

Manual de Ecología

Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres

**Mónica B. Martella. Eduardo Trumper. Laura M. Bellis. Daniel Renison.
Paola F. Giordano. Gisela Bazzano. Raquel M. Gleiser.**

Cátedra de Ecología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
Av. Velez Sarsfield 299 (5000). Córdoba, Argentina.
martemo@com.uncor.edu rgleiser@crean.agro.uinco.edu

Resumen: El manual se inicia con una aproximación al estudio de las poblaciones silvestres. Esta primera parte incluye conceptos sobre los métodos más difundidos para cuantificar la abundancia de las poblaciones y se plantean ejercitaciones de las técnicas para la estimación de la densidad poblacional tanto en campo como en el laboratorio.

Palabras clave: Abundancia. Censo. Muestreo. Transectas. Historias de vida. Ecología de poblaciones.

INTRODUCCIÓN

Una **población silvestre** se define como un conjunto de individuos de una especie que habita un área determinada. Los métodos disponibles para caracterizar la abundancia de las poblaciones varían en función de las características de la especie a estudiar. Por ejemplo, los animales se mueven; las plantas son sésiles, pero por ser organismos modulares (ej. una misma raíz da lugar a muchos tallos aéreos) no podemos delimitar la extensión de un individuo con certeza. Algunos de los métodos más difundidos para cuantificar la abundancia de las poblaciones se resumen en la Tabla 1.

	Animales		Plantas
Tamaño absoluto de la población	Censos Captura/recaptura Densidad / superficie		--
Densidad (cantidad de individuos por unidad espacial)	Directos	Número de individuos Biomasa por especie	Número de individuos Cobertura Frecuencia Biomasa por especie
	Indirectos	Conteo de indicios por unidad espacial o temporal	--

Tabla 1. Ejemplos de métodos usados para cuantificar la abundancia de las poblaciones.

Tamaño absoluto de la población

El registro de todos los individuos de la población nos daría una certeza absoluta sobre el tamaño de dicha población. Sin embargo, esta metodología es bastante difícil de aplicar y por lo tanto, generalmente se emplean diferentes métodos para estimar el tamaño poblacional. Los métodos que se utilizan son los siguientes:

- **Censo:** recuento del número total de individuos de una población. Sólo es factible en el caso de poblaciones pequeñas y aisladas, donde no hay migración de individuos.
- **Muestreo** de la densidad (nº de individuos por unidad espacial). Este dato multiplicado por la extensión del área ocupada por la población arroja una estimación del número total de individuos.
- **Método de captura / recaptura.** Se utiliza mucho para poblaciones de micro mamíferos y reptiles. Mediante trampas se capturan individuos que son marcados y devueltos a su ambiente. Después de un cierto período de tiempo, suficiente para que los marcados se mezclen con el resto de la población, se realiza una nueva captura y se establece la proporción entre animales marcados y no marcados. Conocido el número de individuos marcados inicialmente se puede determinar el tamaño de la población a partir de dicha proporción.

Densidad

Es la abundancia por unidad espacial (superficie o volumen). A menudo resulta más útil que el tamaño absoluto de la población, ya que la densidad determina

aspectos fundamentales como la competencia por los recursos. La densidad de población se puede expresar de distintas formas:

- **Número de individuos por unidad espacial.** Se utiliza cuando la especie en cuestión está formada por individuos que pueden ser fácilmente cuantificables. Por ejemplo los grandes mamíferos.
- **Biomasa de organismos por unidad espacial.** Se utiliza cuando los individuos son muy pequeños (Ej. invertebrados) o cuando no es posible identificar individuos (Ej. plantas de desarrollo clonal). La biomasa se estima mediante el peso seco de los organismos.
- **Cobertura:** Es la variable más utilizada para cuantificar la abundancia de especies vegetales. Es la proporción de la superficie muestreada recubierta por la proyección vertical de la vegetación.
- **Frecuencia:** Es la probabilidad de encontrar una especie en un área dada.

Los [métodos indirectos](#) para cuantificar la abundancia de una población registran las manifestaciones de la presencia de individuos (cadáveres, nidos, huellas, heces, madrigueras, hormigueros, sonidos, etc.).

Como se mencionó anteriormente, es muy difícil contabilizar todos los individuos de una población. Por consiguiente, la metodología más utilizada para estimar abundancia es el muestreo, es decir, la toma de una [muestra](#) de la población bajo estudio. Para ello, es fundamental elegir una muestra suficientemente [representativa](#) de la población, compuesta por un número de [réplicas](#) adecuado. Por ejemplo, si queremos estimar el tamaño poblacional de una especie de ciervo utilizando la técnica de transectas, necesitaremos contar con un número significativo de transectas (Ej. 50), distribuidas en el hábitat de un modo adecuado. En este caso la [unidad de muestreo](#) sobre la que se registran los datos (en nuestro ejemplo el número de ciervos) es la transecta y el [número de réplicas](#) es 50.

En algunos casos el concepto de réplica no es tan claro. Por ejemplo, si queremos caracterizar el tamaño de las hojas de un bosque de molles para compararlo con otro bosque, podemos realizar la replicación en dos niveles: por un lado el bosque está compuesto de árboles, pero cada árbol tiene un elevado número de hojas, siendo la hoja la unidad última donde tomamos la medida. En este caso es necesario diseñar el muestreo teniendo en cuenta esos dos niveles. Si elegimos 1000 hojas del mismo individuo y promediamos sus tamaños, no tendremos un valor representativo del bosque, ya que el individuo muestreado puede ser más grande o más pequeño de lo normal. Tampoco sería adecuado elegir una hoja en 1000 individuos distintos, ya que en este caso cada individuo quedaría pobremente representado con una única hoja. Sería más correcto elegir, por ejemplo, 100 árboles distribuidos por todo el bosque, y recoger de cada uno 10 hojas distribuidas por distintas partes de la copa. En este caso la [réplica](#) sería el individuo (100 réplicas), mientras que la hoja será una [pseudo-réplica](#)

(1000 hojas). La forma correcta de analizar estos datos sería promediar las 10 hojas de cada individuo y utilizar las 100 réplicas en el análisis. Si utilizamos los 1000 valores como réplicas estaremos cometiendo un error de muestreo llamado **pseudo-replicación** y estaremos estimado inadecuadamente a la variable que queremos caracterizar.

Distribución espacial de las muestras

Otro elemento a tener en cuenta en el diseño de un experimento es la distribución espacial de las muestras. Existen distintos tipos de muestreo, cada uno de ellos será aplicable según las características de la especie en estudio.

Muestreo al azar simple: cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido (Fig. 1). Es apropiado en el caso de que el ambiente de muestreo sea homogéneo o no tengamos información que indique lo contrario. Hay varias posibilidades de hacer esa selección al azar, por ejemplo se puede usar una tabla de números aleatorios, o utilizar una computadora para generar números al azar, o hacer un sorteo después de haber numerado todos los individuos de la población.

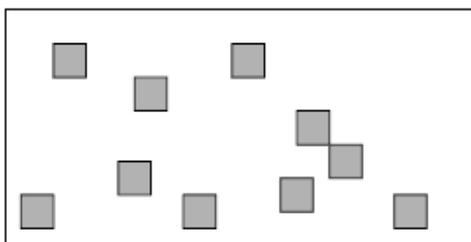


Figura 1. Distribución al azar de unidades de muestreo.

