

# GALEMYS



VOLUMEN N° 9

MARZO DE 1997



BOLETÍN INFORMATIVO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA LA  
CONSERVACIÓN Y ESTUDIO DE LOS MAMÍFEROS

# SECEM

# ME A ST

## **TEORÍA DE CENSOS: APLICACIÓN AL CASO DE LOS MAMÍFEROS.**

por

Ramón C. Soriguer, Jesús M. Pérez y  
Paulino Fandos

Censar una población supondría registrar o contabilizar todos y cada uno de sus efectivos. Esto puede resultar relativamente sencillo en el caso de objetos fijos e individualmente reconocibles (p. ej. personas, vehículos aparcados). En el caso de los animales, su comportamiento, movilidad, etc., influyen en su detectabilidad hasta tal punto que en la mayoría de las ocasiones resulta muy difícil su enumeración completa. Este problema queda solucionado, con más o menos éxito, por medio de los censos.

### **El concepto de censo**

Un censo es un proceso de muestreo que nos permite estimar abundancias (p. ej. plantas, objetos, animales, partes de planta, frutos, etc.). En nuestro caso concreto sería el proceso de muestreo que nos permitiría conocer o estimar la abundancia de un mamífero (p. ej. ciervo, conejo, topillo, etc.) de una determinada población.

### **¿Para qué hacer censos?**

El conocimiento del tamaño de las poblaciones animales es fundamental en los estudios en los que se encuentren involucrados aspectos tan destacados como la dinámica poblacional, la productividad o las interrelaciones tróficas. Por otra parte, conocer el número absoluto de individuos de una población es uno de los objetivos tradicionales que con mayor frecuencia se plantea en el estudio de las poblaciones animales y que aún hoy día permanece sin resolverse satisfactoriamente. Por ello y como solución intermedia y de compromiso para soslayar toda una amplia gama de impedimentos, ha ido surgiendo un variado espectro de técnicas y métodos, unos con más ventajas y/o supuestos que otros, pero que en definitiva, y hasta ahora, sólo han servido como aproximaciones más o menos precisas a las verdaderas estimas poblacionales.

### **Técnicas más comunes de estimación de los tamaños poblacionales.**

Una vez llegado al punto en el que decidimos llevar a cabo un muestreo (censo) de la abundancia de

cualquier especie deberemos analizar con detenimiento las siguientes cuestiones:

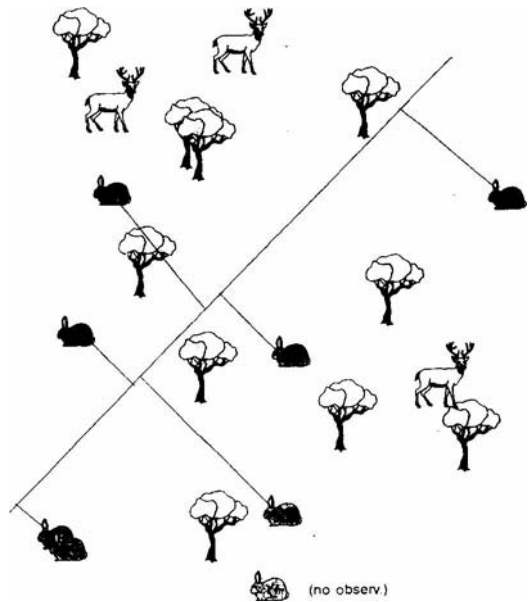
- 1.- ¿Queremos hacer una estima de la abundancia absoluta?
- 2.- ¿Queremos hacer una estima de la abundancia relativa?
- 2.1.- ¿Con índices directos de abundancia, censando los conejos o los ciervos directamente?
- 2.2.- ¿Con índices indirectos, mediante conteo de excrementos, conejeras activas, topilleras, etc.?

La aplicación de un tipo u otro de muestreo depende de los objetivos que se pretendan conseguir. Si se pretende un estudio detallado de los ciclos de biomasa y/o productividad primaria o secundaria, parece evidente que lo que nos interesa es acercarnos cuanto más posible a las estimas de densidades absolutas (p. ej. n° exacto de conejos en una superficie determinada, o el tamaño total de una población). Sin embargo, la ejecución de un muestreo - censo de este tipo requiere un gran esfuerzo de trabajo, tiempo y medios y no siempre es fácil de lograr. Como consecuencia de esto, la determinación de los tamaños poblacionales se realiza mediante muestreos y el tamaño poblacional se considera una estima del verdadero valor.

A continuación, se describen dos grandes grupos de técnicas de estimación de los tamaños

poblacionales. Cada grupo está compuesto por una amplia oferta de estimadores diferentes.

- 1) Estima de densidades cuando los animales no son capturados: p. ej. la estima por transectos.
- 2) Estima de densidades cuando los animales son capturados, marcados y liberados a continuación. Con este grupo entramos de lleno en el mundo de C. M. R. (Captura - Marcaje - Recaptura) y sus numerosas versiones.
  - Modelos basados en C. M. R.
  - Modelos basados en las frecuencias de captura.



## ESQUEMA DE UN TRANSECTO LINEAL

## 1.- Transectos lineales

### 1.1: Generalidades y ejemplos.

Se considera habitualmente un método de estima de densidades relativas, aunque puede aplicarse también en estimas de densidad absoluta.

Imaginemos un área a inventariar (Fig. 1a) en la cual es posible observar una nube de puntos negros que pueden ser los objetos a censar (p. ej. nidos, árboles, ciervos, conejos, etc.). En este área se pueden trazar uno o varios transectos según el esquema que se considere más apropiado para llevar a cabo un inventario riguroso (Fig. 1 c - h). Cada uno de los transectos establecidos consistiría en un itinerario (Fig. 1b) de longitud (L) determinada y una anchura (2W). Cuando un observador (o) recorre estos itinerarios o transectos, un objeto o animal (P) detectado puede ser referenciado, respecto al itinerario, en función de su distancia perpendicular (x) o de su distancia radial (r) y el ángulo que forma la recta que une el observador y el objeto con el itinerario (ángulo theta).

Los métodos de transectos lineales se pueden clasificar en dos grandes grupos: transectos o itinerarios con anchura indefinida y transectos de anchura definida (W). En este último caso, cuando la probabilidad de avistamiento decrece exponencialmente con la distancia al

itinerario, no son necesarias las estimaciones de los límites de visión y una buena aproximación a la estima real de densidad se puede hacer considerando el ancho de la banda del transecto como la distancia media de visión. La densidad se calcularía de la siguiente forma:

$$D = N^{\circ} \text{ de animales censados} / 2 L X$$

D: densidad

L: Longitud del transecto

X: Distancia media de visión u observación del animal respecto al itinerario (Fig. 2e).

