

13 PROSPECCIONES CON REDES DE ARRASTRE

Las prospecciones con redes de arrastre de fondo se utilizan mucho para estudiar las poblaciones demersales en los casos en que sólo se requiere un índice de abundancia. También la biomasa y el rendimiento anual de las poblaciones no explotadas (o de aquellas para las que se tiene poca o ninguna información sobre la captura) se pueden estimar a partir de prospecciones realizadas con redes de arrastre de fondo. Sin embargo, la estimación de la biomasa total a partir de la captura por unidad de esfuerzo (o por unidad de área) entraña varios supuestos cruciales, por lo que resulta bastante imprecisa.

La captura media (ya sea en peso o en número de ejemplares) por unidad de esfuerzo o por unidad de área es un índice de la abundancia de la población (es decir, se supone que es proporcional a la abundancia). Este índice puede convertirse en una medida absoluta de la biomasa, utilizando el llamado *método del área barrida* (Sección 13.5). Este método está incluido entre los denominados como métodos holísticos (véase la Sección 1.8).

Para un examen de la teoría se pueden consultar, por ejemplo, Gulland (1975), Saville (1977), Troadec (1980), Doubleday (1980), y Grosslein y Laurec (1982). En estas obras se encontrarán también pautas para la realización de las prospecciones (planificación, diseño, recolección de datos, registro de datos, análisis e informe), algunas de las cuales se resumen en las Secciones 13.2 a 13.4 (véase también Butler *et al.*, 1986, ICOD, 1991 y Strømme, 1992).

En la primera parte de este capítulo se da una breve descripción de la planificación de los arrastres demersales exploratorios y algunas pautas para el registro de datos y el trabajo sobre el terreno (Secciones 13.1 a 13.4). Para explicaciones más detalladas sobre estos temas, véanse, por ejemplo, Alverson y Pereyra (1969), Alverson (1971), Mackett (1973), FAO/UNDP (1975), Gulland (1975), Saville (1977), Flowers (1978), Doubleday (1981), Grosslein y Laurec (1982) y Fogarty (1985). El resto del capítulo (Secciones 13.5 a 13.8) corresponde a una breve exposición de la teoría necesaria para evaluar una población de peces a partir de datos obtenidos en prospecciones con redes de arrastre de fondo.

13.1 LA RED DE ARRASTRE DE FONDO

La red de arrastre de fondo (Fig. 13.1.1) es una bolsa cónica construida con paños de red, con una boca ancha provista de pesos en la relinga inferior y de flotadores en la relinga superior. Cuando la embarcación está en marcha, la red se mantiene abierta por medio de dos puertas de arrastre, unas estructuras de madera o de hierro remolcadas por cables que están sujetos a ellas por delante de su centro, de manera que tienden a abrirse. Las dos puertas se conectan a la red por bridas de cabo o cable. Estas pueden tener hasta 200 m de longitud y barren el fondo del mar; abarcando una gran superficie. Así ahuyentan a los peces hacia la red que viene avanzando y aumentan su eficacia. La forma de la red varía en función de la clase de peces que se desea capturar y del tipo de fondo. La relinga inferior puede llevar rodillos de goma (bobinas), para poder utilizar la red en fondos pedregosos sin que se deteriore.

El extremo final del arte, del que se sacan los peces capturados, se llama "copo". Ahí es donde ocurre la mayor parte de la selección de tallas. En la mayoría de los casos, el copo ha de tener una luz de malla relativamente pequeña, a fin de obtener una muestra representativa de todo el recorrido de tallas de las especies en estudio (véase la Sección 13.2).

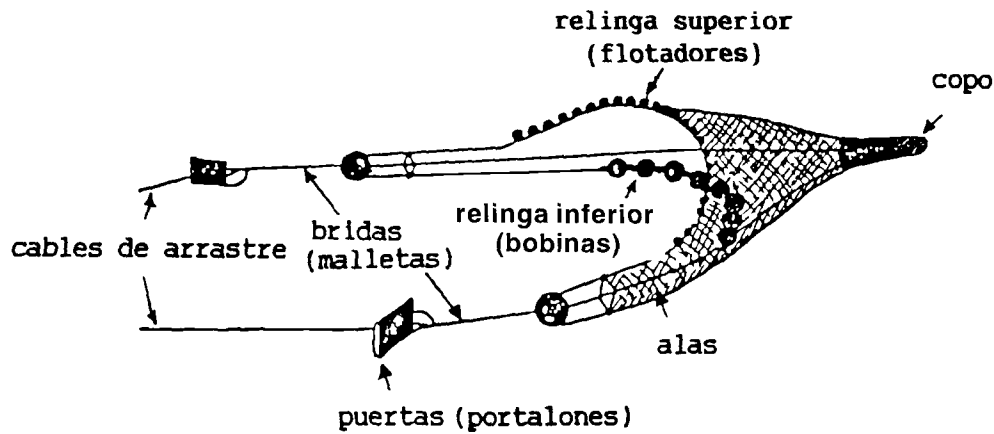


Fig. 13.1.1 Red de arrastre de fondo.