Muestreo al azar estratificado: es preferible al muestreo al azar simple cuando el ambiente a muestrear es heterogéneo y la probabilidad de encontrar individuos es diferente en las distintas partes del hábitat. Para aumentar la eficiencia del muestreo se suele subdividir el hábitat en estratos para que la muestra esté constituida por elementos de cada uno de ellos. Un estrato es una porción del terreno de características homogéneas. La ubicación de las unidades muestrales en cada estrato se elige al azar (Fig. 2).

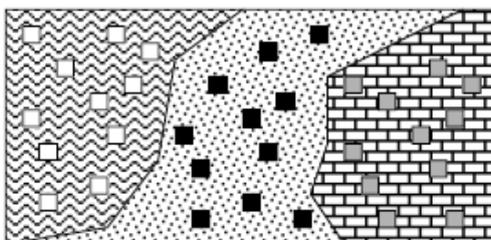


Figura 2. Distribución aleatoriamente estratificada de las unidades de muestreo. Cada trama es un estrato diferente.

Muestreo sistemático o regular: las unidades de muestreo se distribuyen a intervalos regulares, según un criterio preestablecido, y generalmente a partir de un punto elegido al azar (Fig. 3). Este tipo de muestreo es el adecuado cuando la presencia de un elemento afecta a alguna propiedad de interés de los elementos más próximos. Por ejemplo, si en un quebrachal queremos tomar muestras foliares de 30 árboles distintos, la probabilidad de que dos árboles muy próximos procedan del mismo progenitor es muy elevada, por tanto conviene aplicar un muestreo sistemático con una distancia mínima entre árboles para asegurarnos de medir individuos genéticamente distintos.

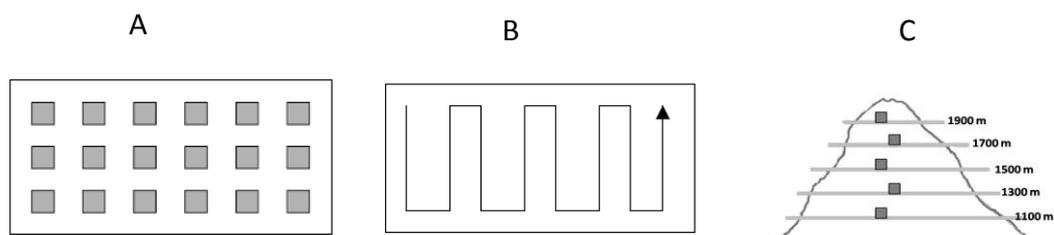


Figura 3. A. Distribución regular de unidades de muestreo. B. recorridos regulares de muestreo específicos para fauna. C. Distribución regular de muestras a lo largo de un gradiente altitudinal.

Muestreo por grupos o conglomerados (“clusters”): se aplica cuando todos los individuos que forman parte de la población se encuentran naturalmente agrupados, ya sea por características del hábitat o por pautas comportamentales (Fig. 4). En este caso, el muestreo se realiza eligiendo varios de esos grupos al azar. Una vez elegidos estos grupos podemos estudiar a todos los individuos que lo componen o bien seguir aplicando dentro de ellos más muestreos por grupos, por estratos, aleatorios simples, etc.

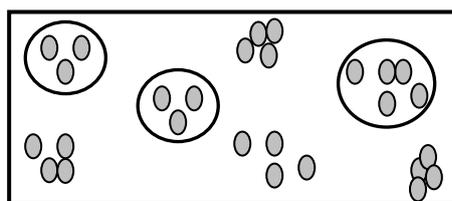


Figura 4. Distribución agrupada de unidades de muestreo. Las figuras grises representan individuos.

Determinación del número y tamaño de las unidades de muestreo

Es totalmente imposible determinar el número de muestras necesarias para un estudio, sin hacer antes un muestreo preliminar. Existe en estadística una fórmula sencilla que permite estimar lo que se conoce como Error estándar:

$$E = s/\sqrt{n}$$

donde s es la desviación estándar de la estimación y n es el número de unidades muestrales en que se basó dicha estimación.

Es obvio, por las características de la fórmula, que para una desviación estándar dada, el error estándar es una función lentamente decreciente del número de muestras. Esta propiedad puede ser usada para determinar el número de muestras que buscamos.

Si la distribución es **al azar** y la presencia de un individuo no afecta la presencia de otro, existe una probabilidad uniforme (igual) de que un individuo ocupe cualquier lugar en el espacio. Si se toma una muestra de esta población seleccionando pequeñas parcelas o cuadrados, la distribución del número de individuos por cuadrado seguirá una distribución de tipo Poisson, cuya principal característica es que la media es igual a la varianza. Por lo tanto, el cociente $\text{varianza}/\text{media} = 1$.

Si se ha llevado a cabo un muestreo preliminar que proporciona una idea del valor de la media y desviación estándar, entonces el número de unidades muestrales requerido para obtener un error estándar del 10 % alrededor de la media, estará dado por la siguiente relación (donde \bar{x}^2 es la media):

$$s/\sqrt{n} / \bar{x}^2 = 0,1; \quad \text{y si despejamos } n \text{ se obtiene:}$$

$$n = 100 \quad s^2 / \bar{x}^2$$

El patrón espacial **agregado** o **contagioso** es consistente con la distribución probabilística binomial negativa, donde la razón $\text{varianza}/\text{media}$ es mayor a 1 ya que las muestras pueden caer en zonas con alta o nula densidad de individuos y la varianza será muy grande. El número de muestras se calcula como:

$$n = \frac{1}{\frac{\bar{X} + 1/k}{D^2}}$$

D es el nivel de precisión requerido, en este caso 10 % o, equivalentemente expresado como proporción, 0,1. El valor de k es el parámetro de dispersión de la distribución binomial negativa que se estima a través de la media y varianza muestrales:

$$k = \frac{\bar{X}^2}{s^2 - \bar{X}^2}$$

Cuanto menor es k , mayor es el grado de agrupamiento de los individuos y viceversa.

El patrón espacial **regular** o **uniforme** muestra una relación varianza/media menor a 1 ya que al estar distribuidos regularmente la varianza será mucho menor. Este patrón espacial se describe con una distribución probabilística binomial positiva.

Muestreo de poblaciones

La medición de la abundancia poblacional es una actividad esencial para la obtención de datos con fines de investigación y respaldo a la toma de decisiones de manejo. Así, es evidente la importancia de conocer sus principios más importantes. Pero la abundancia es una variable de limitada utilidad debido a que no incluye ninguna información acerca del área de distribución de la población problema. Un atributo poblacional que permite estandarizar la información y efectuar comparaciones en tiempo y espacio, es la densidad poblacional, la que se define como el número promedio de individuos de una población por unidad de área o por unidad de hábitat. La estimación de la densidad poblacional se necesita en la mayor parte de los estudios de ecología de poblaciones, y para la comparación de los efectos de determinadas intervenciones humanas o condiciones ambientales. Se trata de un atributo directamente mensurable a través del muestreo, pero por otra parte, permite, a su vez estimar parámetros poblacionales que sintetizan características demográficas de las poblaciones.