En los transectos de anchura variable los problemas que se plantean y que intervienen con mayor peso en la robustez de las estimaciones son: la precisión en la detección de los animales sobre la banda central del transecto y la distancia de truncamiento (ancho de la franja). En la Fig. 2d parece fácil decidir que sea 3N la distancia efectiva de observación de esa especie en ese tipo concreto de hábitat que estamos inventariando. En otras ocasiones, por el contrario, el criterio de decisión no es tan claro y **se deben de seguir otros procedimientos más complejos**. Estos procedimientos se fundamentan en las propiedades de las funciones teóricas (Fig. 2d) que se deben de ajustar a los datos de campo. En las figuras 2a, 2b y 2c se han representado algunos ejemplos de

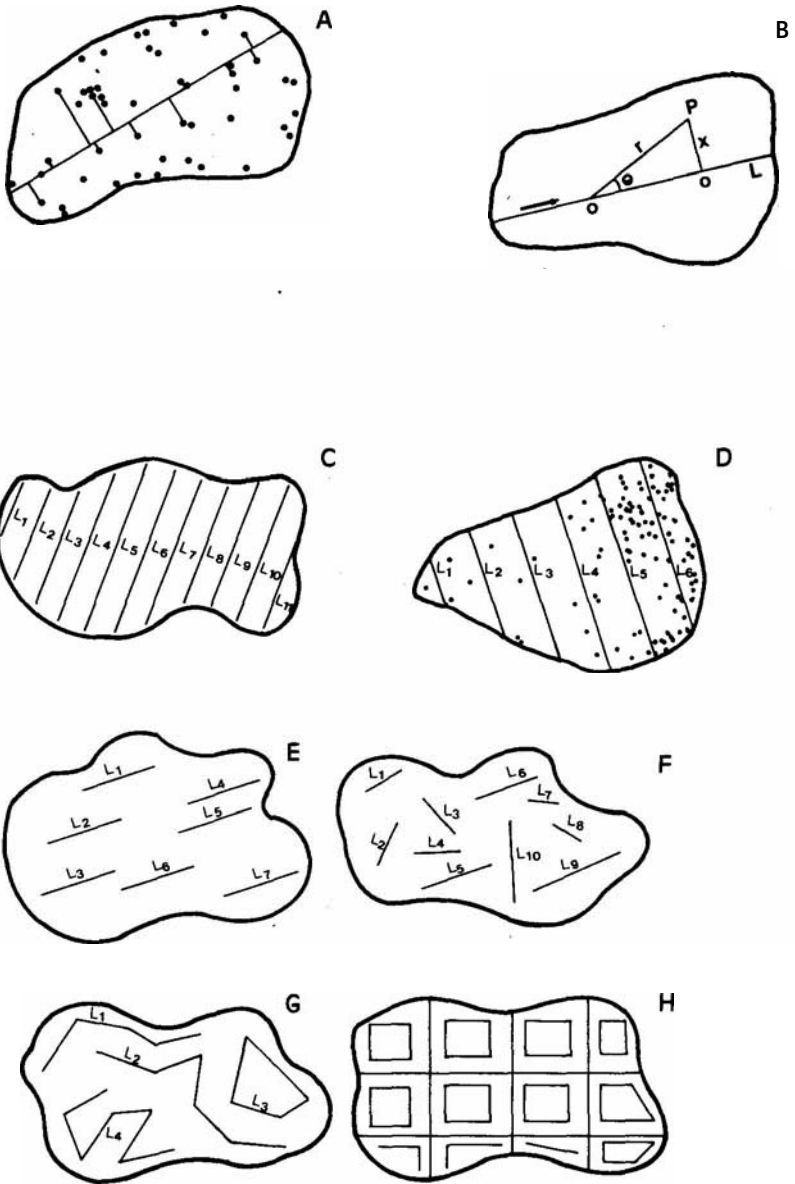


Fig. 1. a. Disposición de un transecto (línea continua) y de los objetos a censar (puntos negros). b. principales parámetros a considerar: L: longitud del transecto; o: observador; P: animal u objeto detectado; r: distancia radial desde el observador al animal;  $\theta$ : ángulo de detección del animal con el itinerario. c - h. diferentes esquemas de disposición y forma de los transectos (Burnham et al. 1980)

distribuciones de frecuencias de distancias perpendiculares de avistamiento de diversas especies (histogramas) y de funciones teóricas (líneas continuas). La primera conclusión que se puede inferir de estas figuras es la amplia gama, tanto de distribuciones de frecuencias de distancias observadas como de funciones teóricas (Fig. 2d). También, es posible obtener buenas informaciones observando las curvas de detección. Así, en la Fig. 2c, la especie censada tiene claro comportamiento evasivo respecto al observador y/o itinerario. La marcada

disminución de frecuencias observadas a distancias próximas al itinerario es buena evidencia de ello.

Los cálculos de los ajustes de los datos a las funciones teóricas son tediosos y con frecuencia complejos por lo que actualmente hay disponibles paquetes de programas específicamente diseñados para ello. Una lista de las revisiones y del software disponible se puede encontrar en la bibliografía. Esta lista abarca un amplio espectro metodológico.

A continuación se expone un pequeño resumen ilustrado del

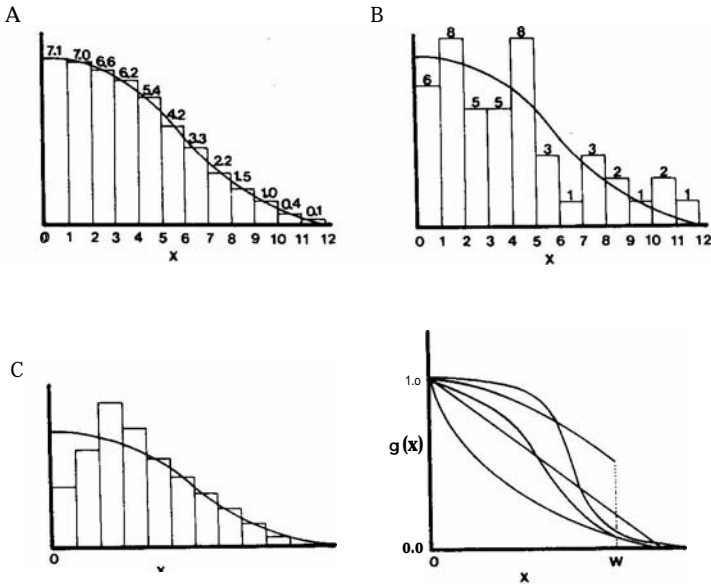


Figura 2. a. Ejemplo de distribución de frecuencias de las distancias perpendiculares (x) del objeto al itinerario. En línea continua se han representado las funciones teóricas. b. Con ajuste gráfico de la función teórica más deficiente. c. La especie censada tiene un comportamiento evasivo respecto al observador o itinerario (marcada disminución de las frecuencias de observación de animales próximo al itinerario). d. Representación de varias curvas de detección, w: distancia de truncamiento.