13.2 PLANIFICACION DE UNA PROSPECCION CON RED DE ARRASTRE DE FONDO

A continuación se explican algunos aspectos importantes que hay que considerar antes de realizar una prospección.

Definición de los objetivos

Hay que especificar los objetivos de la prospección. Estos pueden ser, por ejemplo:

1. La estimación de la biomasa total y las tasas de captura
2. La estimación de las biomásas de determinadas especies
3. La recolección de datos biológicos para la estimación de los parámetros de mortalidad y crecimiento (por ejemplo, frecuencias de tallas)
4. La recolección de datos sobre el medio ambiente.

Información sobre el área a prospectar

Mediante un reconocimiento preliminar con ecosonda se puede obtener información sobre la profundidad y las condiciones del fondo, a fin de determinar las zonas en que se puede efectuar el arrastre y tomar una decisión acerca de los estratos. La información aportada por los pescadores locales puede ser valiosa. También son importantes los datos sobre los vientos estacionales, las corrientes y los patrones de migración de las poblaciones de peces.

Elección del arte de pesca

El diseño de la red de arrastre deberá adaptarse a las condiciones que se prevé encontrar en el fondo y a la embarcación que se va a utilizar. Si el fondo es accidentado, el arte deberá dotarse de rodillos para evitar que se estropee. Si abundan las especies semipelágicas, habrá que utilizar una red de arrastre de mucha abertura vertical. El copo deberá tener una luz de malla que retenga toda la serie de tallas de la parte capturable de la población. Una malla estirada de 10-20 mm suele ser adecuada. El tamaño o luz de malla que se utiliza en las prospecciones es, por lo general, mucho más pequeña que la que se emplea en las pesquerías comerciales, ya que las muestras de peces pequeños son importantes para los métodos de evaluación, basados en frecuencias de tallas.

Si se emplean redes de arrastre diferentes, deberán efectuarse lances alternos o paralelos con el fin de calcular los factores de corrección para agrupar los datos.

Diseño de la prospección

Hay que determinar un procedimiento para la selección de las estaciones de muestreo. Una red fija de estaciones asegura la máxima información sobre la distribución en toda la zona, pero no da necesariamente la estimación más precisa de la biomasa. Para estimar los tamaños de las poblaciones debería optarse por un diseño de muestreo completamente aleatorio o un diseño de muestreo aleatorio estratificado. En la mayoría de los casos es preferible el muestreo estratificado, porque los peces rara vez se distribuyen uniformemente y casi siempre la abundancia se relaciona con la profundidad. El muestreo estratificado proporciona a menudo una estimación mucho más precisa, por un costo igual (o incluso más bajo) que el muestreo aleatorio simple (véanse las Secciones 7.2 y 13.7).

Asignación de lances (estratificación)

Los estratos se construyen básicamente de acuerdo con la distribución de densidad de los peces, separando las zonas de alta, media o baja densidad. Para ello hay que disponer de cierta información antes del estudio. La primera prospección (o la primera parte de éste) debería tener tal vez un diseño completamente aleatorio, o bien los lances deberían estar espaciados de manera uniforme. Pero en la parte siguiente del programa ya se dispondrá de alguna información sobre las densidades y las desviaciones estándar de las estimaciones de densidad, que se podrá utilizar para la estratificación. La desviación estándar de la captura por unidad de área (CPUA), es a menudo proporcional al valor de la CPUA, por lo que será más alta en las zonas de mayor abundancia.

La distribución óptima de un número dado de lances entre los distintos estratos se obtiene muestreando cada estrato en proporción a su desviación estándar, multiplicada por el tamaño del estrato (véanse las Secciones 7.2 y 13.7). Es preferible que la distribución de los lances dentro de los estratos sea aleatoria, pero con frecuencia ocurre que algunos factores de orden práctico determinan el diseño de la muestra. Por ejemplo, la presencia de obstáculos en el fondo marino puede no permitir una verdadera distribución aleatoria de las estaciones de muestreo.

