestra de cada año. Esto nos permite tener una aproximación al sesgo en las distribuciones de probabilidad empíricas de los estimadores y su relación con el tamaño de la muestra. Es importante resaltar que se requieren muestras de mayor tamaño cuando las distribuciones de probabilidad son extremadamente asimétricas o no normales (Manly, 1992).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 4 ESTIMACIONES ANUALES DE MORTALIDAD.

#### 4.1 Total de delfines muertos.

En la tabla 1 se presentan los intervalos de confianza de los diferentes estimadores del total de mortalidad. Se incluyen los obtenidos en base al teorema central del límite y la desigualdad de Tchebyshev, así como los obtenidos por "bootstrap". La mortalidad muestra una disminución significativa en 1993 y 1994 con respecto a 1992, esto se deduce del no traslape observado en todos los intervalos obtenidos.

#### 4.2 Delfin manchado *S. attenuata*.

El "stock" de altamar de esta especie es el componente principal de la mortalidad incidental de delfines, en la tabla 2 se observa un patrón de mortalidad similar al total de delfines muertos anualmente con una disminución significativa de 92 a 93 y no significativo de 93 a 94. De acuerdo a algunos autores, existen dos stocks de manchado de altamar, pero es importante mencionar que se presentan movimientos en las distribuciones de estos, por lo que es más práctico manejarlos como un solo "stock". Al parecer, la abundancia de este "stock" ha sido relativamente estable en el periodo 86-91 (Buckland, Cattanaach y Anganuzzi, 1992).

Por otro lado, el "stock" costero es poco común y no muestra diferencias significativas en la mortalidad entre los tres años (tabla 3), con un ligero incremento en 93.

#### 4.3 Delfin tornillo *S. longirostris*.

El "stock" oriental (tabla 4), que es el segundo componente de importancia, muestra una disminución muy marcada entre 92 y 93 y un incremento aunque no significativo para 94. Para este "stock", se ha observado una abundancia relativamente estable en

la década de los 80's, aún con la posible reducción de las poblaciones en décadas anteriores (Wade y Gerrodette, 1992).

En cuanto al "stock" panza blanca (tabla 5), que también es un componente importante de la mortalidad total aunque en menor proporción, muestra un comportamiento de disminución similar al observado en la mortalidad total; además, este "stock" ha permanecido relativamente constante en años anteriores (*op cit*).

#### 4.4 Delfin común *Delphinus delphis*.

Esta especie es la tercera en importancia (tabla 6), con una mortalidad en clara disminución llegando a niveles muy bajos para 1994. Esta especie ha mostrado las mayores abundancias, principalmente el "stock" del sur (Wade y Gerrodette, 1992). Sin embargo, el "stock" del norte muestra una disminución en la abundancia, que posiblemente se debe a cambios en la distribución espacial (Fiedler y Reilly, 1994) y/o a cambios en los patrones de pesca. Con respecto al "stock" central, no se observan tendencias claras en la abundancia (Buckland, Cattanach y Anganuzzi, 1992).

#### 4.5 Especies poco comunes.

El delfin listado (*S. coeruleoalba*, tabla 7), se observa en niveles muy bajos sin patrón definido. Por otro lado, el delfin nariz de botella (*Tursiops truncatus*, tabla 8), aunque muy poco frecuente, presenta una tendencia a la disminución con diferencia significativa únicamente entre 92 y 94. El delfin de dientes rugosos (*Steno bredanensis*, tabla 9), se presentó en muy contadas ocasiones desapareciendo en 94, y el delfin de Risso (*Grampus griseus*) fue un caso extraordinario apareciendo una sola vez 1992.

#### 4.6 Los estimadores y sus características.

Se considera que las estimaciones clásicas basadas en el teorema central del límite, son válidas, pues se establece que la distribución de los "estimadores" tiende a la

distribución normal aún cuando la distribución de la variable en estudio presente asimetría; sin embargo la dimensión de esta, puede llevar a ligeras fallas en la posición y confiabilidad de los límites del intervalo (Cochran, 1977).