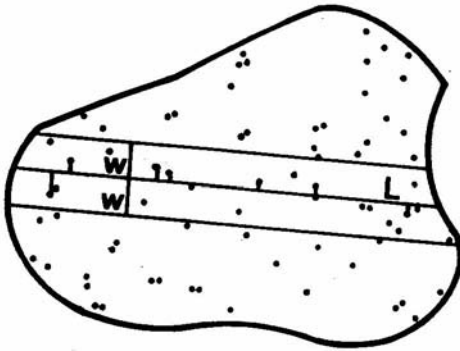


Figura 2e. Transecto de anchura fija ( $w$ ). Cuando la probabilidad de visión decrece exponencialmente con la distancia al itinerario no son necesarias las estimas de los límites de detección. La densidad se calcula según la fórmula  $D = n^{\circ} / 2LXD$  (ver texto)

proceso de análisis automático de unos datos de censos mediante transectos lineales. En la Tabla 1 se han resumido los datos de las frecuencias observadas ( $n_x$ ) en función de las distancias perpendiculares de avistamiento ( $x$ ) y tomadas en el campo de acuerdo con el impreso del Apéndice 1. Cuando representamos gráficamente los datos de la tabla anterior (Figura 3a y 3b) se observa una distribución característica con alternancias de distancias con grandes y pequeñas frecuencias (Fig. 3a). Cuando se amplía el intervalo de distancias se consigue un suavizamiento de la distribución (Fig. 3b). En la Tabla 2 se ha recogido el efecto de la ampliación de las marcas de clase (reduciendo su

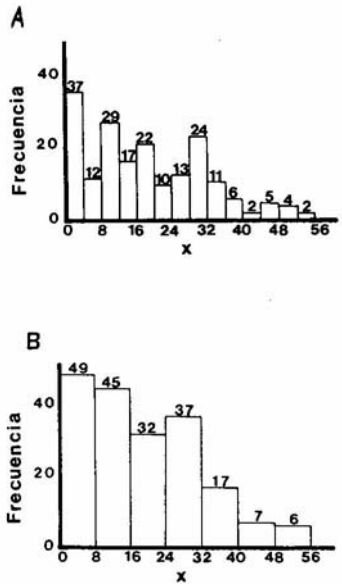


Figura 3. Histograma de frecuencia de los datos de la tabla 1. Observar el suavizamiento de las distribuciones al ampliar los intervalos de clase (Burnham et al. 1980)

número de 14 a 7) sobre la bondad del ajuste ( $X_2$ ). Este es un claro ejemplo de cómo por suavizamiento de la distribución se pueden mejorar los ajustes a las funciones teóricas. En este caso ha sido a la serie de Fourier. Cuando se ajusta a la distribución Theta se observa que el ajuste es muy inferior (Tabla 3). En las Figuras 4a y 4b se ha representado gráficamente el ajuste a dos distribuciones teóricas (Triangular y Gamma). Se puede observar que, tanto gráficamente como estadísticamente, el mejor ajuste corresponde a la serie de Fourier y a la función gamma. La

TABLA 1

Ejemplo de datos tabulados procedentes de un transecto. x: marcas de clases de las distancias perpendiculares de los animales al transecto. n frecuencia de ocurrencia (n° de animales observados a esa distancia del transecto).

x	n	x	n,
0	33	24	2
3	3	25	8
<b>4</b>	1	27	30
5	<b>4</b>	30	22
<b>6</b>	3	32	2
7	2	33	2
8	3	35	<b>5</b>
<b>9</b>	2	36	<b>4</b>
10	17	38	1
11	1	40	5
12	8	42	2
14	2	45	1
15	14	47	2
16	1	<b>48</b>	2
17	1	50	3
18	10	52	1
20	11	54	2
21	4	<b>66</b>	2
22	3	90	1
23	1	100	1

TABLA 2

Ajuste de la Tabla 1 al modelo de la serie de Fourier ( $F(x) = 1/w + a \cos(\pi x/w)$ ). Se puede observar el efecto de la agrupación de las marcas de clase sobre la bondad de los ajustes. a: parámetro a estimar x: distancia perpendicular de observación. O: Frecuencias observadas. E: Esperadas. X': Chi cuadrado

i	0	E	$\chi^2$
i--- 0-4	37	25.2	5.583
2 4-8	12	<b>24.6</b>	6.439
3 8-12	28	23.5	0.875
4 12-16	17	21.9	1.086
5 16-20	22	<b>19.9</b>	0.228
<b>6</b> 20-24	10	17.6	3.257
7 24-28	13	15.1	0.283
8 28-32	24	12.5	10.57
9 32-36	11	10.0	0.098
10 36-40	<b>6</b>	7.7	0.376
11 40-44	2	5.7	2.401
12 44-48	5	4.1	0.197
13 48-52	4	3.0	0.341
14 52-56	2	2.4	0.073
w= 56; K= 14			$\chi^2 = 31.801$
i---			
0 8	49	49.9	0.016
<b>2 8-16</b>	45	45.5	0.005
3 16-24	32	37.5	0.809
<b>4 24-32</b>	37	27.6	3.224
5 32-40	17	17.6	0.023
<b>6 40-48</b>	7	9.7	0.734
<b>7 48-56</b>	6	5.2	0.110
w = 56			$\chi^2 = 4.922$



TABLA 3

Ejemplo de bondad de ajuste de los datos de la Tabla 1 a la distribución Theta.

Límite	Esperadas	Observadas
5	18.8	56
10	18.7	56
15	18.4	24
20	18.0	25
25	17.4	24
30	16.7	20
35	15.9	4
40	<b>14.9</b>	5
45	13.9	16
50	12.7	1
55	11.5	4
60	10.1	4
65	8.7	2
70	7.2	0
75	5.7	0
80	4.1	0
90	3.3	0

$\chi^2 = 149.7$ , con 15 grados de libertad

TABLA 4

Densidades estimadas por 18 métodos diferentes a partir de los datos de un transecto en el cual se talaron para cada animal avistado la distancia perpendicular (x) al itinerario, la distancia radial (r) y el ángulo. Salida impresa de 6INB\*FRAN (Cates 1979).