Número posible de lances

Para estimar cuántos lances se pueden realizar en un período determinado hay que disponer de la siguiente información:

Número total de días disponibles	N
Tiempo necesario para el desplazamiento hacia y desde el caladero (horas)	t1
Duración de un lance (horas)	t2
Tiempo necesario para largar y cobrar la red de arrastre	t3
Tiempo necesario para cubrir la distancia entre las estaciones (promedio, horas)	t4
Número de horas disponibles por día (según la tripulación, el comportamiento de las especies investigadas, la navegación, etc.)	T
Tiempo empleado para los preparativos: carga de hielo, alimentos, agua, reparación de artes y equipo (días)	t5

A excepción del primero y el último día de un crucero, en que hay que sustraer t1 de T, el número de lances por día se puede calcular de la siguiente manera:

$$(\text{número de lances por día}) = T / (t2+t3+t4)$$

$$(\text{número total de lances}) = (N-t1-t5) * (\text{número de lances por día}) + (\text{lances del primero y el último día})$$

Es importante *uniformar* la duración de los lances para todo el crucero, puesto que la capturabilidad de las especies y los tamaños dependen a menudo de la duración del lance. Para fines de reconocimiento, los lances de 0.5 ó 1.0 hora suelen ser los más adecuados (véase también la Sección 13.6).

13.3 REGISTRO DE DATOS

Cuando se establece un plan para realizar una prospección con redes de arrastre, un punto fundamental es decidir cuáles datos se van a registrar, la precisión requerida y la frecuencia de los registros.

Los datos que se van a registrar se determinan sobre la base de los modelos que permitirán alcanzar los objetivos del reconocimiento, por ejemplo, el método del área barrida (véase la Sección 13.6), el análisis de frecuencias de tallas (véase el Capítulo 3), la estimación de la mortalidad (véase el Capítulo 4). Los tipos de datos incluirán, por lo general, especificaciones sobre el arte de pesca empleado y, para cada lance, la duración, posición al comienzo y al final, longitud del cable, abertura de las alas, tipo de fondo y profundidad. El registro de la captura debería incluir el peso total, la composición por especies en relación al peso y las frecuencias de tallas (para las especies seleccionadas).

La precisión requerida depende del uso que se va a hacer de los datos. Sin embargo, a menudo la precisión que se alcanza en una prospección con redes de arrastre está condicionada al número de lances, lo que restringe nuestra capacidad de decidir al respecto.

Antes de efectuar el registro, hay que saber cómo se procesarán los datos, particularmente en los casos en que la reducción de éstos ocurre antes de la fase del registro. Por consiguiente, para diseñar un formulario de registro apropiado hay que tener una idea más bien precisa de la forma en que éstos se procesarán posteriormente. Al diseñar el formulario es importante tener en cuenta las consideraciones prácticas, por ejemplo, dónde se ingresarán los datos, en el puente, en el laboratorio o en cubierta.

Es importante que los datos estén bien organizados para facilitar su procesamiento, por ejemplo, en un computador, especialmente cuando han de combinarse los datos de dos o más embarcaciones. El diseño adecuado de los documentos de registro facilita mucho la introducción correcta de los datos y aumenta su fiabilidad. Por lo general, se necesitan varios documentos para registrar toda la información reunida durante una prospección. Estos corresponden a las siguientes categorías:

1. Una bitácora de navegación que resume todo el crucero.
2. Detalles de las distintas estaciones (o lances), la *bitácora de pesca*, que generalmente proporciona información sobre la posición de la embarcación, la hora de inicio y término del lance, el almacén del arte, etc. Además debería figurar en ella información resumida sobre la captura, como el peso total y la composición en peso por especies.
3. Información detallada sobre la captura. Esta puede ser en términos de talla, peso, sexo, fase de madurez, etc. de cada ejemplar, o de muestras de distribuciones de frecuencias de tallas.

Flowers (1978) da una descripción detallada del sistema de procesamiento de datos para las prospecciones con redes de arrastre y reproduce formularios apropiados para el trabajo especificado en los puntos 1 a 3.

13.4 MUESTREO EN CUBIERTA Y PROCEDIMIENTOS DE REGISTRO DE LAS CAPTURAS

Antes de iniciar la prospección, es importante cerciorarse de que el equipo y las condiciones de trabajo sean tales, que el muestreo se pueda realizar fácilmente y sin riesgos. Además hay que impartir instrucciones a la tripulación para que no elimine ninguna parte de la captura, mientras no haya terminado el muestreo.