La densidad absoluta expresa el número de individuos por unidad de área, mientras que la densidad relativa mide el número de ejemplares por una unidad muestral que no guarda una relación directa con el área. Al definir una unidad de área para expresar la densidad, se desemboca en un atributo muy relevante tanto desde el punto de vista biológico como estadístico: La variabilidad. La subdivisión de un hábitat en fracciones resultará en unidades con diferente número de individuos. Así, los parámetros que caracterizan a la población son la media (μ) y la varianza (σ^2) poblacionales. Debido a que el recuento total de individuos de una población es impracticable por razones operativas y por su elevado costo, es necesario recurrir a estimaciones de la densidad media y de su varianza. Estas se obtienen a través del muestreo, que es el conteo de individuos en un subconjunto de unidades del área de distribución de la población: la muestra. Las medidas representativas de la densidad poblacional media y de su varianza, son la media (m) y la varianza (S^2) muestrales.

Una pregunta muy frecuente cuando se debe decidir cómo encarar el muestreo de una población es “¿Qué tamaño (cuántas unidades muestrales) debería tener la muestra, a fin de obtener una estimación confiable de la densidad poblacional?”. La respuesta a esta pregunta descansa en parte en otro atributo poblacional que merece estudio, la dispersión, y en parte está determinada por el nivel de “confiabilidad” que requieren el investigador o el asesor que efectúan el muestreo. Ambos aspectos configuran el núcleo del desarrollo estadístico de los protocolos de muestreo (adaptado de TRUMPER et al. 2008).

Actividad

Sabemos que una población que se distribuye uniformemente en el espacio arroja valores de cociente S^2/m menor a 1, mientras que las poblaciones con patrones de distribución espacial aleatorio y agregado se caracterizan por cocientes S^2/m igual y mayor a 1, respectivamente. Para poner a prueba estos conceptos, se realizará una simulación concreta del proceso de muestreo aleatorio sobre la base de tres poblaciones hipotéticas.

Los docentes le entregarán tres tipos de láminas de cartulina (Fig. 5). Estas representan el área de distribución de una población hipotética mientras que los puntos negros que en ellas se han marcado, representan los individuos. Ud. podrá observar a simple vista que el patrón de dispersión de la población es diferente en las distintas láminas. La técnica de muestreo será la selección de puntos aleatorios del plano sobre el cual arrojar un aro de plástico.

Los alumnos se distribuirán en grupos para trabajar sobre las distintas láminas

- a. Despliegue la lámina.
- b. Arroje el marco sobre la lámina, sin intención de seleccionar ningún punto del plano en particular.
- c. En cada oportunidad que el marco se coloque sobre el plano, cuente el número de puntos que caen dentro de su perímetro para luego registrarlo en la planilla que se suministra abajo (Tabla 2).
- d. Repita la operación hasta completar las 30 unidades muestrales.
- e. Luego de completar el muestreo, calcule los estadísticos señalados al pie de la Tabla: sumatoria, media (m), varianza (S^2) y el cociente S^2/m .
- f. ¿Qué patrón de distribución espacial indican los resultados que tiene la población de cada lámina?
- g. Calcule para cada población cuál es el tamaño mínimo de muestra para estimar la densidad poblacional con una precisión (definida como coeficiente de variación) de 10%.

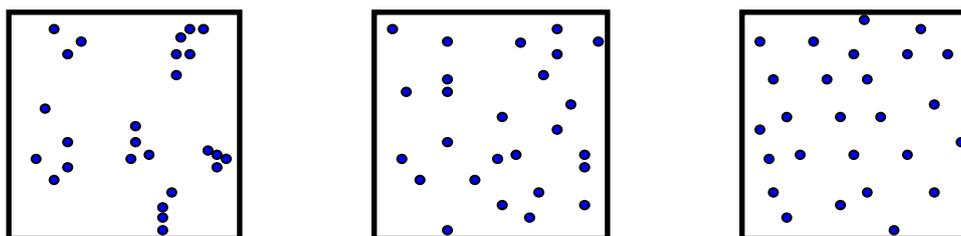


Figura 5. Esquema de los tres tipos de láminas con las cuales se realizarán las simulaciones de muestreo.

Unidad muestral	Número de individuos		
	Población A	Población B	Población C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
Suma			
m			
S^2			
S^2 / m			

Tabla 2. Planilla tipo para el registro de los datos de las simulaciones de muestreo.

TÉCNICAS DE CENSOS Y MUESTREOS MÁS USADOS EN ECOLOGÍA

Censos

Recuentos totales: se utiliza en individuos grandes en áreas abiertas. Se puede realizar dividiendo el área en parcelas y contando el número de individuos en cada una. Puede realizarse desde el aire. Es muy buena para especies que forman pocos grupos grandes. En el caso de los animales, se debe tener en cuenta que pueden cometerse errores si los individuos se mueven entre las parcelas durante el conteo.

Estimaciones o muestreos

Censos de punto: el observador se mantiene en una ubicación fija por un periodo de tiempo determinado registrando todos los individuos vistos. Las distancias pueden ser registradas por ejemplo dentro de zonas concéntricas alrededor del punto (Ej: 50m, 50-100m, 100-200m) lo cual dependerá de la visibilidad del animal. Asume que no hay inmigración dentro del área mientras se realiza el conteo. El tiempo fijado debe asegurar que todos los individuos cercanos al observador sean detectados.

Transecta de ancho fijo: el ancho de la transecta se fija antes del censo (Fig. 6). Se asume que todos los individuos dentro de la faja son contados y que el largo de la transecta es conocido. Para que este método sea válido en el caso de animales, se debe estar seguro que se encontrará cada individuo dentro de faja y que su presencia a lo largo de la transecta no afectará la presencia o ausencia de otro individuo.