ESTIMADOR	DISTANCIA X o R	AGRUPADA O NO/AGRUPADA	FRECUENCIA	DENSIDAD /Km**2 o Mi**2	VARIANZA DE DENSIDAD MEDIA	INTERVALOS INFERIOR	CONFIANZA 95% SUPERIOR
EXPONENTIAL, GAMMA DISTR. W/ A = 1	X	NOAGRUPADOS	216.	1536.	0.1164E+05	1237.	1836.
GEOMETRIC	R	NOAGRUPADOS	216.	627.9	1929.	505.8	750.0
HEMIMWAY NORMAL	X	NOAGRUPADOS	216.	858.0	9746.	583.6	1132.
QUADRATIC NONPARAMETRIC	X	NOAGRUPADOS	216.	758.7	0.1270E+05	445.4	1072.
TRIANGULAR	X	NOAGRUPADOS	216.	971.3	0.1120E+05	677.1	1266.
GENERALIZED EXPONENTIAL	X	NOAGRUPADOS	216.	1319.	0.1401E+05	989.6	1648.
MODIFIED HAYNE	R	NOAGRUPADOS	216.	1117.	5677.	907.5	1326.
EXPONENTIAL, GAMA DISTR. W/ A = 2	R	NOAGRUPADOS	216.	960.9	4442.	775.6	1146.
HAYNE CONSTANT RADIUS	R	NOAGRUPADOS	216.	893.3	5652.	684.3	1102.
SPLINED	X	NOAGRUPADOS	216.	874.0	8398.	619.3	1129.
POLYNOMIAL NONPARAMETRIC	X	NOAGRUPADOS	216.	904.5	5153.	704.9	1104.
FOURIER SERIES	X	NOAGRUPADOS	216.	1193.	8050.	943.9	1443.
KELKER INDEX	X	AGRUPADOS	216.	1002.	8164.	750.7	1253.
POLYNOMIAL NONPARAMETRIC	X	AGRUPADOS	216.	1148.	8646.	889.4	1406.
EBERHARDT-COX NON-PARAMETRIC	X	AGRUPADOS	216.	1319.	0.1389E+05	990.9	1646.
QUADRATIC NONPARAMETRIC	X	AGRUPADOS	216.	576.1	6081.	359.3	792.9
SPLINED	X	AGRUPADOS	216.	1002.	8164.	750.7	1253.
TRIANGULAR	X	AGRUPADOS	216.	657.5	0.1025E+05	376.0	938.9

bondad del ajuste es también de gran valor en cuanto que es un criterio relevante a la hora de seleccionar la función a partir de la cual se van a estimar las frecuencias en la banda central ( $f(O)$ ), las distancias de truncamiento y las varianzas.

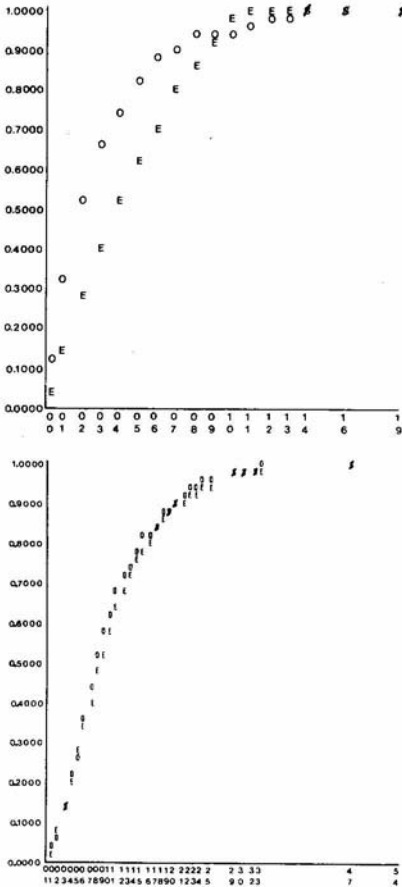


Figura 4. Ejemplos de bondad de ajuste de dos funciones diferentes a un mismo paquete de datos. a. distribución Triangular; b. distribución Gamma; O: valores observados; E: esperados (Burnham et al. 1980)

## 1. 2.- Librerías y programas para el análisis automático de los datos de censos mediante transectos.

Anteriormente se hacía referencia a la disponibilidad de paquetes de software específicamente diseñados para analizar datos procedentes de transectos.

Los paquetes más relevantes son Linetran (Gates 1979) y TRANSECT (Burnham et al 1980) y su versión actualizada DISTANCE. Las funciones teóricas que se pueden ajustar son tanto para distancias perpendiculares (p. ej. Half Normal, Triangular, Gamma, Generalized Exponential, etc.), como para distancias radiales y ángulos de visión (Gamma para  $\alpha = 2$ , Gamma generalized). Entre ambos paquetes, el número de estimadores que se pueden calcular (tanto paramétricos como no paramétricos) supera la veintena (ver Tabla 4 para un ejemplo de la salida impresa de LINETRAN).

Por estos procedimientos automáticos se calcula la amplia gama de estimadores (previo ajuste a las funciones teóricas) y es el propio interesado quien debe seleccionar el mejor estimador.

## 1.3.- Criterios de selección del mejor estimador.

Este es sin duda uno de los puntos más complejos a la hora de tomar una decisión, ya que las

diversas especies, hábitats y situaciones en que se llevan a cabo los censos mediante transectos son tan amplios que el software debe de considerar el espectro más amplio de posibilidades de análisis.

De forma general, un estimador es mejor cuanto más robusto. El concepto de robustez abarca tanto a su buena estima respecto a las suposiciones que debe de cumplir el modelo teórico, como a su buena estima respecto a la capacidad de estratificación (p. ej. respecto a edades, subtransectos, sexos, etc.). Otro criterio que debe de satisfacer es el de la forma de la curva de detección (es conveniente que la probabilidad de  $f(0)$  sea igual a 1). Otro criterio a considerar, aunque de menor trascendencia que los anteriores, es elegir el estimador de menor varianza (este criterio no siempre es correcto y debe de aplicarse a continuación de los tres anteriores). Finalmente se debe de elegir el o los estimadores que analicen los truncamientos y tengan buenos ajustes a las distribuciones teóricas.

De los criterios antes mencionados, el orden de prioridad debe ser el siguiente:

- 1) robustez respecto a la función modelo
- 2) robustez respecto a la estratificación.
- 3) forma de la curva de detección.

4) varianza de los estimadores.

5) truncamiento de los datos

6) suavizamiento de las curvas de detección por agrupamiento y bondad de los ajustes.

En el caso particular de los conejos y ciervos el estimador que habitualmente mejor se ajusta a estos datos es el de las series de Fourier. Este estimador es fácil de calcular y hace buenas estimas para pequeñas muestras. Es robusto para los criterios 1, 2 y 3 del párrafo anterior y es recomendable para datos agrupados y distancias perpendiculares. Otro estimador, paramétrico, basado en la función exponencial generalizada, también da buenas estimas y es razonablemente robusto.

Independientemente de los estimadores, es recomendable que el mínimo número de animales avistados en un transecto sea de 60. Este tamaño de muestra permite un mejor ajuste y por lo tanto unas estimas aceptablemente más robustas.

#### 1.4.- Decálogo para efectuar un censo mediante transectos

- 1.- El itinerario debe ser lo más recto y claramente delimitado posible, de tal forma que el observador pueda, en todo momento y eficazmente, referenciar su situación.
- 2.- Se debe tener mucho cuidado en asegurarse que los animales, situados

dentro de la franja central del itinerario sean todos avistados, Es decir que la probabilidad de avistamiento de un animal en la franja central sea 1.

3.- La anchura del transecto debe de ser suficientemente grande o incluso sin delimitación previa. Los datos de detección lejanos se podrían omitir posteriormente, durante el proceso de análisis, mediante criterios de truncamiento.