Los pasos que se exponen a continuación corresponden a los métodos para clasificar la captura de un buque de investigación pesquera, de modo que se pueda establecer su composición por peso

y por número de ejemplares de cada especie (o grupos de especies). El procedimiento que aquí se bosqueja está tomado de Pauly (1980, adaptado de Losse y Dwiponggo, 1977).

Paso 1:

Extraiga todas las serpientes de mar y otros animales venenosos o peligrosos. Quite también las tortugas y, si están vivas, devuélvalas al mar. Registre el número y tipo de animales extraídos.

Paso 2:

Extraiga los desechos inorgánicos y el material vegetal. Registre el tipo de material extraído.

Paso 3:

Extraiga los pescados más grandes que son fáciles de ver y póngalos en una caja.

Paso 4:

Lave el resto de la captura (de pescados pequeños) si es necesario, y mézclela con palas.

Paso 5:

Coloque la captura mezclada en cajas, mientras sigue sacando los ejemplares más grandes y poniéndolos en la caja mencionada en el Paso 3. Las cajas deben llenarse simultáneamente, no una después de la otra, y hay que controlar que todas las cajas contengan aproximadamente el mismo peso.

Paso 6:

Cuente el número de cajas de pescados pequeños y regístrelo.

Paso 7:

Un método práctico consiste en sacar al azar una de cada 5 cajas para el submuestreo. Registre el número de cajas del submuestreo como B1, B2, B3, ... etc.

Paso 8:

Las cajas apartadas para el submuestreo se tratan luego de la siguiente manera:

- Pese la captura total de la caja B1 y regístrela.
- Coloque los ejemplares de la caja B1 en una mesa de clasificación, y divida los pescados comestibles y los crustáceos de alto valor (como los camarones) por especies, y los otros grupos (pescados y crustáceos varios no comestibles) por categorías taxonómicas lo más definidas posibles (por ejemplo, género, familia, etc.).
- Repita el procedimiento para las otras cajas, B2, B3, ... etc.

Paso 9:

Si se ha seleccionado más de una caja, registre para cada especie (o categoría taxonómica superior) el peso y el número total de individuos de todas las cajas de la submuestra.

Paso 10:

Multiplique el número de individuos y el peso de los pescados e invertebrados de cada especie (o categoría taxonómica superior) por la razón entre el número de cajas no separadas y separadas.

Paso 11:

Pese y cuente, por especies, los pescados más grandes mencionados en los pasos 3 y 5 (los ejemplares muy grandes deberían pesarse y medirse individualmente).

Paso 12:

Cuando haya superposición (es decir, cuando encuentre ejemplares de una determinada especie tanto en las cajas de pescados pequeños como en las de los grandes), sume los pesos y números de individuos obtenidos en el paso 11 con los del paso 10.

Paso 13:

El paso 12 (así como el 11, cuando no hay superposición) proporcionan estimaciones de la captura total, en peso y en número de individuos, por especies o categorías taxonómicas superiores. Registre los totales, tanto en peso como en número de individuos, en una bitácora de pesca apropiada y conviértalos en captura por unidad, si el tiempo de pesca ha sido mayor o menor que una hora. Durante los reconocimientos este paso debe efectuarse después de cada lance, o todas las tardes como mínimo, para evitar que se pierda información.

Paso 14:

Además del muestreo, identificación y registro de la captura, el trabajo de un biólogo pesquero incluye generalmente, entre otras cosas:

- la recolección de datos sobre frecuencias de tallas.
- el acopio de información biológica variada acerca de los peces capturados, por ejemplo, sobre su peso y madurez.
- la recolección y mantenimiento de especímenes para estudios posteriores en tierra.
- la recolección de datos oceanográficos.

Es importante clasificar y muestrear la captura en el mayor grado posible. El costo adicional que entrañan la clasificación y el muestreo de todas las especies comestibles representa, en general, sólo una fracción de los costos totales del estudio exploratorio.

13.5 EL AREA BARRIDA

Como se puede ver en la Fig. 13.5.1, la red de arrastre barre un sector bien definido, cuya área es igual a la longitud del sector por el ancho de la red, llamada *área barrida* o "sector de barrido efectivo". El área barrida, a , se puede estimar con la siguiente fórmula:

$$a = D * r_s * X_2, \quad D = V * t \quad (13.5.1)$$

donde V es la velocidad de desplazamiento de la red sobre el fondo, r_s es la longitud de la relinga superior (véase la Fig. 13.5.1), y t es el tiempo de duración del arrastre. X_2 es la parte de la relinga superior que equivale al ancho del sector barrido por la red de arrastre, la "abertura de las alas", $r_s * X_2$ (véase la Fig. 13.5.1).