Por otro lado, es importante destacar que intervalos basados en la desigualdad de Tchebyshev son claramente más amplios que los observados cuando se utiliza el teorema central del límite. El uso de esta desigualdad se considera excesivo cuando el tamaño de la muestra es muy grande y solo se busca la tendencia central para el total de mortalidad (Méndez, 1995).

Todas las estimaciones clásicas son muy similares, observándose pequeñas diferencias en la precisión. Los estimadores estratificados no representan una ventaja clara en las estimaciones del total de delfines muertos. Los estimadores de razón presentan una precisión ligeramente mayor a los estimadores simples principalmente en 1993. Todas estas estimaciones, al parecer presentan **eficiencias** similares, pues registran valores muy parecidos en los errores de estimación.

Con respecto a los intervalos obtenidos por "bootstrap", las diferencias en las estimaciones obtenidas se deben obviamente a los diferentes tamaños de muestra utilizados, que como es de esperar, los intervalos obtenidos de remuestreos con  $n=1000$  son más precisos. Lo interesante en estos métodos, es que se basan en una estimación máximo verosímil de la distribución empírica del estimador, por lo que no se tiene suposición alguna sobre el sesgo, y permite evaluar el error cuadrático medio de la estimación y sus componentes (la varianza y el sesgo) (Efron, 1982).

Todos los métodos de estimación basados en el teorema central del límite o en la desigualdad de Tchebyshev, llevan a una representación simétrica con respecto a una estimación puntual común, mientras que los estimadores bootstrap son una representación de una distribución empírica de estimadores con tamaño de muestra fijo. Por otro lado, los estimadores de bootstrap son más **robustos** a valores aberrantes y/o influyentes, que pueden ser componentes determinantes en la dimensión de la asimetría y su efecto resultante en la confiabilidad de estimaciones basadas en el

teorema central del límite. Esto explica el hecho de que los estimadores por "bootstrap" presentan límites ligeramente más altos que los obtenidos en base al teorema central del límite.

Efron (1982, 35p) refiriéndose a los estimadores de bootstrap, dice "*La convergencia asintótica es más rápida que en los estándares observados para el teorema central del límite*", esto puede repercutir en una mayor **consistencia** en las estimaciones.

#### **4.7 Fuentes de error.**

Uno de los factores más importantes es la presencia de datos aberrantes, que ocurren como accidentes en algunos lances, estos dependen de la experiencia de los técnicos pesqueros, de las condiciones ambientales y de las especies de delfines encerradas en el cerco. Un lance con mortalidad muy elevada ocurre con una probabilidad muy baja, pero puede tener un efecto importante en las estimaciones y sus diferencias con la mortalidad anual real. En periodos de bajas mortalidades anuales, como en 1993 y en 1994, un accidente de esta naturaleza puede significar una fracción importante de la mortalidad total anual, así como de una pérdida de eficiencia en la estimación.

La estimación del total de mortalidad esta sujeta al supuesto de que el número de lances sobre delfines anual (N) es consistente con la fracción muestral propuesta anteriormente. En caso de que el número anual de lances sobre delfines difiera significativamente del número de lances estimado de acuerdo a la fracción muestral supuesta, se pueden provocar errores importantes en las estimaciones de la mortalidad total.

Otros problemas que pueden llevar a errores en la estimación anual, pueden ser el comportamiento de los barcos, la diferencia que existe en la definición de viaje

pesquero propuesta por el PNAAPD y la propuesta por la CIAT, o a una menor proporción de viajes "dolphin-save"<sup>2</sup> en la muestra.

Por otro lado, puede existir un efecto de heterogeneidad espacial en la distribución de las especies de delfines involucrados, lo que nos conduce a diferencias en la vulnerabilidad, aún cuando la actividad de la flota mexicana sea homogénea espacialmente.