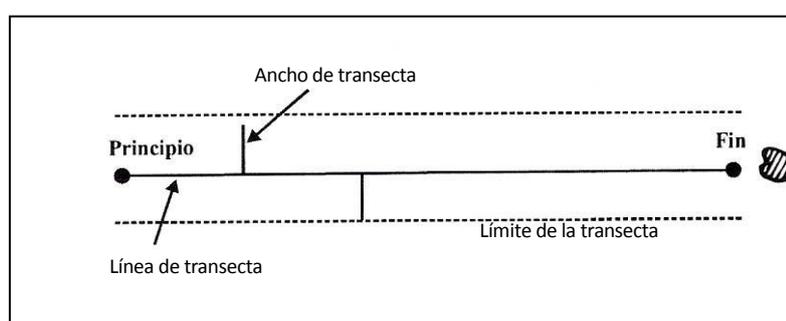


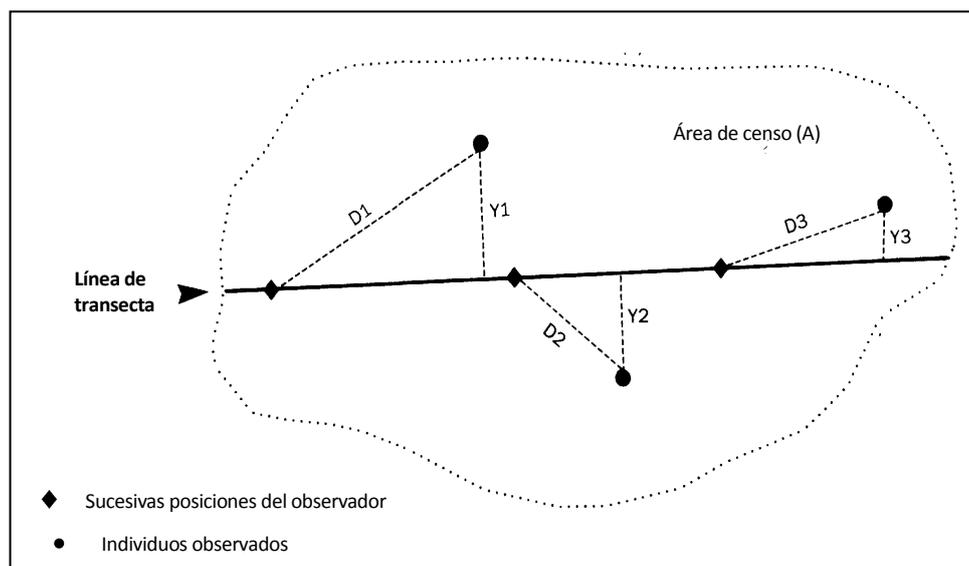
Figura 6. Esquema de transecta de ancho fijo (adaptado de RABINOWITZ 2003).

Transectas de línea: esta técnica asume que no todos los individuos serán vistos por el observador y que el número de individuos observados se incrementará con la distancia recorrida en la transecta (Fig. 7). A diferencia de la transecta de faja, en este caso su ancho se obtiene a partir de cada una de las observaciones, tomando las distancias (D) o (Y) desde el individuo a la línea recorrida. El observador debe recorrer la línea de transecta (X), contando los animales a ambos lados de la línea y registrando sin error (D) o (Y) cuando el animal es detectado. Pueden realizarse por tierra, mar, o desde el aire.

Para obtener estimadores confiables de abundancia poblacional a partir de muestreos por transectas de línea se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Los individuos situados exactamente sobre la línea nunca pueden dejar de ser vistos.
2. Los individuos no se mueven antes de ser detectados, las distancias son medidas desde la ubicación inicial del individuo y no son contados más de una vez.
3. Las distancias son medidas sin error.
4. La detección de un individuo es independiente de la detección de otro.
5. El comportamiento de respuesta de la población no cambia sustancialmente a lo largo de la transecta.

Los individuos son homogéneos respecto a su comportamiento de respuesta al observador, sin importar su sexo, edad, etc.



D = Distancia entre el observador y el individuo observado; Y = Distancia perpendicular entre la línea de transecta y el individuo observado, Y = 0 si el individuo es visto sobre la transecta; X = Largo de la transecta; N = Número de animales observados; α = Ángulo entre la dirección de la línea de transecta y la línea de observación del animal.

Figura 7. Esquema de transecta de línea (adaptado de RABINOWITZ 2003).

Existen varias fórmulas para determinar la densidad de especies utilizando las líneas de transecta. A saber:

1. Promedio de distancia perpendicular: Primero se promedian las distancias (Y) registradas.

$$Densidad = \frac{N}{2 \cdot X \cdot \bar{Y}}; \quad 2 \cdot \bar{Y} = \text{ancho promedio de faja}$$

2. Método de Kelkers: Este método utiliza la distancia transecta – animal (Y) para establecer un histograma de frecuencia, que estima la probabilidad de detección efectiva.

3. Método de King: La distancia media (D) es utilizada para establecer la densidad.

$$Densidad = \frac{N}{2 \cdot X \cdot \bar{D}}; \quad 2 \cdot \bar{D} = \text{ancho promedio de faja}$$

4. Método de Webbs: Este método utiliza la media del ángulo (<) de observación y la media de la distancia de observación (D) para determinar la media de las distancias perpendiculares. Entonces,

$$Densidad = \frac{N}{2 \cdot X \cdot \bar{D} \cdot \text{sen } \alpha}$$

5. Método de Haynes: este método se utiliza preferentemente para estimar la densidad poblacional a partir de censos de punto. Está basado en la premisa de que la probabilidad de ocurrencia depende de la distancia desde el observador y así las observaciones son divididas en clases de distancias.

$N = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n$, son los números de observaciones en distintas clases de distancias. Por ejemplo;

$D_1 = < 25 \text{ m}$, $D_2 = 26 - 50 \text{ m}$, etc. Luego la fórmula de densidad es como el método de King, pero la división N/D es reemplazada por la suma de radios.

$$Densidad = 1 / 2X (N_1 / D_1 + N_2 / D_2 + N_3 / D_3 + \dots + N_n / D_n)$$

Captura-recaptura

Método de Petersen o Lincoln: en este método, una muestra compuesta por n_1 animales es tomada de la población, los animales son entonces marcados para su futura identificación y luego son puestos en libertad. Luego de un tiempo que permita la mezcla de los individuos marcados y no marcados, se extrae una segunda muestra de n_2 animales entre los que habrá m_2 marcados. Asumiendo que la proporción de marcados en la segunda muestra es un razonable estimador de la proporción poblacional desconocida, se puede decir que:

$m_2 / n_2 = n_1 / N$; entonces

$$N = n_1 * n_2 / m_2$$

Este es el mejor estimador cuando se cumplen todos lo siguientes supuestos:

1. La población es cerrada (la mortalidad, la emigración, la natalidad y la inmigración son despreciables), por lo que N es constante.
2. Todos los animales tienen la misma probabilidad de ser capturados en la primera muestra.
3. La marca no afecta la probabilidad de captura de un animal.
4. La segunda muestra es una muestra aleatoria simple, o sea que cualquiera de las posibles muestras tiene igual oportunidad de ser elegida.
5. Los animales no pierden la marca durante el tiempo transcurrido entre la primera y la segunda muestra.
6. Todas las recapturas son registradas sin error.

TÉCNICAS MÁS UTILIZADAS EN ANIMALES Y PLANTAS

Invertebrados

Los invertebrados tienen la virtud de ser pequeños y de explotar generalmente una pequeña área (micro hábitats), ocupando diferentes micro hábitats durante los distintos estados del ciclo de vida. A continuación mencionaremos alguna de los métodos par muestrear invertebrados.

- **Búsqueda directa:** consiste en buscar los animales en los lugares apropiados (debajo de piedras, huecos, base de plantas etc). Luego se debe estandarizar la búsqueda para obtener estimaciones relativas de la población. Para esto podemos utilizar: conteo por unidad de esfuerzo (nº de individuos encontrados en un periodo de tiempo), conteo de nº de individuos por unidad de vegetación (nº de individuos encontrados en hojas o ramas), conteo de nº de individuos por unidad de área (conteos en un área definida que puede ser una cuadrata), conteos a lo largo de transectas. Tiene la ventaja sobre otras técnicas de ser selectivo, no requiere equipamiento pero es menos eficiente.
- **Trampas:** existe una gran variedad de trampas que nos permiten obtener índices de abundancia. Se debe tener en cuenta que la tasa de captura puede depender mucho de las condiciones climáticas. Algunos ejemplos: trampas de agua en la que los insectos voladores son atraídos y atrapados en agua de colores (himenópteros). Trampas de intersección del vuelo, actúan bloqueando

el vuelo con una fina malla, luego los insectos caen dentro de una bandeja. Trampas de luz, se utilizan en insectos nocturnos principalmente (polillas, mosquitos) que son atraídos hacia la luz.