Para las redes de arrastre de fondo de Asia sudoriental se han notificado valores de X_2 de 0.4 (Shindo, 1973) a 0.66 (SCSP, 1978). Pauly (1980) propone un valor de $X_2 = 0.5$ como el más adecuado. En el Caribe, Klima (1976) utilizó un valor de $X_2 = 0.6$.

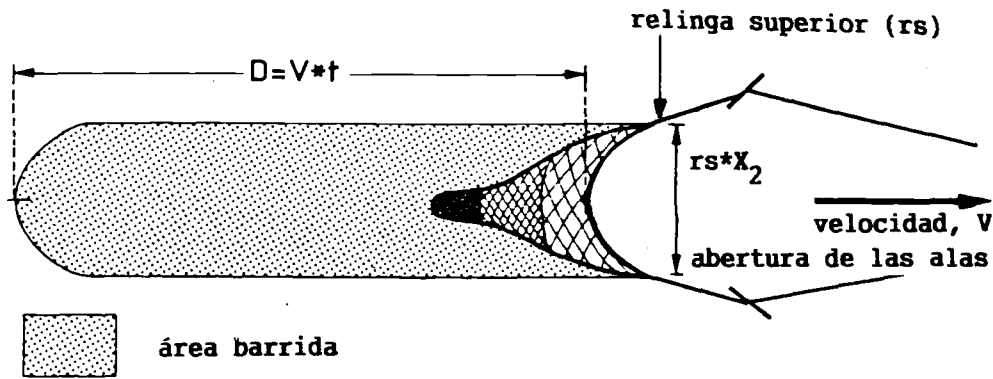


Fig. 13.5.1 Área barrida por la red de arrastre (véase también la Fig. 4.3.0.1).

Para estimar la biomasa se utiliza la captura por unidad de área (CPUA), como se verá en la próxima sección. La CPUA se calcula, dividiendo la captura por el área barrida (en millas náuticas cuadradas o kilómetros cuadrados). Así pues, esta estimación depende de la exactitud con que se calcule el área barrida. El área barrida definida en la Fig. 13.5.1 presupone que las bridas no tengan un efecto de agrupación de los organismos, aunque en realidad lo tienen. La abertura de las alas se calcula como la parte X_2 de la longitud de la relinga superior. La abertura de las alas varía según la velocidad de arrastre, las condiciones meteorológicas, las corrientes y la longitud de los cables, por lo que no está bien definida. Puede medirse exactamente con instrumentos especiales, pero también puede calcularse aproximadamente sobre la base de mediciones de la distancia entre los cables en los pescantes y en otro punto situado, por ejemplo, 1 m más abajo, hacia la red.

Cuando se conocen las posiciones exactas del inicio y el término del lance, se puede calcular la distancia cubierta en millas náuticas (mn), como sigue:

$$D = 60 * \sqrt{(\text{Lat1} - \text{Lat2})^2 + (\text{Lon1} - \text{Lon2})^2 * \cos^2(0,5 * (\text{Lat1} + \text{Lat2}))} \quad (13.5.2)$$

donde

- Lat1 = latitud al inicio del lance (grados)
- Lat2 = latitud al término del lance (grados)
- Lon1 = longitud al inicio del lance (grados)
- Lon2 = longitud al término del lance (grados)

Si no se dispone de las posiciones exactas, sino sólo de la velocidad de la embarcación y su rumbo, junto con la dirección y velocidad de la corriente, se puede calcular la distancia cubierta por hora de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{VE^2 + VC^2 + 2 * VE * VC * \cos(\text{dirE} - \text{dirC})} \quad (\text{mn}) \quad (13.5.3)$$

donde

- VE = velocidad de la embarcación (nudos = mn/hora)
- VC = velocidad de la corriente (nudos)
- dirE = rumbo de la embarcación (grados)
- dirC = dirección de la corriente (grados)

La Ec. 13.5.3 es una aplicación de la "suma de vectores" (véase la Fig. 13.5.2).