## **5 TAMAÑO DE MUESTRA EN ESTIMACIONES ANUALES PRELIMINARES.**

Todos los estimadores, presentan errores de estimación aceptables con 1000 muestras. En la figura 2, se observa que los estimadores clásicos son muy parecidos, con una ligera mayor precisión en los estimadores de razón para 93. Por otro lado, si comparamos el error estándar del estimador simple de la teoría clásica con los errores estándar observados en las secuencias de muestreos por bootstrap (figura 3), podemos ver que el error es muy similar en ambos casos. Al parecer, el error de estimación tiene un sesgo, que se hace evidente con las aproximaciones de la media y la mediana del error estándar estimados por bootstrap, con respecto a la evaluación Montecarlo del error estándar que es prácticamente igual al error cuadrático medio. Este sesgo se minimiza con tamaños de 1000 muestras o más, y depende de la presencia de valores extremos (Manly, 1992).

En 1992 se tiene un error estándar general de  $\pm 1300$  delfines muertos aprox., disminuyendo a cerca de  $\pm 300$  para 93 y 94 para muestras de tamaño 1000, por lo que estimaciones previas con más de mil muestras se consideran aceptables.

Es posible que se necesiten innovaciones tecnológicas para lograr disminuir aún más la mortalidad y la presencia de valores extremos lo que permitiría una mayor precisión en las estimaciones.

---

<sup>2</sup> "Dolphin-Save" se refiere a la política que utilizan las enlatadoras estadounidenses no comprando atún capturado en asociación con delfines. En este tipo de viajes solo realizan lances sobre cardúmenes libres y objetos flotantes, con lo que se les extiende un certificado de viaje sin lances sobre delfines.

## CONCLUSIONES

- Las especies de delfines que son los principales componentes de la mortalidad, en orden de importancia son: el delfín manchado de altamar, el delfín tornillo oriental, el delfín común y el delfín tornillo panza blanca. Estas especies muestran en general, niveles de abundancia relativamente estables en años anteriores, por lo que la mortalidad por pesca es actualmente de poca importancia.
- Todas las estimaciones presentadas pueden ser útiles, pues presentan intervalos similares. Sin embargo, cuando se presentan datos extremos, que son accidentes pesqueros en los cuales la mortalidad para un solo lance es elevada; los estimadores más recomendables son los obtenidos por los percentiles "bootstrap", que es una técnica robusta a los efectos de asimetría que resultan de la ocurrencia de accidentes pesqueros, lo que nos lleva a estimaciones más verosímiles de la distribución del estimador.
- En relación a los tamaños de muestra en años futuros, estos dependerán principalmente de la presencia de valores extremos que incrementan la asimetría y asimismo la varianza. Un tamaño de muestra cercano a 1000 es aceptable en forma general para estimaciones preliminares, aunque existe el riesgo de un valor extremo resultante de un accidente pesquero, que alteraría significativamente la mortalidad anual.

## Literatura citada.

- Anganuzzi, A. A. y S. T. Buckland 1989. Reducing bias in estimated trends from dolphin abundance indices derived from tuna vessel data. Rep. Int. Whal. Commn., vol. 39, 323-334p.
- Argue A. W., P. Kleiber, R. E. Kearney y J. R. Sibert 1986 Evaluation of methods used by the south Pacific commission for identification of skipjack population structure. en Proceedings of the ICCAT Conference on The International Skipjack Year Program editado por Symons P.E.K., P.M. Miyake y G.T. Sakagawa, International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), Barcelona España, 242-251p.
- Buckland, S.T., K.L. Cattanach y A.A. Anganuzzi 1992 Estimating trends in abundance of dolphins associated with tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, using sightings data collected on commercial tuna vessels. Fishery Bulletin, vol. 90, no. 1, 1-12p.
- Cochran, W. G. 1977 Técnicas de muestreo, 2a edición. Compañía Editorial Continental S.A. en 1981, México, 513pp.
- Compeán-Jiménez, G. 1993 Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín. 129-138p., en Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González eds., Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865pp.
- De Groot, M. H. 1975 Probabilidad y Estadística, Addison Wesley Iberoamericana S. A., 1988 por Sistemas Técnicos de Edición S.A. de C.V., 694pp.
- Des Raj, 1968 Teoría del muestreo. Fondo de Cultura Económica en 1980, México, 305pp.
- Efron, B. 1982 The Jackknife, the Bootstrap and other resampling plans, edited by the Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), monografía # 38 CBMS-NSF, 92pp.