4.- Todas las medidas de distancias y ángulos deben ser estimadas con la mayor precisión posible. El embalzamiento con cintas o marcas de unas franjas paralelas a la franja central suele dar buenos resultados. Las medidas poco precisas pueden dar lugar a pobres estimas de densidad y varianza.

5.- Se deberán tomar, siempre que sea posible, las tres medidas (distancia perpendicular (x), distancia radial (r) y ángulo de avistamiento (Theta).

6.- Las medidas se deben de tomar separadamente para cada segmento del transecto o replicación.

7.- Es apropiado establecer la precisión de D (densidad) en términos de su coeficiente de variación. Como mínimo imprescindible, los estudios se

deberán de diseñar de tal forma que al menos 40 animales sean avistados. Siempre que sea posible es preferible diseñar la longitud del transecto de tal forma que se permitan localizar entre 60 y 80 animales

8.- Es aconsejable un muestreo previo que ayude a planificar el diseño de estima aunque frecuentemente una breve visita al área que se va a estudiar junto con una buena información sobre el animal, su comportamiento y hábitat pueden ser suficientes para diseñar un muestreo de estima de densidad adecuado.

9.- El estudio debe diseñarse de tal forma que la población en estudio no esté asociada a la línea del transecto, es decir evitar la asociación de los animales con determinadas situaciones o carreteras muy circunscritas, con bebederos, etc.).

10.- los transectos se deberán de llevar a cabo por personal competente y cualificado, interesado en el tema y particularmente adiestrado. Este aspecto es de particular relevancia y afecta en gran medida a los puntos 1, 2 y 4.

## **2.- Estimaciones por captura - marcaje - recaptura (C. M. R.).**

### **2.1.- Generalidades**

Todos los experimentos de captura - marcaje - recaptura tienen el

mismo formato básico. Una serie (muestra) de animales son capturados, se marcan y se sueltan. Las propiedades de la muestra identificada se emplearán para estimar las propiedades de la población total.

Esta técnica permite investigar una o más de las siguientes propiedades:

- 1.- Movimientos de los animales.
- 2.- Tasa de crecimiento poblacional.
- 3.- Tasa de fecundidad específica de la edad.
- 4.- Tasa de mortalidad específica de la edad
- 5.- Tamaño de las poblaciones.
- 6.- Tasa de nacimientos e inmigración.
- 7.- Tasa de muertes y emigración
- 8.- Tasa de explotación.
- 9.- Tasa de incremento poblacional.

En nuestro caso concreto nos restringiremos al punto 5, aunque cuando iremos viendo, cuando estratifiquemos los datos para su análisis, con frecuencia se inferirán resultados correspondientes a los otros puntos.

### 2. 2.- Métodos de captura.

Antes de entrar en los diferentes tipos de estimadores, vamos a citar algunos métodos utilizados por nosotros. Según sea la especie elegida, así deberemos de adaptar nuestras técnicas de captura. (Para el caso de los Cérvidos ver Braza et al. 1994).

- a.- Trampas de vivo (cajas trampa)
- b.- Lazos
- c.- Redes y hurones.
- d.- Cepos con los aros protegidos
- e.- Trampas especiales: cercados de única entrada, cercados de redes abatibles, capturaderos, etc.
- f.- Teleanestésicos

Una vez que los animales han sido capturados hay que marcarlos, para poder identificarlos posteriormente. Las marcas comerciales de plástico (crotales) en las orejas son las que se emplean habitualmente en estos casos, aunque cada día que pasa es más frecuente la incorporación de nuevos sistemas (microtatuajes, microchips subcutáneos, radio-emisores, etc.).

### 2. 3- El calendario de capturas (C C).

Una complicación adicional que no presentaban los transectos es todo el trabajo de control y actualización que las recapturas sucesivas conlleva.

El calendario de capturas (ver **Tablas 5 a 7**) es un método desarrollado para ayudarnos en esta tarea, ya que es una forma gráfica y eficiente de tener un riguroso control de los animales (individuos) con los que estamos trabajando.

La versatilidad del calendario de capturas queda recogida en los siguientes ejemplos:

TABLA 5

Calendario de capturas de los conejos marcados y recapturados en la Sierra de Cazorles durante los años 1976 y 1977.

AÑO	MARCAS	1												2											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	N 1058	1				1																			
2	N 1100	1		1				1																	
4	N 975	1						1			1														
7	N 990	1						1																	
9	N 1150	1											1												
10	N 950	1											1												
12	N 1000	1		1		1																			
13	N 1025	1		1		1							1											1	
14	N 1225	1		1																					
15	N 1100	1																							
16	N 1150	1		1		1		1																	
19	N 1000	1				1			1																
26	N 1000	1				1																			
27	N 1000	1				1																			
28	N 1050	1											1												
29	N 975	1				1																			
32	N 1100	1						1																	
33	N 950	1		1																					
35	N 1025	1		1																					
36	N 1170	1		1		1								1											
37	N 1200	1		1		1								1											
38	N 1025	1		1																					
41	N 1000	1				1																			
42	N 1100	1				1								1											
43	N 1050	1				1																			
50	N 1000	1				1																			
51	N 1200	1				1																			
54	N 354	1																							
66	N 900	1																							
81	N 1300	1																							
104	N 975	1																							
106	N 550	1																							
108	N 1100	1																							
128	N 400	1				1								1											
142	N 710	2																							
153	N 1090	1				1		1																	
154	N 600	1				1		1																	
155	N 252	1				1		1																	
167	N 155	1																							
179	N 415	1				1																			
190	N 1145	1																							
203	N 355	1				1		1																	
204	N 1325	1				1		1																	
205	N 1050	1				1		1																	
211	N 375	1																							
213	N 1095	1																							
253	N 830	1				1								1											
262	N 740	2																							
272	N 1100	1																							
280	N 775	2																							
287	N 880	1																							
315	N 840	1																							
323	N 1180	1																							
340	N 1200	2																							
348	N 1140	1																							
360	N 1195	1																							
389	N 950	1																							
407	N 960	1																							
409	N 310	1																							
411	N 1090	1																							
420	N 730	1																							
425	N 1070	1																							
426	N 950	1																							
428	N 1170	1																							
441	N 770	2																							
469	N 900	2																							
486	N 900	1																							
586	N 1075	1																							
CAPTURAS		1	3	22	3	16	18	14	1	14	0	9	1	0	8	3	14	2	5	4	7	2	4	0	4
MORDE		1	1	0	0	0	12	14	13	15	10	11	0	0	0	7	10	7	7	7	5	3	4	2	2
MORDEA		1	7	17	20	24	29	26	24	25	19	20	19	19	19	17	19	15	15	11	9	4	2	2	
TOTAL		1	3	25	28	34	41	40	37	40	29	31	27	27	24	29	22	22	18	14	9	0	4	4	
MORDE		1	3	22	3	18	3	0	4	0	2	0	1	2	0	7	1	1	1	0	1	0	0	0	
DESAPARECIDOS		0	0	0	3	4	3	1	11	0	4	1	2	3	2	0	1	5	5	2	4	0	0	4	

EN ESTE CASO PARTICULAR EL TIEMPO TOTAL ES DE DOS AÑOS, SIENDO CADA UNO DE LOS PERÍODOS DE OCHO ESTOS DIVIDIDA LA TABLA DE UN MES. LA FORMA DE CONTENIDO DE LA TABLA ES 1-1-76

TABLA 6

Calendario de Capturas del Peso (gr) en una población de topillos (*Pitymys duodecimcostatus*) de las Sierras de Cazorra y Segura en los años 1984, 1985 y 1986.