13.6 ESTIMACION DE LA BIOMASA POR EL METODO DE AREA BARRIDA

Sea C_p la captura en peso de un lance. Luego, si t es el tiempo (en horas) de duración del lance, C_p/t es la captura en peso por hora. Sea a el área barrida (véase la Ec. 13.5.1); a/t es entonces el área barrida por hora, y

$$\frac{C_p/t}{a/t} = \frac{C_p}{a} \quad \text{kg/mn}^2 \quad (13.6.1)$$

es la captura en peso por unidad de área. Sea X_1 la parte de la biomasa capturada realmente en el sector efectivo de barrido, y sea C_p/a la captura media por unidad de área de todos los lances. Entonces una estimación de la biomasa promedio por unidad de área, \bar{b} , es:

$$\bar{b} = (\overline{C_p/a})/X_1 \quad \text{kg/mn}^2 \quad (13.6.2)$$

es una estimación de la biomasa por unidad de área. Sea A mn^2 el tamaño total del área en estudio. Luego una estimación de la biomasa total, B , en esta área, A , se obtiene de:

$$B = \frac{(\overline{C_p/a}) * A}{X_1} \quad (13.6.3)$$

La proporción retenida de peces, presentes en el área barrida, X_1 , es difícil de estimar. Las grabaciones televisivas bajo el agua muestran que la reacción de los peces frente a los artes de arrastre varía notablemente según la especie. Por lo general, el valor de X_1 se sitúa entre 0.5 y 1.0. Con los arrastreros que se utilizan en Asia sudoriental, se adopta normalmente un valor de $X_1 \approx 0.5$ para los trabajos de reconocimiento (Isarankura, 1971; Saeger *et al.*, 1980). Por otra parte, Dickson (1974), propone $X_1 = 1$. La diferencia entre estos dos valores de X_1 es difícil de solucionar. Al utilizar $X_1 = 0.5$ la estimación de la biomasa se duplica en comparación con la que se obtiene con $X_1 = 1.0$.

La duración del lance es proporcional a la distancia cubierta, por lo que la duración no debería repercutir directamente en la captura por unidad de área. No obstante, la capturabilidad, X_1 , de las diferentes especies puede variar de acuerdo con la duración del lance, porque algunas especies, una vez agrupadas por la red de arrastre, se cansan pronto y son capturadas, mientras que otras son capaces de nadar mucho tiempo delante de la red y consiguen escapar. Por lo tanto, es importante normalizar la duración para poder comparar los resultados de diferentes lances. Para investigar la medida en que la capturabilidad depende de la duración del lance se podrían hacer lances paralelos de distinta duración (por ejemplo, de media hora y una hora).

El área total investigada se puede estimar a partir de una proyección mercator por medio de un planímetro. Otro método consiste en copiar el área en un papel transparente, que luego se recorta y se pesa. El peso del papel se compara entonces con el de un pedazo de papel parecido que corresponda a un área conocida. Este último método no es muy preciso.

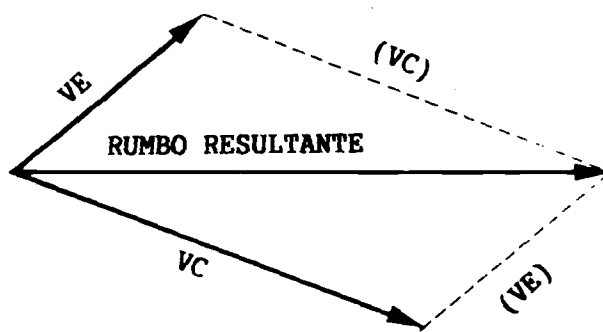


Fig. 13.5.2 Suma vectorial del rumbo de la embarcación y de la dirección y velocidad de la corriente.

13.7 PRECISION DE LA ESTIMACION DE LA BIOMASA

Supóngase que la estimación de la biomasa en la Ec. 13.6.3 se obtiene a partir de n lances, y sea $Ca(i)$ la captura (en peso) por unidad de área del lance n° i, donde $i = 1, 2, \dots, n$. La estimación de B será entonces:

$$B = \frac{A}{X1} * \frac{1}{n} * \sum_{v=1}^v Ca(i) = \frac{A}{X1} * \overline{Ca} \quad (13.7.1)$$

y la varianza (véase la Ec. 2.1.2):

$$\text{VAR}(B) = \left[\frac{a}{X1} \right]^2 * \frac{1}{n} * \frac{1}{n-1} * \sum_{v=1}^v [Ca(i) - \overline{Ca}]^2 \quad (13.7.2)$$

Así pues, aumentando el número de lances, n (véase la Sección 2.7, Fig. 2.7.1), se puede obtener una mayor precisión (una varianza más pequeña). Otra forma de reducir la varianza es aplicando el muestreo estratificado (véase la Sección 2.8). Una estratificación adecuada puede reducir la varianza de forma considerable para un mismo número de lances, mejorando así la eficiencia del estudio exploratorio con el mismo tiempo de utilización del buque de investigación. La distribución de muchas especies de peces está determinada por la profundidad y el tipo de fondo. Por lo tanto, la estratificación basada en estos factores se utiliza mucho. La Fig. 13.7.1 muestra un ejemplo de estratificación, basada en la profundidad.