- Efron, B. y R. Tibshirani 1991 Statistical data analysis in computer age. SCIENCE, vol. 253, 390-395p.
- Fiedler, P. and S. Reilly. 1994 Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. II: Effects on abundances estimated from tuna vessel sightings, 1975-1990. Fish. Bull., vol. 92 no. 1, 451-463p.
- Hall, M.A. y S.D. Boyer 1992 Estimates of incidental mortality of dolphins in the purse seine fishery for tunas in the eastern Pacific ocean in 1990. Rep. Int. Whal. Commn., vol. 42, 529-531p.
- Hall, M.A. y C. Lennert 1993 Incidental mortality of dolphins in the eastern Pacific ocean tuna fishery in 1992. manuscrito, Inter-American Tropical Tuna Commission, La Jolla California, U.S.A.
- Hall, P. 1992 The Bootstrap and Edgeworth Expansion. Springer-Verlag, New York, U.S.A., 352pp.
- Hammond, P. S. 1984 Dolphin mortality Incidental to purse-seining for tunas in the eastern tropical Pacific, 1982. Rep. Int. Whal. Commn., vol. 34, 539-541p.
- Infante S. y G. Zárate, 1984 Métodos Estadísticos: un enfoque interdisciplinario, editorial Trillas, México D. F. 643pp.
- Manly, B. 1992 Bootstrapping for determining sample sizes in biological studies. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., vol. 158, 189-196p.
- Méndez R., I. 1995 Comunicación personal. Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS), de la Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## MORTALIDAD DE DELFINES POR LANCE FLOTA ATUNERA MEXICANA 92-94

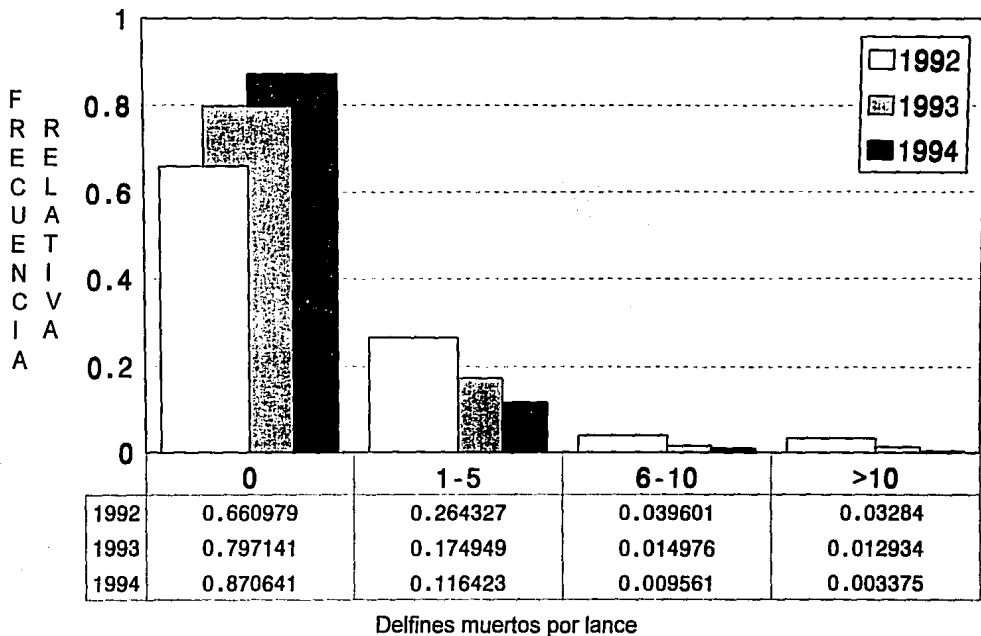


Figura 1: Distribución anual del número de delfines muertos por lance.