- **Muestreos de suelo:** implica tomar muestras de suelo de un volumen conocido, la cantidad de individuos extraídos dependerá del tipo de suelo. Se utiliza en gusanos, larvas de escarabajos, colémbolos, lombrices, etc.
- **Muestreo por succión:** se utiliza en invertebrados que viven en vegetación baja menor a 15cm y se realiza succionando mecánicamente los individuos de un área de vegetación conocida, los cuales son depositados dentro de una bolsa.

Peces

Los peces son un grupo muy diverso que en general es muy difícil de observar en su hábitat natural. Muestrear peces requiere de muchos recursos (tiempo, trabajo, costo del equipamiento, etc) lo cual se incrementa con el tamaño del hábitat. Las técnicas más utilizadas se agrupan en dos categorías generales: **pasivos** en los cuales los animales caen en redes o trampas sin que el investigador haga ningún tipo de movimiento y **activos** donde los animales son capturados. También pueden realizar combinaciones ambas técnicas. En la elección de la técnica de muestreo es importante considerar los factores ecológicos y comportamentales de la especie (velocidad de nado, estacionalidad, hora del día, etc), factores ambientales (profundidad y claridad del agua, presencia de vegetación etc) y la selectividad de la herramienta utilizada. La abundancia poblacional se estima comúnmente a partir de índices que consideran la captura por unidad de esfuerzo. A continuación se mencionan algunas de las técnicas utilizadas:

- **Trampas:** puede utilizarse en una amplia variedad hábitats y son particularmente efectivas en especies que se encuentran a bajas densidades o que son activas por la noche. Pueden ser altamente selectivas y pueden combinarse con el uso de cebos. Podemos mencionar entre las activas: redes de arrastre, red de mano, medio mundo, electrofishing, y pasivas: redes de trasmallo, redes agalleras, trampas nasas, corrales.
- **Hidroacústicos:** se utiliza en peces de profundidades y marinos. Consta de un transmisor que a través de un transductor emite un pulso de ultrasonido. Se puede conocer el tamaño del pez, su distribución y abundancia. Requiere de un alto entrenamiento del operador.
- **Observaciones bajo el agua:** se puede realizar con esnorkel y buceo, la elección de la técnica depende de la claridad del agua y la profundidad a cual se realizan las observaciones. Con ambas técnicas se pueden utilizar transectas o censo de puntos. Ambos dan buenas mediciones de la abundancia, la densidad y la diversidad de especies.

Reptiles

La mayoría de los métodos empleados para estimar la abundancia de reptiles involucran la captura de individuos. Esto responde a dos causas principales, a que generalmente son muy huidizos y crípticos, y a que puede obtenerse mucha más información de un animal capturado (sexo, condición reproductiva, etc). Se pueden usar marcas (pinturas no tóxicas son muy utilizadas) ya que generalmente es muy utilizado el método de marcado recaptura para estimar densidad o probabilidades de supervivencia.

Las técnicas más comúnmente utilizadas son:

- **Captura manual** para animales de tamaño pequeño (lagartijas, tortugas, culebras) requieren de poco equipamiento pero no es buena cuando la especie vive bajo trocos, cortezas, etc.
- **Lazo**, consiste en un bastón largo con un lazo en la punta, se utiliza para capturar lagartijas activas o que se encuentren en lugares difíciles de alcanzar, pero no es útil en especies crípticas o que viven en cuevas. Demandan mucho trabajo y tiempo, al igual que la captura manual.
- **Trampas pitfall**, consisten en un recipiente enterrado de manera tal que el borde este nivelado con el suelo, también pueden ser usadas con cercos para aumentar su efectividad. El tamaño del recipiente influirá en especies que podemos capturar. Estas trampas permiten atrapar un gran número de especies con relativo poco esfuerzo del investigador, pero deben ser monitoreadas regularmente y cerradas o removidas al finalizar el estudio. No funcionan en el caso de animales muy sedentarios.

Aves

Las aves tienen una gran variedad de comportamientos y necesidades ecológicas razón por la cual existen una amplia variedad de métodos y técnicas, pero en general podemos hablar de dos grupos según la forma en la que se distribuya la especie (agrupada u homogénea).

- **Conteo de nidos y colonias:** la técnica adoptada dependerá del lugar donde se ubique la colonia o del lugar de nidificación (árboles, acantilados, etc). Tiene la ventaja que podemos realizar el conteo en un momento del año cuando todos los individuos se encuentran agrupados. Se pueden utilizar diferentes técnicas: transectas o cuadratas en el caso de aves marinas que nidifican en el suelo, fotografías aéreas, censos y recuentos aéreos aunque este último tiene la desventaja de ser caro y de producir grandes disturbios pudiendo provocar abandono de nidos.

- **Mapeo del Territorio:** se utiliza en especies que muestran comportamiento territorial, en la época reproductiva. Los territorios reproductivos pueden ser utilizados como una unidad de censo, realizando un mapeo del territorio en el cual todos los machos de un territorio son marcados sobre un mapa. El mapa del área de estudio se divide en grillas que el investigador recorre para realizar el censo, ubicando en él todas las aves observadas y los sitios de nidificación. Se asume que las aves viven en pareja fija, discreta y que no se solapan los territorios. Es muy costosa y no sirve para aves coloniales o que tienen un territorio relativamente muy grande respecto área de estudio.
- **Censo de puntos fijos:** tiene la ventaja que puede realizarse en cualquier momento del año. Se debe tener la precaución de separar las estaciones de conteo lo suficiente como para evitar dobles conteos. Pueden realizarse de manera sistemática (grillas), al azar o estratificada. La estimación de densidad asume que todas las aves en el centro del área de conteo son registradas. Es una técnica muy utilizada en especies canoras y en ambientes heterogéneos.
- **Transectas de líneas:** pueden ser tomadas en cualquier momento. Son apropiadas para grandes áreas homogéneas de hábitat y especies que se encuentran en bajas densidades.
- **Conteos indirectos: registro de huellas, nidos, playbacks** (reproducción de sonidos), heces, etc., que puede realizarse en cuadratas o transectas. Con esta técnica podemos obtener una mediada de la densidad relativa en diferentes áreas.

Mamíferos

Si bien algunos mamíferos son muy fáciles de ver, muchas especies son reservadas, solitarias, crípticas o se encuentran en bajas densidades. Entre las técnicas más comunes podemos mencionar:

- **Conteos Totales:** se utiliza en grandes mamíferos.
- **Conteos de sitios reproductivos:** especies que construyen sitios reproductivos conspicuos en cavidades en el suelo. Se pueden hacer conteos sistemáticos con una grilla o a través de transectas. Se puede determinar el número promedio de individuos que utilizan los sitios reproductivos y para luego convertir esto en una estimación de la densidad.
- **Transectas de línea y de ancho fijo:** se utilizan en especies conspicuas que viven en ambientes abiertos.
- **Trampas:** Utilizadas principalmente en pequeños mamíferos terrestres. Existen un gran número de trampas diseñadas para diferentes tamaños corporales y

muchas de estas se pueden comprar comercialmente (trampas Sherman, Pitfall, etc.). El tamaño poblacional se calcula utilizando [captura marcado recaptura](#).