		SEPT 1984			DICIEMBRE 1984				NOV 1985			MARZO 1986						
MARCA SEXO		20	21	22	13	14	15	16	17	18	07	08	09	11	13	14	21	22
1	H			26.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	H			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	M	23.2		--	--	--				20.8	--	--	--	--	--	22.8	--	21.
4	M	25.4	--	25.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	H	19.9		--	--	--	--	--	19.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	M	--		22.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	H	--	9.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	M	--	10.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	H	--	20.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10	H	--	12.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11	M	--	13.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	H	--	--	--	21.724	524.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	M	--	--	17.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	H	--	--	20.120.2	21.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	M	--	--	--	18.9	18.9	--	--	--	20.421.021.0	--	--	--	--	--	--	--	--
16	H	--	--	--	20.5	--	--	20.0	--	20.0	--	--	--	--	--	--	--	--
17	M	--	--	--	23.0	--	21.0	--	--	19.5	--	--	--	20.020.	--	--	--	--
18	M	--	--	--	--	--	24.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
19	H	--	--	--	16.0	--	15.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20	M	--	--	--	16.0	--	16.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TABLA 7

Permanencia de los animales en las topilleras. Estratificación de los datos por el calendario de capturas.

		FECHAS DE CAPTURA						
MARCA	SEXO	09-84	12-84	11-85	03-86	04-86	07-86	
3	M	1	Q	Qi	Qe	Qi-C	Qi-W	
4	M	5	--	--	--	--	--	
5	H	5	I	--	--	--	--	
6	M	1	F	--	--	--	--	
7	H	4	-	--	--	--	--	
12	H	--	A	--	--	--	--	
13	M	--	B	--	--	--	--	
14	H	--	B	--	--	--	--	
15	M	--	A	B	--	--	--	
16	H	--	B	Al	--	--	--	
17	M	--	B	E	Je	7C-c	--	
21	H	--	I	E	--	--	--	
22	H	--	L	--	--	--	--	
27	H	--	R	7C	--	--	--	
28	H	--	J	--	--	--	--	
29	M	--	K	--	--	--	--	
30	H	--	Q	--	--	--	--	
31	H	--	X	Ke	Ki	Ki-W	B-S	
32	H	--	-	B	--	Ki-W	--	
33	M	--	-	E	E	E-NE	E-NE	

#### 2.4.- Algunos ejemplos de estimadores empleados en los modelos de captura y recaptura.

El estimador más simple es el Mínimo Número de animales capturados vivos. Es un estimador muy conservador y tiende a subestimar el tamaño poblacional.

Otro estimador es el Mínimo Número de animales, vivos en la población de estudio en un momento determinado. Este estimador incluye la estima anterior. Considera los animales capturados en esa ocasión más los presentes en el área aunque no hayan sido capturados (p. ej. marcados en ocasiones anteriores, capturados en ocasiones posteriores pero no en la ocasión en que se lleva a cabo la estima.

El siguiente grupo de estimadores que se va a describir se basa en la estima del tamaño poblacional a partir de una o varias muestras. Partiendo del caso más simple (Estima por el método de Petersen) seguiremos con una serie de estimadores de cálculo más complejo

##### 2.4.1- Método de Petersen.-

Es el estimador más simple. Se capturan  $U$  conejos en una primera muestra, se marcan y se sueltan, se espera un tiempo hasta que se redistribuyan de nuevo y se vuelve a tomar una segunda muestra. En esta muestra habrá  $m$  conejos marcados

de los  $n$  que se capturaron en total. Aplicando el primer axioma de la teoría de muestreo (la proporción de hechos en una población que tiene unas ciertas características puede ser estimada de la proporción de ésta en una muestra de la población) parece lógico entonces que:

$$M/N = m/n \quad \text{donde}$$

$M$ : animales marcados)

$N$ : tamaño global

$m$ : capturados marcados la 2° vez

$n$ : total capturados la 2° vez

$$\text{por lo tanto } N = M \cdot n / m$$

Este estimador se puede considerar como el pilar básico a partir del cual se han ido describiendo una amplia gama de estimadores.

##### 2.4.2: Método de Bailey.

Basado en el de Petersen tiene ciertas ventajas sobre el anterior, por la posibilidad que brinda hacer las estimas decidiendo si el  $n^\circ$  de recapturas se considera antes o después del muestreo.

$N = M (n+1) / m+1$  ; cuando el  $n^\circ$  de recapturas se decide antes del muestreo.

$N = n (M+1) / m+1$  ; cuando el  $n^\circ$  de recapturas se decide después del muestreo.



**Ejemplo:** En una población de tamaño desconocido, en un primer muestreo se marcan 40 conejos. Una semana después se hace un nuevo muestreo y se capturan 185, de ellos 30 estaban marcados de la vez anterior.

$$M=40, m=30, n=185, N=?.$$

$$N = n(M+1) / m+1 = 185 \times 41 / 31 = 245 \text{ conejos}$$

$$E. S. (N) = \text{SQRT} ((M-m+1)(N+1)(N-M) / m(m+2)) =$$

$$\text{SQRT} ((40-30+1) (246 \times 205 / 30 \times 32)) = 22$$

$$N \pm E.S = 245 \pm 22 \text{ conejos}$$

#### 2.4.3.- Método de Schumacher.

Se aplica cuando en vez de un muestreo se llevan a cabo varios. Se van marcando y recapturando progresivamente .

$$N = E M_i n_i / E M_i m_i$$

#### 2.4.4.- Método de triple captura de Bailey.

**Ejemplo**

Ocasión	N° marcados	N° examinados	N° recapt de Mo	N° recapt de M <sub>1</sub>
0	M <sub>0</sub> = 600	-	-	
1	M <sub>1</sub> = 518	n <sub>1</sub> = 700	mo <sub>1</sub> = 182	
2	-	n <sub>2</sub> = 700	mol = 146	m <sub>12</sub> = 158

$$N_1 = (M_1(N_1 + 1) m_0 2) / ((m_0 1 + 1) (m_{12} + 1)) = (518 \times 701 \times 146) / (183 \times 159) = 1.822.$$

$$S.E. = \text{SQRT} (N_1^2 - (M_1^2 (n_1 + 1) (n_1 + 2) (m_0 2 - 1) m_0 2) / ((m_{01} + 1) (m_{01} + 2) (m_{12} + 1) (m_{12} + 2)))$$

$$S.E. = \text{SQRT} (1822^2 - (518^2 \times 701 \times 702 \times 145 \times 146) / (183 \times 184 \times 159 \times 160)) = 238$$

$$N \pm E.S = 1.822 \pm 238 \text{ conejos}$$

#### 2.4.5.- Método de Jolly - Seber

Cuando los animales marcados son recapturados en dos o más ocasiones se puede aplicar el modelo estocástico de Jolly- Seber.