# ESTIMADORES CLASICOS DEL ERROR ESTANDAR (Simulación Montecarlo)

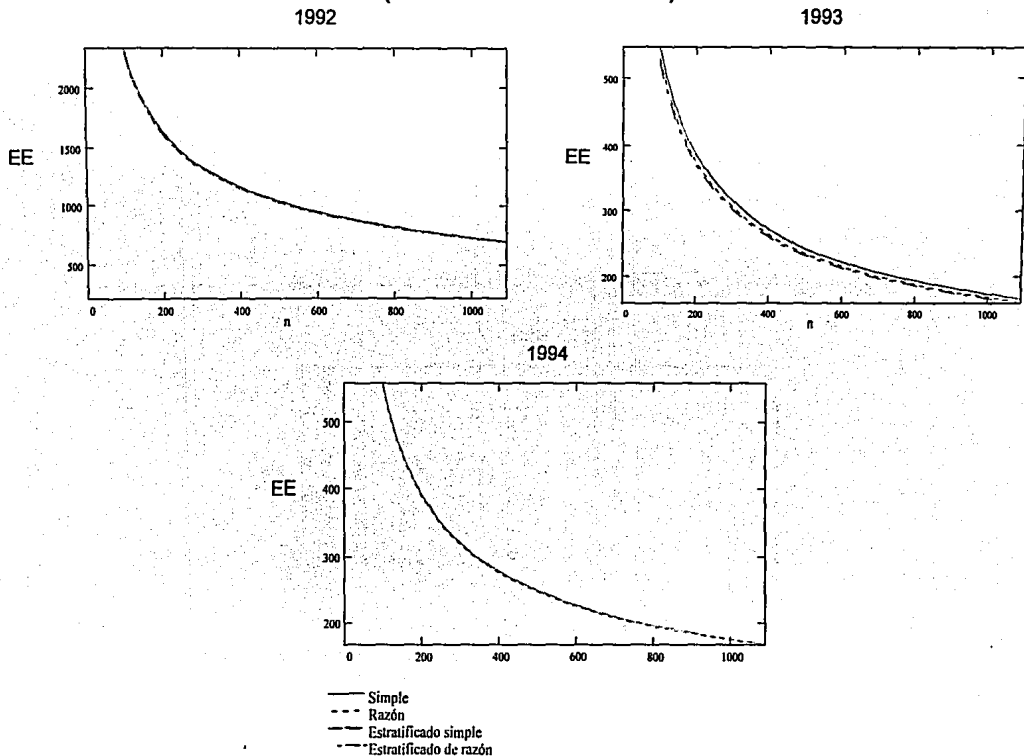
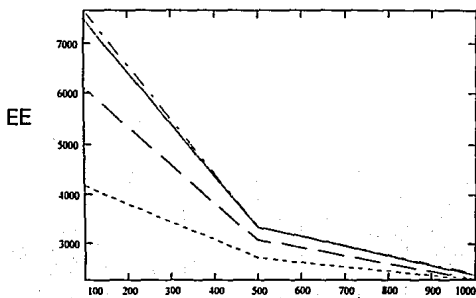


Figura 2: Errores estandar estimados EE (varianza muestral fija y corrección por finitud) vs. tamaño de muestra n.