- **Conteos indirectos:** al igual que en aves, implica el registro de heces, huellas, signos de ramoneo, madrigueras, playbacks, etc.

Vegetación

Las comunidades de plantas están constituidas por individuos sésiles lo que facilita el muestreo, sin embargo por tratarse de organismos modulares en muchas especies es difícil identificar individuos. Por esta razón, en algunas especies no puede determinarse el tamaño absoluto de la población. No obstante, la abundancia poblacional puede obtenerse mediante estimaciones de la densidad (biomasa por unidad de superficie, % de cobertura, etc). Alguna de las técnicas más comúnmente utilizadas en vegetación:

- **Líneas de intercepción:** se utiliza para estimar la cobertura de copa de los árboles (Fig. 8). Se traza una línea de transecta y se mide las intercepciones perpendiculares proyectadas sobre la línea de la transecta. A partir de aquí, se calcula la proporción de cobertura que cubre sobre toda la transecta, utilizando la siguiente fórmula:

$$Cob(x) = (\sum I_x / L) * 100$$

Dónde:

Cob (x) = % cobertura de copa de árboles

$\sum I_x$ = suma de las intercepciones con x

L = largo de línea de transecta

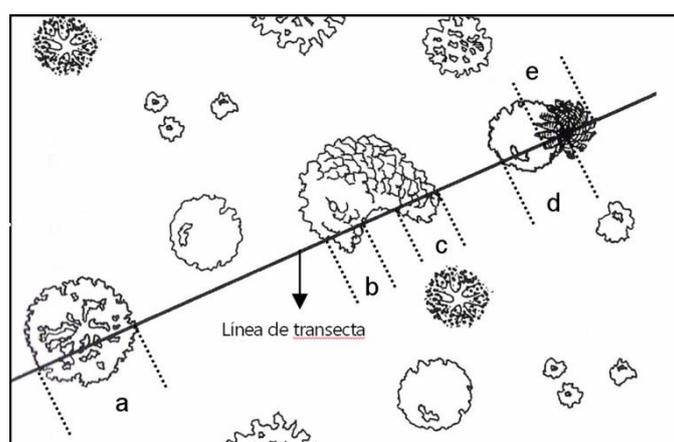


Figura 8. Esquema de transecta de línea.

- **T – cuadrado vecino más próximo:** Se utiliza para estimar la densidad de árboles (Fig. 9). Primero se deben disponer puntos sobre el terreno, que

pueden ser dispuestos al azar o sistemáticos sobre una línea de transecta. Ubicados el investigador sobre uno de estos puntos en el terreno, localiza el árbol más cercano y mide la distancia entre el punto y el árbol (X). Luego se traza imaginariamente una línea perpendicular a la distancia registrada y se procede a medir sobre ésta “segunda área de muestreo” la distancia al árbol vecino más cercano (Z). Con los datos de distancia obtenidos se calcula la densidad con la siguiente formula:

$$D = ((\sqrt{2}) * n) / \pi[(\sum x^2) (\sum z^2)]^{1/2}$$

En donde:

D = densidad

n = número de puntos ubicados sobre el terreno

x = Distancia desde el punto (n) hacia el primer árbol

z = Distancia desde el árbol hacia el vecino más cercano

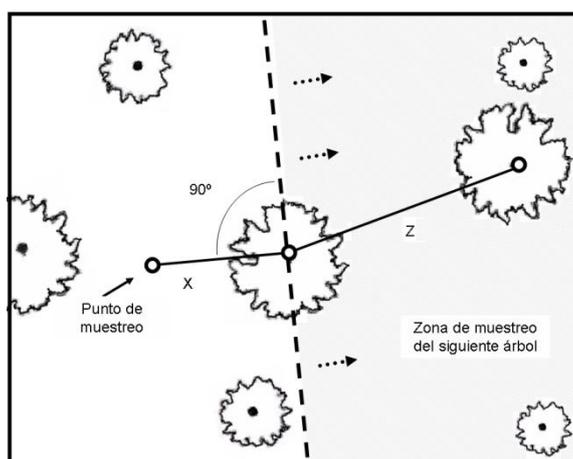


Figura 9. Esquema de técnica de T-cuadrado vecino más próximo (adaptado de RABINOWITZ 2003).

- **Estimación ocular:** se utiliza para estimar la cobertura del suelo. Sobre una línea de transecta, se “lanza” un cuadrado metálico sobre el suelo y se calcula visualmente el porcentaje de suelo cubierto por vegetación. La cobertura (%) en cada transecta se estima como:

$$\% \text{ de suelo cubierto} = \sum (\% \text{ suelo cubierto} / N^{\circ} \text{ de puntos registrados})$$

- **Puntos de intercepción:** esta técnica se utiliza para estimar la cobertura herbácea o de arbustos bajos. Sobre una línea de transecta se repiten una serie de puntos sobre los cuales se apoya una varilla de longitud conocida y se cuentan la cantidad de “toques” que la vegetación realiza sobre la varilla en cada segmento. La varilla usualmente se divide visualmente en porciones de igual longitud, logrando sectorizar distintas alturas hasta un máximo deseado.

El porcentaje de cobertura de cada estrato se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Cob (x)} = (N^{\circ} \text{ de toques en } x / \text{total de toques}) * 100 ; \text{ donde } x = \text{estrato}$$

- **Parcelas:** son muy utilizadas para estudiar la estructura de bosques. Se usan para estimar la densidad y estructura de tamaños y/o edades de árboles. Primero se debe demarcar la parcela de forma precisa (por ejemplo un rectángulo de 20 x 30 m). Luego se mide el tamaño de todos los árboles dentro del área demarcada. Los renovales pueden medirse en una muestra representativa de cuadratas con área menor a la de la parcela. Las mediciones del árbol pueden ser su altura y el ancho de la copa. Si el estudio incluye árboles de gran tamaño donde es difícil medir su altura directamente, es conveniente medir el diámetro del tronco, que puede ser basal (DAB) o a la altura del pecho (1.6 m DAP). En algunas especies es posible determinar las edades de los árboles sacando muestras de su leño con barreno y contando el número de anillos de crecimiento. La densidad se calcula de forma directa como número de árboles/superficie explorada y suele representarse en hectáreas. La estructura de tamaños y/o edades de árboles puede representarse mediante histogramas. Siempre debe tenerse en cuenta las distintas escalas a las que fueron muestreados los renovales y los árboles equiparando todas las mediciones a una misma escala.