La notación y su significado es la siguiente:

N<sub>i</sub> = Tamaño poblacional estimado.

n<sub>i</sub> = Tamaño de la muestra.

M<sub>i</sub> = n° de animales marcados en la ocasión precedente a la i<sup>th</sup>.

m<sub>l</sub> = n° de animales marcados en la muestra.

R<sub>1</sub> = n° de animales marcados y soltados.

r<sub>i</sub> = n° de animales de R soltados que son recapturados a continuación.

ZI = n° de animales marcados antes de la ocasión ith que no eran recapturados en la ith pero fueron recapturados posteriormente.

al = proporción de marcados en la población en la muestra ith. El proceso de análisis es el siguiente:

Capt ni	Suelta Ri	I transcurrido desde la captura anterior					
9	9	1					
13	12	5	2				
14	14	2	7	5			
8	7	0	2	1	4		
18	16	1	2	3	1	5	
14	14	0	1	2	1	2	0

El cálculo de ZI sería:

( <sup>m</sup> i)	1						
	5	2					
	2	9					
	0	2	3	4			
	1	3	6	7	5		
	0	1	3	4	6	fi	
Z <sub>i+1</sub>	=3	6	9	4	.	.	
		Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>		

y de los N, sería:

$$N_1 = n_i + (n_i \times Z_i \times R_i) / (m_i \times r_i)$$

$$N_2 = 134 - (13 \times 3 \times 12) / (5 \times 12) = 20,8$$

$$N_3 = 14 + (14 \times 6 \times 14) / (9 \times 6) = 35,8$$

$$S.E. = \sqrt{Ni(Ni - ni) \times ((Mi - mi + R_i) / (1 - R_i)) / M_i + ((1 - ai) / mi)}$$

en donde,

$$al = mi / ni$$

p. ej a<sub>4</sub> = 0,375

$$Mi = mi + (Z_i \cdot R_i / r_i)$$

p. ej M<sub>4</sub> = 34,5

$$S.E._4 = \sqrt{92(92-8)((34,53+7) / 34,5) (1/2 - 1/7) + ((10,375/3))} = 55,50$$

La Tabla 8 recoge un ejemplo de salida impresa de las estimas de una población de topillos mediterráneos en 27 ocasiones diferentes.

## 2. 5.- Métodos basados en las frecuencias de capturas

Los modelos sobre los que se han basado los estimadores anteriores se puede decir que requieren ajustarse a determinadas suposiciones. Las violaciones de estas suposiciones son del tipo:

- Todos los animales tienen la misma probabilidad de ser capturados.
- La población es cerrada.
- No hay pérdida de marcas, etc

Con el fin de intentar obviar estas restricciones han surgido una serie de estimadores basados en las frecuencias de captura. Los análisis de frecuencia de captura operan sobre el n° de animales capturados 1,2,3....n veces en las diversas ocasiones de captura. Estos datos forman una distribución de frecuencias truncadas a cero. La frecuencia de la clase cero representa el n° de animales en la población que no han sido capturados.

El tamaño poblacional es estimado entonces como el n° de

TABLA 8

Estimas del **tamaño poblacional** de las **poblaciones** de topillos de las Sierras de **Cazorla y Segura**. Ejemplo de la **aplicación** del **Metodo de Jolly-Seber** a una población sometida a frecuentes procesos de **captura marcaje y recaptura**.

OCAS. III	PROPORCIÓN MARCADOS		TOTAL MARCADOS (NI)	NOIHERO TOTAL (PEII)	PROBABILIDAD DE SUPERVIVENCIA	AÑO	MES	DIA	
	I	II							
1		0.00		1.0000	1984	SBP		20	
2	0.3846	7.00	18.20	1.0118				21	
3	0.6667	15.18	22.76	0.9444				22	
4	0.2857	20.00	70.00	1.0627				DIC	13
5	0.7368	31.88	43.27	1.0608					14
6	0.8261	39.13	47.36	0.8169					15
7	0.7647	35.23	46.07	0.9941					16
8	0.7500	39.00	52.00	1.0617				17	
9	0.5000	47.47	84.93	1.0817	18				
10	0.6154	60.00	97.50	1.4846	1985	NOV	07		
11	0.3600	96.50	268.06	0.0000			08		
12	0.0000	0.00	0.00	5.7500			09		
13	0.1667	23.00	138.00	2.1429			11		
14	0.5714	60.00	105.00	0.8942	13				
15	0.7143	56.33	78.87	0.4286	14				
16	0.5000	25.00	50.00	1.3385	1986	MAR	21		
17	0.5714	34.80	60.90	0.8730			22		
18	0.7500	33.00	44.00	1.0732			23		
19	0.5789	38.64	66.74	1.0435			27		
20	0.8750	48.67	55.62	1.1349	ABR	29			
21	0.9231	57.50	62.29	0.2906		30			
22	0.2500	17.00	68.00	0.5000		31			
23	0.6667	10.00	15.00	1.1538		JUL	10		
24	1.0000	15.00	15.00	1.0000	11				
25	0.6429	15.00	23.33	0.5833	12				
26	0.7273	11.67	16.04		13				
27	1.0000				14				

animales que han sido capturados al menos una vez, más el n° de ellos que no han sido nunca capturados.

A continuación, haremos una breve descripción y veremos algunos ejemplos de las distribuciones de frecuencia truncadas a cero de Poisson, Binomial Negativa y Geométrica. El primer paso consiste en calcular la tabla de frecuencias de captura de cada individuo y el número de individuos que han sido capturados en 1,2,3....n ocasiones (Tabla 9). El paso siguiente es el cálculo de los parámetros de las distribuciones teóricas ( $x, s^2$ , etc.) para pasar a continuación al cálculo de las frecuencias esperadas (Tabla 10) y al análisis de los ajustes. Una vez seleccionada la distribución/es teórica que mejor se ajusta, se calcula la frecuencia esperada para el número de recapturas igual a cero y se suma al número de individuos diferentes capturados al menos en una ocasión.

No entraremos en más detalle en el análisis de las estimas debido a la gran complejidad de los cálculos que son necesarios para conocer los parámetros intermedios. Como ejemplo, el cálculo de la media de la distribución binomial negativa nos llevaría muchas páginas. Otro tanto sucede con los cálculos de las frecuencias observadas. Para ahorrar tiempo existen programas de ordenador que hacen estos cálculos en fracciones de segundo.