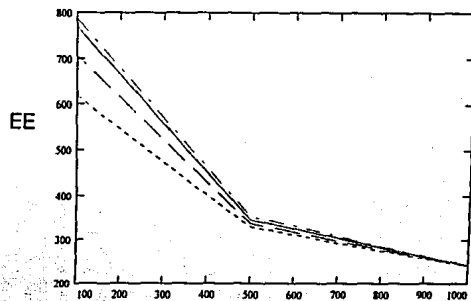
# ERROR ESTANDAR (Estimación simple vs. Bootstrap)

1992

1993

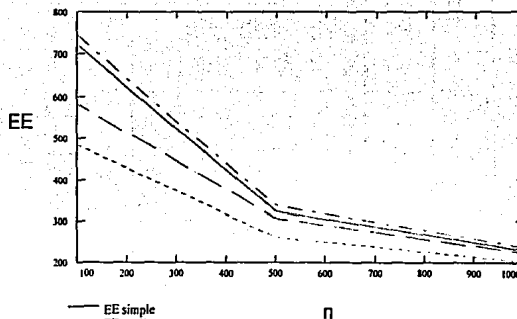


n



n

1994



n

— EE simple  
- - - EE mediana\*  
- · - EE media\*  
· · · EE Montecarlo\*

Figura 3: Tamaños de muestra  $n$  vs. errores estandar estimados EE. El error cuadrático medio no se incluye debido a que presenta valores practicamente iguales al error estandar Montecarlo.

\* EE's estimados de 1000 muestras bootstrap.

**ESTIMACION DE LA MORTALIDAD ANUAL DE DELFINES  
CON LA MUESTRA OBTENIDA POR EL PNAAPD**  
(Intervalos con el 95% de confianza)

Valores totales registrados *	1992		1993		1994	
	9562		1909		1819	
Método de estimación	límites de confianza estimados					
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	6394	11111	1603	2557	1125	1957
De razón**	6426	11079	1618	2542	1128	1956
Estratificado simple**	6398	11107	1603	2557	1124	1960
Estratificado de razón**	6423	11081	1624	2536	1126	1958
Simple ***	3371	14133	992	3168	590	2494
Porcentiles bootstrap n=100+	4043	18019	881	4128	625	3291
Porcentiles bootstrap n=500+	6034	12483	1463	2835	1008	2241
Porcentiles bootstrap n=1000+	6616	11420	1572	2550	1185	1998
No. de francés en muestra	3106		1469		2083	

Tabla 1: \* Cifra reportada por los observadores de la CIAT y del PNAAPD.

\*\* Basados en el teorema central del límite y con n=1000.

\*\*\* Basados en la desigualdad de Tchebyshev y con n=1000.

+ Obtenidos con 1000 muestras bootstrap.

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín manchado stock altamar      *Stenella attenuata*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	2477	5250	586	990	413	747
De razón**	2515	5212	593	983	416	744
Estratificado simple**	2478	5249	586	990	413	747
Estratificado de razón**	2514	5213	593	983	416	744
Simple***	699	7028	327	1249	199	961
Porcentiles bootstrap n=100+	1479	12300	264	1498	125	1292
Porcentiles bootstrap n=500+	2593	6128	511	1093	358	846
Porcentiles bootstrap n=1000+	2788	5642	599	997	433	754

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín manchado stock costero      *Stenella attenuata*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	0	146	31	441	10	110
De razón**	0	146	31	441	9	111
Estratificado simple**	0	146	31	441	10	110
Estratificado de razón**	0	146	31	441	9	111
Simple***	0	240	0	703	0	175
Porcentiles bootstrap n=100+	0	444	0	1043	0	250
Porcentiles bootstrap n=500+	0	207	41	591	8	150
Porcentiles bootstrap n=1000+	15	163	68	467	21	112

Tablas 2 y 3: \* Basados en el teorema central del límite y con n=1000.

\*\* Basados en la desigualdad de Tchebyshev y con n=1000.