TRABAJO PRÁCTICO DE CAMPO 1°

El práctico se desarrollará en el Parque General San Martín, ubicado en el sector oeste de la Ciudad de Córdoba y limitado al norte y este con el Río Suquía. Fue creado por decreto N° 6933/79 en 1979 y aprobado por el Concejo Deliberante en diciembre de 2009, como un área de preservación ambiental de flora y fauna nativa dentro del ejido urbano de la ciudad. Comprende una superficie de 114 ha y es el único parque natural que posee la Ciudad de Córdoba. El parque se encuentra en una zona de transición entre dos provincias bio-geográficas, el Chaco Serrano (bosque serrano) y el Espinal, aunque también presenta parches de vegetación dominadas por especies exóticas. Presenta una diversidad de especies, paisajes y ambientes que resultan, por un lado, de interacciones naturales entre el relieve, la cercanía al río y la confluencia de dos provincias biogeográficas, y por otro, de factores antrópicos (tala, incendios, e introducción de especies exóticas, entre otros).

Para poder definir políticas adecuadas de conservación de especies y monitorear la efectividad de las estrategias de acción seleccionadas, es fundamental contar con información biológica de base. En este práctico, una vez ubicados en el terreno, ensayaremos algunas de las técnicas más comunes empleadas por los ecólogos para la estimación de la abundancia de poblaciones, tanto de fauna como de flora.

Objetivo

Conocer y practicar en el terreno las técnicas más empleadas para la obtención de la densidad poblacional, como así también aquellas que se emplean para determinar la estructura de la vegetación y los Índices de Biodiversidad.

Objetivos específicos

1. Conocer ventajas y desventajas de las técnicas.
2. Aprender a registrar los datos necesarios que ayuden a responder la hipótesis de trabajo. Elaboración de planillas.
3. Conocer cuáles son las fuentes de error en un trabajo de campo.
4. Complementar el aprendizaje del alumno en el diseño de experimentos.

Como acceder a la Reserva Natural General San Martín

(www.reservasanmartin.org.ar)

La Reserva Natural San Martín se localiza detrás del complejo Feriar, en la zona noroeste de la ciudad de Córdoba (cerca del estadio Chateau Carreras). El acceso es a través de la calle Miguel Lillo, única calle de circulación pública que atraviesa la reserva. Se puede llegar desde la Avenida Ramón J. Cárcano, o bien por detrás, desde la zona de los Carolinos. Los colectivos de la línea E1 (más directo) y E5 tienen parada en la Av. Cárcano, y pueden tomarse tanto en Ciudad Universitaria (Haya de la Torre) como en el centro en la calle 27 de abril. Nos reuniremos a las 9.30 hs en el centro de recepción, que se encuentra dentro del Camping Municipal.

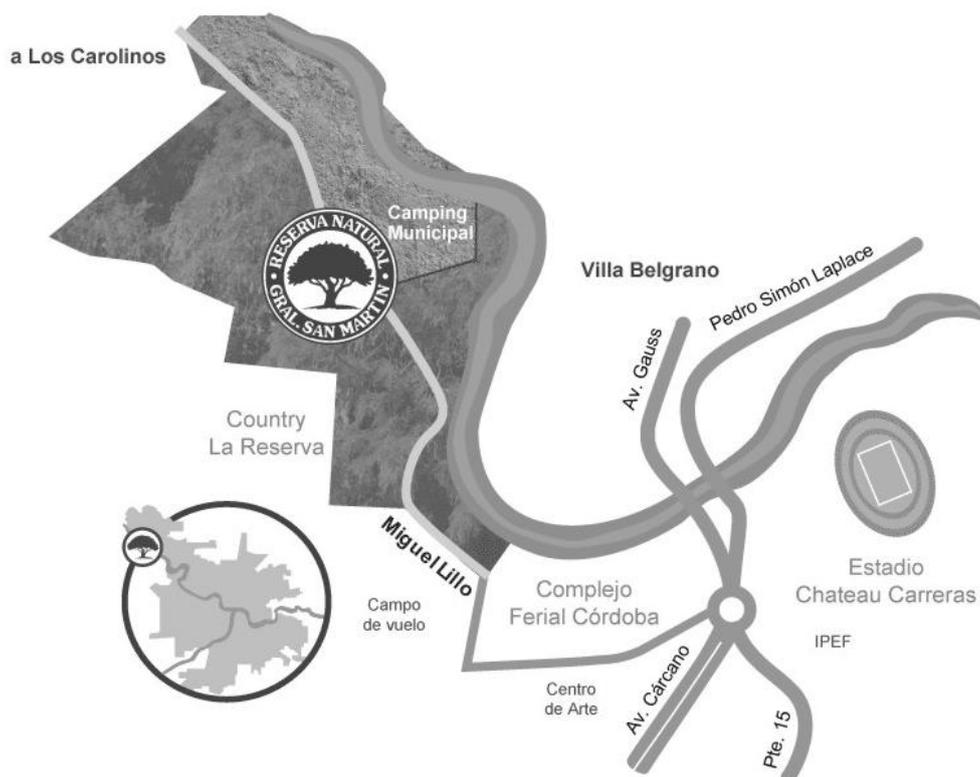


Figura 10. Mapa de la Reserva natural General San Martín e inmediaciones.

Actividades

1. Estimación de la densidad animal mediante

- a. **Transectas de línea:** se efectuará 2 transectas de 50 m de longitud cada una, a lo largo de la cual se registrarán todos los individuos de la especie X detectados, tomando su distancia perpendicular a la línea de marcha. En caso de tratarse de una especie gregaria, se considera la distancia perpendicular desde el centro del grupo a la línea de transecta.

$$Densidad = \frac{N}{2 \cdot X \cdot \bar{Y}}; \quad 2 \cdot \bar{Y} = \text{ancho promedio de faja}$$

Y = Distancia perpendicular entre la línea de transecta y el individuo observado, Y=0 si el individuo es visto sobre la transecta

X = Largo de la transecta

N = Número de animales observados

- b. **Transecta de faja:** se efectuarán 2 transectas de 50 m de longitud, determinando para cada una un ancho de faja de 20 m (10 m a la izquierda y 10 m a la derecha de la línea de marcha), definiendo un área total de 1000 m². Dentro de esta superficie, se contabilizarán todos los individuos de la especie X detectados.

- c. **Transectas con estaciones de muestreo (para registro de aves):** se efectuarán 2 transectas de 100 m de largo con 3 estaciones cada 50 m. En cada estación se detendrá 10 minutos y registrará todos los individuos de la especie X (a determinar en el campo) observados en un radio de 15 m.

$$\text{Densidad} = N / \text{Superficie observada}$$

(Recuerde para el cálculo de la superficie $=\pi \text{ radio}^2$)

2. Estimación de la densidad vegetal mediante:

- a. **Parcelas:** se utilizará para estimar la densidad de árboles. Primero se demarcará una parcela de 20 x 30 m. Luego registrará el número de árboles de la especie X (a definir en el campo) dentro del área demarcada.
- b. **T – cuadrado vecino más próximo.** Sobre una línea de transecta de 100 m de longitud se determinarán 3 estaciones de muestreo cada 50 m. En cada una de ellas se ubica el árbol más cercano y se mide la distancia entre el punto y el árbol (X). Luego se traza imaginariamente una línea perpendicular a la distancia registrada y se procede a medir la distancia al árbol vecino más cercano (Z) (ver Figura en página 27). Con los datos de distancia obtenidos se calcula la densidad.