## **2. 6.- Libros y programas para el análisis de datos procedentes de estudios de captura - marcaje y recaptura.**

Dentro de este amplio campo se van a separar aquellos paquetes cuyas suposiciones teóricas se fundamenten en que las poblaciones sean cerradas, p. ej. Programa CAPTURE (White et al 1982) y aquellos que disponen de procedimientos para analizar poblaciones abiertas p. ej. POPAN-3 (Arnasonn y Baniuk 1986), Dynapop (Giles y Lawrence 1976), TABLA (Soriguer et al 1981).

Al igual que en el caso de los transectos, los estimadores de los tamaños poblacionales mediante muestras de C. M. R. deben de ajustarse a unas suposiciones teóricas. El espectro de estimadores disponible abarca una amplia gama de posibilidades (p. ej. Tabla 11) y cada uno de ellos responde, ante un mismo paquete de datos, de forma diferente. Así, hay estimadores que son más sensibles que otros a las entradas y salidas de animales en la población, otros lo son a los cambios en la probabilidad de captura entre ocasiones de muestreo (efecto del comportamiento del animal), etc. Por ello, en aquellos estudios en los que la estima poblacional requiera de una cierta precisión es conveniente que se diseñe un procedimiento de muestreo apropiado, de forma, se



TABLA 10

Números de Capturas, n° de individuos que se han capturado veces y frecuencias esperadas y estimadas a partir de las distribuciones teóricas de Poisson, Binomial Negativa y Geométrica. En la parte inferior de la tabla se puede observar la bondad de los ajustes ( $\chi^2$  y las estimas IN). Salida impresa según Caughley (1978).

N° capt	N° ind	Poisson	Bin Neg	Geomet
i	f <sub>i</sub>	R(f <sub>i</sub> )	R(f <sub>i</sub> )	R(f <sub>i</sub> )
1	13	8.180	5.191	11.017
2	6	8.150	2.244	6.349
3	2	5.413	1.186	3.659
4	2	2.697	0.684	2.108
5	1	1.075	0.414	1.215
6	0	0.357	0.259	0.700
7	1	0.102	0.165	0.403
8	0	0.025	0.107	0.233
9	1	0.006	0.071	0.134
10	0	0.001	0.047	0.077
+10	0	0.000	0.095	0.106
	$\chi^2$	5.687	24.007	1.128
	g.l.	2	1	2
	P	0.06	0.001	0.5
	Estima	30	117	45

TABLA 11

Estima del tamaño poblacional de una población rural de *Mus musculus* por 11 estimadores diferentes. N = tamaño estimado de la población. E.S. = error estandard del estimador. IC = intervalo de confianza. Según Sorriquer y López 1985.

Método	N	ES	IC	Otros Parámetros
Calend. Capturas	51	-	-	Estima al 3° día
Mét. Seierstad	51	-	-	P=0.567; est. Global
* Petersen	51	0.01	-	Estima del 2° día
Schnable-Eschmey	51	-	51-52	Estima global
Mét. Jolly-Seber	53	2	-	Estima del 3° día
Método Bell	165	-	-	A=48; n=2; 3° día
Bin. Neg. Trunc	51	-	-	W=2.31; k=5.99; global
Geométrica Trunc	71	-	-	X=3.283; estima global
Poisson Truncada	51	-	-	P=1.186; t=63; global
Estimador Darroch	51	0.01	51-52	Estima global

pueden conocer no sólo las características intrínsecas de la población bajo estudio (por medio de los citados parámetros) sino también las suposiciones básicas que los diferentes métodos de estima poblacional deben de cumplir para que su aplicación sea verosímil. Una vez conocidas y satisfechas las suposiciones, la elección del método es inmediato, seleccionando el o los modelos que mejor se ajusten a estas suposiciones.

#### Agradecimientos

Gran parte de la información vertida en esta revisión ha sido el fruto de la insistencia de numerosos amigos, compañeros y estudiantes. La demanda de información y "aclaraciones" generadas por los asistentes a los diferentes cursos ha sido una "razón de peso" añadida. Jesús Nadal (Universidad Lleida), Julio Guiralt (Dirección General de Aragón) por su invitación a impartir los primeros cursos, sentaron los precedentes de la primera piedra. J. Nadal, con su insistencia, ayudó a poner algunas de las últimas piedras. El C.I.C.A. (Centro Informático Científico de Andalucía) nos dio (como siempre) todo tipo de facilidades. José Romero por la delineación de las figuras. Una gran parte de los datos vertidos en el presente trabajo han sido obtenidos en los diferentes Proyectos de Investigación que hemos venido llevando a cabo en la Estación Biológica de Doñana y en el Departamento de Biología Animal, Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén. Han sido financiados por la CAICYT, CSIC, Universidad de Guelph (Canadá), Estación Biológica de Doñana. El Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA) y la Agencia del Medio Ambiente (AMA) de la Junta de Andalucía por sus facilidades de trabajo en el Parque Natural de Cazorla Segura y las Villas. La finalización de este trabajo ha sido posible por la ayuda de la Consejería de Educación y Ciencia (Grupo de Investigación N° 4174, Especies Cinegéticas y Plaga). El Dr. Luis Javier Palomo (SECEM - Universidad de Málaga) con su constancia,

comprensión, y buen hacer consiguió que este manuscrito viera definitivamente la luz.

#### Referencias

- Arnason A.N. y L. Baniuk 1986. *Popan-3. A data maintenance and Analysis System for Mark-Recapture Data*. Charles Babbage Centre. Manitoba. Canada.
- Begon M. 1979. *Investigating Animal Abundance. Capture -Recapture for Biologist*. E. Arnold (ed). Londres.
- Burnham K.P., D.R. Anderson y J.L. Laake 1980. Estimation density from line Transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs* n° 72.
- Caughey G. 1977. *Analysis of vertebrate populations*, Wiley and Sons. Nueva York.
- Gates C.E. 1979. Line transect and related issues. In: *Sampling biological populations*. (R.M. Cormack, G. Patil y D.S. Robson Eds). *Satellite Program in Statistical Ecology*. Inter. Coop. Publ. House. Fairfield. Maryland.
- Giles R.H. y G. E. Lawrence 1976. *Dynapop: A set of programs for computing wildlife population estimates*. Informe interno.
- Montes C. y L. Ramirez 1977. *Descripción y muestreo de poblaciones y comunidades vegetales y animales*. Publicaciones Universidad de Sevilla.
- Otis D.L., K.P. Burnham, G.C. White y D.R. Anderson. 1978 Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs* 62.
- Seber G.A.F. 1982. *Estimation animal abundance and related parameters*. Griffin. Londres.
- Soriguer R.C., M. Martínez y J.A. Amat. 1981 Programa FORTRAN para el análisis de datos de captura y recaptura en poblaciones