+ Obtenidos con 1000 muestras bootstrap.

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín tornillo stock oriental *Stenella longirostris*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	1480	3044	228	780	256	916
De razón**	1477	3047	231	777	256	916
Estratificado simple**	1482	3042	228	780	257	915
Estratificado de razón**	1482	3042	231	772	255	917
Simple ***	478	4045	0	1134	0	1338
Porcentiles bootstrap n=100+	542	5275	59	1748	42	2291
Porcentiles bootstrap n=500+	1366	3466	223	952	250	1171
Porcentiles bootstrap n=1000+	1558	3099	279	827	333	969

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín tornillo stock panza blanca *Stenella longirostris*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	0	1918	114	318	92	316
De razón**	0	1917	114	318	93	315
Estratificado simple**	0	1918	114	318	92	316
Estratificado de razón**	0	1917	114	318	93	315
Simple ***	0	3161	0	449	0	459
Porcentiles bootstrap n=100+	49	8603	0	617	0	708
Porcentiles bootstrap n=500+	316	2702	100	382	67	400
Porcentiles bootstrap n=1000+	389	2278	120	326	106	333

Tablas 4 y 5: \* Basados en el teorema central del límite y con n=1000.

\*\* Basados en la desigualdad de Tchebyshev y con n=1000.

+ Obtenidos con 1000 muestras bootstrap.

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín común *Delphinus delphis*  
(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	11	2704	45	363	0	208
De razón**	6	2709	44	364	0	208
Estratificado simple**	18	2697	45	363	0	208
Estratificado de razón**	2	2713	44	364	0	208
Simple***	0	4430	0	567	0	354
Porcentiles bootstrap n=100+	0	8529	0	867	0	750
Porcentiles bootstrap n=500+	266	3954	29	467	0	267
Porcentiles bootstrap n=1000+	429	3034	69	373	13	240

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfín listado *Stenella coeruleoalba*  
(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	0	46	0	209	0	26
De razón**	0	46	0	209	0	26
Estratificado simple**	0	46	0	209	0	26
Estratificado de razón**	0	46	0	209	0	26
Simple***	0	82	0	398	0	49
Porcentiles bootstrap n=100+	0	148	0	911	0	125
Porcentiles bootstrap n=500+	0	69	0	364	0	42
Porcentiles bootstrap n=1000+	0	49	0	273	0	29

Tablas 6 y 7: \* Basados en el teorema central del límite y con n=1000.

\*\* Basados en la desigualdad de Tchebyshev y con n=1000.



**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfin nariz de botella *Tursiops truncatus*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	0	256	0	131	0	23
De razón**	0	255	0	130	0	23
Estratificado simple**	0	256	0	131	0	23
Estratificado de razón**	0	255	0	130	0	23
Simple ***	0	433	0	221	0	39
Porcentiles bootstrap n=100+	0	1085	0	353	0	83
Porcentiles bootstrap n=500+	10	355	0	188	0	25
Porcentiles bootstrap n=1000+	30	296	6	138	0	25

**ESTIMACIONES DE MORTALIDAD ANUAL POR ESPECIES**

Delfin de dientes rugosos *Steno bredanensis*

(Límites con el 95% de confianza)

Método de estimación	1992		1993		1994	
	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Simple**	0	42	0	34	---	---
De razón**	0	42	0	34	---	---
Estratificado simple**	0	42	0	34	---	---
Estratificado de razón**	0	42	0	34	---	---
Simple ***	0	85	0	64	---	---
Porcentiles bootstrap n=100+	0	296	0	147	---	---
Porcentiles bootstrap n=500+	0	59	0	59	---	---
Porcentiles bootstrap n=1000+	0	59	0	44	---	---

Tablas 8 y 9: \* Basados en el teorema central del límite y con n=1000.

\*\* Basados en la desigualdad de Tchebyshev y con n=1000.

+ Obtenidos con 1000 muestras bootstrap.