$$D = ((\sqrt{2}) \cdot n) / \pi [(\sum x^2) + (\sum z^2)]^{1/2}$$

(ver detalles de la fórmula de cálculo en página 19)

3. Caracterización de la estructura de la vegetación:

- a. **Líneas de intercepción:** Se utilizará para estimar la cobertura de copa de los árboles. Sobre una línea de transecta de 100 m de longitud, mida la longitud de las intercepciones perpendiculares de las copas proyectadas sobre la línea. A partir de estos datos se calcula el porcentaje de cobertura respecto al largo total de la transecta. (vea Fig. 8 y detalles de la fórmula en página 18).

$$\text{Cob} (x) = (\sum l_x / L) * 100$$

- b. **Estimación ocular.** Se trazarán 2 transectas de 100 m de longitud con 4 estaciones equidistantes 25 m. En cada estación se “lanza” (a izquierda y derecha) un cuadrado metálico sobre el suelo y se calcula visualmente el porcentaje de suelo cubierto por vegetación. La cobertura (%) en cada transecta se estima:

$$\% \text{ de suelo cubierto} = \sum (\% \text{ suelo cubierto}) / \text{N}^\circ \text{ de puntos registrados}$$

- c. **Puntos de intercepción.** Nuevamente, se trazarán 2 transectas de 100 m de longitud, cada una con 5 estaciones cada 25 m. En cada una de ellas se apoya una varilla de 1,5 metros dividida en tres segmentos (0-0,5 m; 0,5-1m y de 1-1,5m) y se cuenta la cantidad de “toques” que la vegetación realiza sobre cada estrato de la varilla. El porcentaje de cobertura de cada estrato se calcula:

$$\text{Cob (x)} = (\text{N}^{\circ} \text{ de toques en x} / \text{total de toques}) * 100$$

x = estrato

Resumen: recolectando datos de vida silvestre

Esta guía puede ayudar a priorizar objetivos y seleccionar el método más apropiado al comienzo de cualquier trabajo de monitoreo de la vida silvestre.

1. Plantearse siempre el objetivo del estudio.
2. ¿Es necesario un censo? ¿O se puede realizar un muestreo?
3. Realice un muestreo **preliminar** al trabajo de monitoreo para estimar número mínimo de muestras.
4. En función de los objetivos o preguntas planteadas, elegir el método más adecuado.
5. Conocer el terreno antes de elegir el método.

Planillas de Datos para Bosques

En un área de 4 * 10 m registrar las especies y el perímetro basal para todo árbol mayor a 30 cm de alto.

Espece	Perímetro basal

Para árboles menores a 30 cm realizar 10 cuadratas de 50 cm de lado y medir la altura de cada árbol registrado.

Espece	Altura

TEÓRICO PRÁCTICO 1°

ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO

En este práctico Ud. desarrollará las siguientes actividades:

1. Lectura y análisis de artículos científicos

- Bonino, N. y Borelli, L. 2006. Variación estacional en la dieta del conejo silvestre europeo (*Oryctolagus cuniculus*) en la región andina de Neuquen, Argentina. *Ecología Austral*, 16: 7-13.
- Haretche, F. y Rodríguez, C. 2006. Banco de semillas de un pastizal uruguayo bajo diferentes condiciones de pastoreo. *Ecología Austral*, 16:105-113.

En cada uno de estos trabajos identifique:

1. Problema de estudio.
2. Objetivos.
3. Explícite cuál es el diseño del experimento para responder a los objetivos propuestos. Para ello determine: a) ¿Cuál/es es la unidad de observación?, b) ¿Cómo están distribuidas espacialmente las unidades de muestreo? c) ¿Cuáles son/es los tratamientos aplicados? d) ¿Qué variables miden? e) ¿Cuáles son las réplicas? f) ¿Qué técnicas de muestreo utilizan en ambos trabajos?
4. En el caso del artículo número 2 (Haretche & Rodríguez) explique ¿Por qué el diseño está pseudoreplicado y cuáles son las consecuencias?

2. Análisis de datos de campo

1. Con los datos obtenidos en la Reserva natural General San Martín y las fórmulas explicitadas en la guía para cada técnica, efectúe los cálculos correspondientes para determinar la densidad de individuos (vegetales y animales) y la caracterización de la vegetación en cada caso. Para ello, le aconsejamos que lea nuevamente el trabajo práctico de campo.

3. Ejercicios

1. En los siguientes casos, ¿cuántas réplicas se tiene? ¿Cuál es el tamaño de la muestra?

- 1.1. Con el objetivo de analizar el grado de simetría de una población se midió el largo de las 2 astas de 10 ciervos adultos.
- 1.2. Para determinar la cobertura por especies arbóreas exóticas en una reserva natural se realizaron 20 transectas con 5 estaciones de muestreo cada una.
- 1.3. Para evaluar el efecto del pastoreo sobre la vegetación se realizaron 10 parcelas de 10 x 10 m en un área pastoreada y 10 en un área control. Se tomaron 10 plantas en cada caso a las cuales se le midió la biomasa.

BIBLIOGRAFÍA

- Rabinowitz, A. R. 2003. *Manual de capacitación para la investigación de campo y la conservación de la vida silvestre*. Wildlife Conservation Society, USA. Editorial FAN, Bolivia. 327 pp.
- Trumper, E.V.; Edelstein, J.D.; Fava, F.D. y Sosa, M.A. 2008. Protocolos de muestreo para estimación de abundancia y toma de decisiones de manejo del complejo de chinches en soja. pp. 149-168. En: Trumper, E.V. y Edelstein, J.E (Eds.). *Chinches fitófagas en soja. Revisión y avances en el estudio de su ecología y manejo*. Ediciones INTA, Manfredi. 190 pp.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Begon, M.; Harper, J.L. y Townsend, C.R. 1999. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. 3ª Edición. Ediciones Omega, Barcelona. 1172 pp.
- Begon, M, Townsend, C.R. y Harper, J.L. 2006. *Ecology. From individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing. Oxford. 759 pp.
- Bibby, C.; Burgess N.D. y Hill, D.A. 1992. *Bird census techniques*. The British Trust for Ornithology and the Royal Society for the Protection of Birds. Academic Press.
- Hays, R.L.; Summers, C. y Seitz, W. 1981. Estimating Wildlife Habitat Variables. Fish and Wildlife Service, U.S.D.I. S/OBS-81/47.
- Southwood, T.R.E. 1996. *Ecological methods*. London, Chapman & Hall. 524 pp.
- Sutherland, W.J. 1996. *Ecological census techniques a handbook*. Cambridge University Press, UK. 336 pp.

Underwood, A.J., 1997. *Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, UK. 504 pp.

Watt, T. 1997. *Introductory Statistics for Biology Students*. Chapman and Hall. London, UK. 256 pp.

Young, L.J. y Young, J.H. 1998. *Statistical Ecology. A population perspective*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 565 pp.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Asociación Argentina de Ecología

<http://www.asaeargentina.com.ar/>

Lista de WWW Sitios de interés para ecólogos

<http://pbil.univ-lyon1.fr/Ecology/Ecology-WWW.html>

Recibido: 26 agosto 2011.

Aceptado: 16 de enero 2012.