Las áreas de los cuatro estratos de la Fig. 13.7.1 son $A1, A2, A3$ y $A4$ y el área total $A = A1 + A2 + A3 + A4$. Sea $B(i)$ la biomasa estimada del estrato n° i, calculada por medio de la Ec. 13.7.1. La estimación de la biomasa total del área total A , será entonces:

$$B = B(1) + B(2) + B(3) + B(4) \quad (13.7.3)$$

y la varianza:

$$\text{VAR}(B) = \text{VAR}(B(1)) + \text{VAR}(B(2)) + \text{VAR}(B(3)) + \text{VAR}(B(4)) \quad (13.7.4)$$

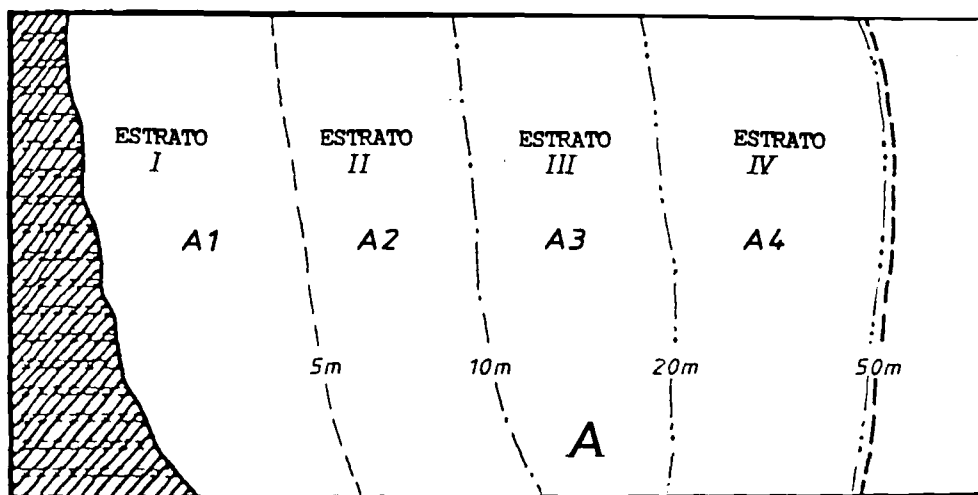


Fig. 13.7.1 Ejemplo de estratificación.

donde $\text{VAR}(B(i))$ se calcula mediante la Ec. 13.7.2. Si se trabaja en unidades de biomasa por mn cuadrada (véase la Ec. 13.6.2), el paralelo de la Ec. 13.7.3 es:

$$b = [b(1)*A1 + b(2)*A2 + b(3)*A3 + b(4)*A4]/A \quad (13.7.5)$$

y el paralelo de la Ec. 13.7.4:

$$\text{VAR}(b) = \text{VAR}(b(1))*(A1/A)^2 + \dots + \text{VAR}(b(4))*(A4/A)^2 \quad (13.7.6)$$

donde A_i es el tamaño del estrato $n^{\circ}i$ y A es el área total del estrato. Se ve entonces que la Ec. 13.7.6 es análoga a la Ec. 7.2.11, con A como N y A_i como $N(j)$. Los límites de confianza de B y b se pueden calcular como se explica en la Sección 2.3.

La estratificación se puede basar en la captura total de una combinación de especies o en la captura de una sola especie. Sin embargo, a menudo es preferible abarcar varias especies, o grupos de especies, cada una con su propio tipo de distribución. En tales casos, hay que escoger un procedimiento de estratificación para cada especie o grupo de especies con patrones de distribución semejantes dentro del área en estudio.

Para una descripción más detallada de los aspectos estadísticos de un arrastre exploratorio, véanse Fogarty (1985) y Gavaris y Smith (1987). Estos últimos analizan el efecto de la estratificación, comparando la precisión que se obtiene con un muestreo estratificado con la de un muestreo aleatorio simple, utilizando el método de Sukhatme y Sukhatme (1970).

Todas las fórmulas anteriores suponen que el número de peces capturado por hora de arrastre sea una variable aleatoria distribuida normalmente. Muchas veces se obtiene una mejor descripción de los datos en estudio si se presupone la llamada "distribución-delta" (Pennington, 1983). Esta distribución tiene en cuenta que a menudo los datos del estudio contienen una gran proporción de observaciones cero y que las observaciones distintas de cero forman una distribución log-normal más que una distribución normal.

Una distribución log-normal es asimétrica y sesgada hacia el lado derecho. La Fig. 13.7.2 muestra una función delta esquematizada. Observe que el punto 0 tiene una probabilidad positiva. En su

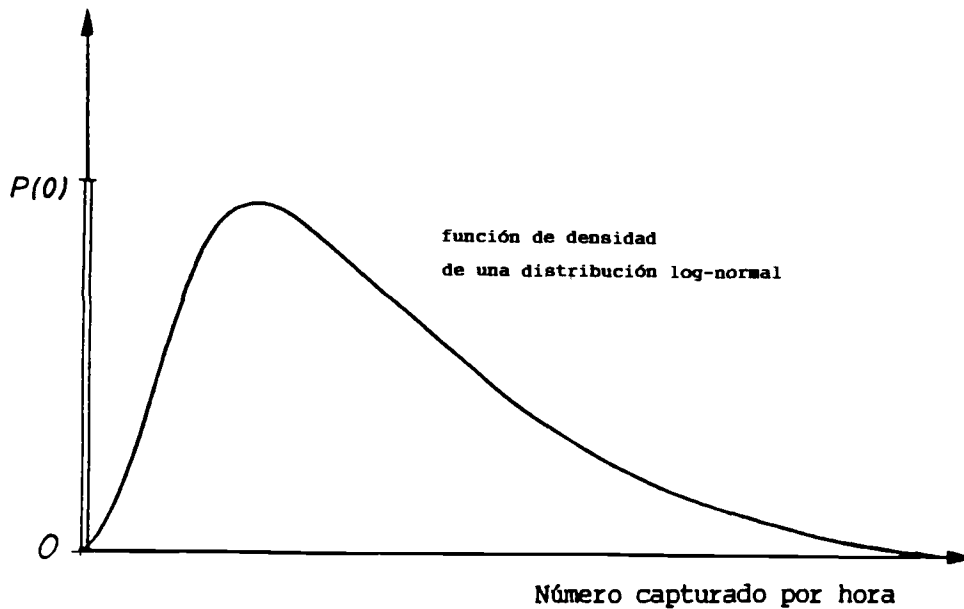


Fig. 13.7.2 Función delta.

trabajo, Pennington da la expresión para los estimadores insesgados de los parámetros de la función delta.

13.8 ESTIMACION DEL RENDIMIENTO MAXIMO SOSTENIBLE

Fórmula de Gulland para poblaciones vírgenes (Ec. 9.2.1):

$$\text{RMS} = 0.5 \cdot M \cdot B_v$$

(M = coeficiente de mortalidad natural; B_v = población virgen) o la fórmula de Cadima para las poblaciones explotadas (Ecs. 9.3.1 y 9.3.2):

$$\text{RMS} = 0.5 \cdot Z \cdot B \quad \text{o} \quad \text{RMS} = 0.5 \cdot (Y + M \cdot B)$$

se aplican a menudo para calcular el rendimiento máximo sostenible (RMS) por año a partir de la biomasa total estimada mediante estudios exploratorios (véase, por ejemplo, Saville, 1977, o Troadec, 1980). Sin embargo, puede ser mejor aplicar el modelo modificado de Fox (García *et al.*, 1987) descrito en la Sección 9.4, utilizando la Ec. 9.4.10 o la Ec. 9.4.11.

En todo caso, estos son métodos no perfeccionados, que deberían utilizarse sólo para obtener el orden de magnitud de la población de peces (1000 toneladas, 10000 toneladas, etc.). Si no se sabe nada de antemano, incluso esta estimación del orden de magnitud puede ser valiosa.

Un problema es que M generalmente no se conoce antes de realizar las prospecciones. Cuando se trata de una población virgen (no explotada), se puede obtener una estimación de M analizando las curvas de captura establecidas durante el crucero exploratorio (véase la Sección 4.4), ya que en el caso de las poblaciones no explotadas $F = 0$ y, por lo tanto, $Z = M$. La fórmula empírica de Pauly, Ec. 4.7.2.1 (Pauly, 1980b), se puede aplicar cuando se dispone de los parámetros de crecimiento.

(Véanse los **Ejercicios** en la Parte 2).