

# Técnicas Básicas de Estimación de Abundancia y Diversidad

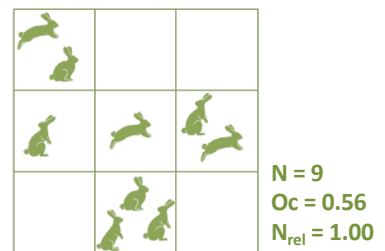
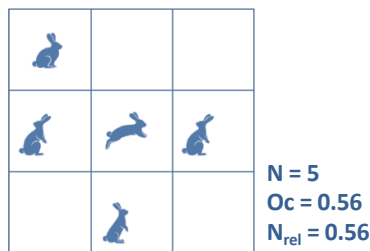
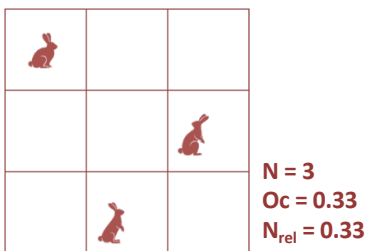
Ariel A. Farías, agosto 2024



## Abundancia y Diversidad como Variables de Estado de Interés

Muchos estudios ambientales requieren estimar en el campo:

- La **incidencia** (probabilidad de presencia, "occupancy"), **abundancia absoluta** (número, cobertura, biomasa) o **relativa** (dónde/cuándo hay más o menos) de organismos en una **población**.



- La **riqueza** (nº), **equidad** (similitud de abundancia), **diferenciación** (en rasgos o filogenética) o **diversidad** (riqueza + equidad + diferenciación) de taxa en una **comunidad**.



## Tipos de Acercamiento (Métodos)

- **Indirecto:** basado en registros de indicios de actividad de los organismos.
  - Generalmente, adecuados para estimar índices de actividad o abundancia relativa.
  - En algunos casos permiten estimaciones de abundancia.

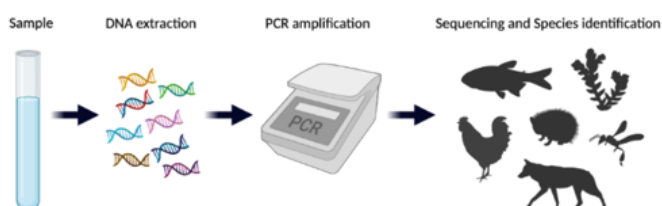
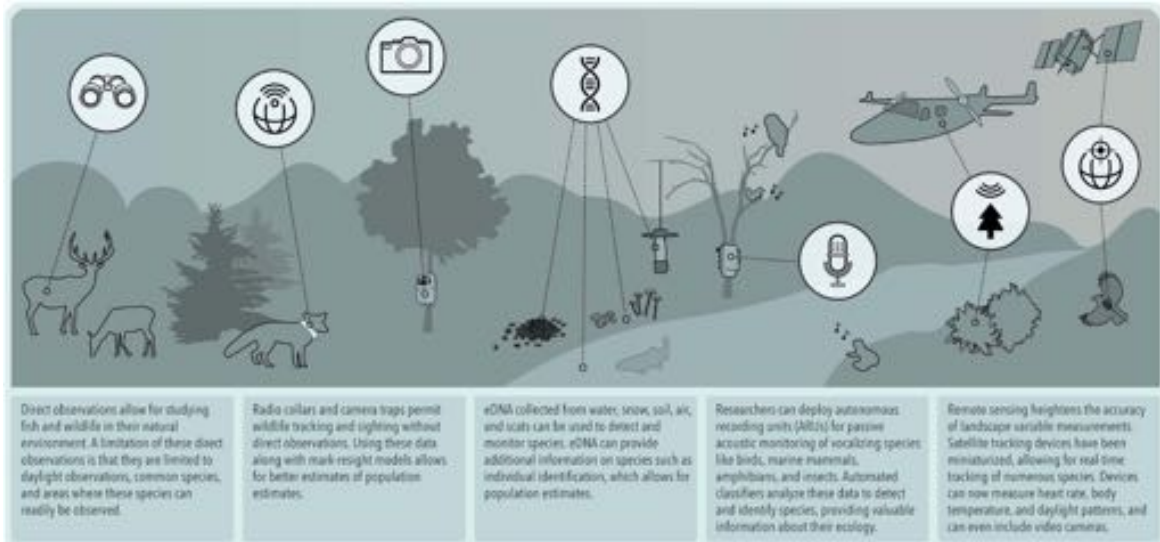


- **Directo:** basado en el registro de los organismos
  - Involucra su observación, escucha o captura de individuos
  - Permite identificación confiable
  - Entrega información precisa sobre parámetros poblacionales
  - Puede entregar información sobre condición, sexo, rasgos
  - Permite la toma de muestras invasiva (captura)



## Nuevas Tecnologías: Oportunidad y Desafío

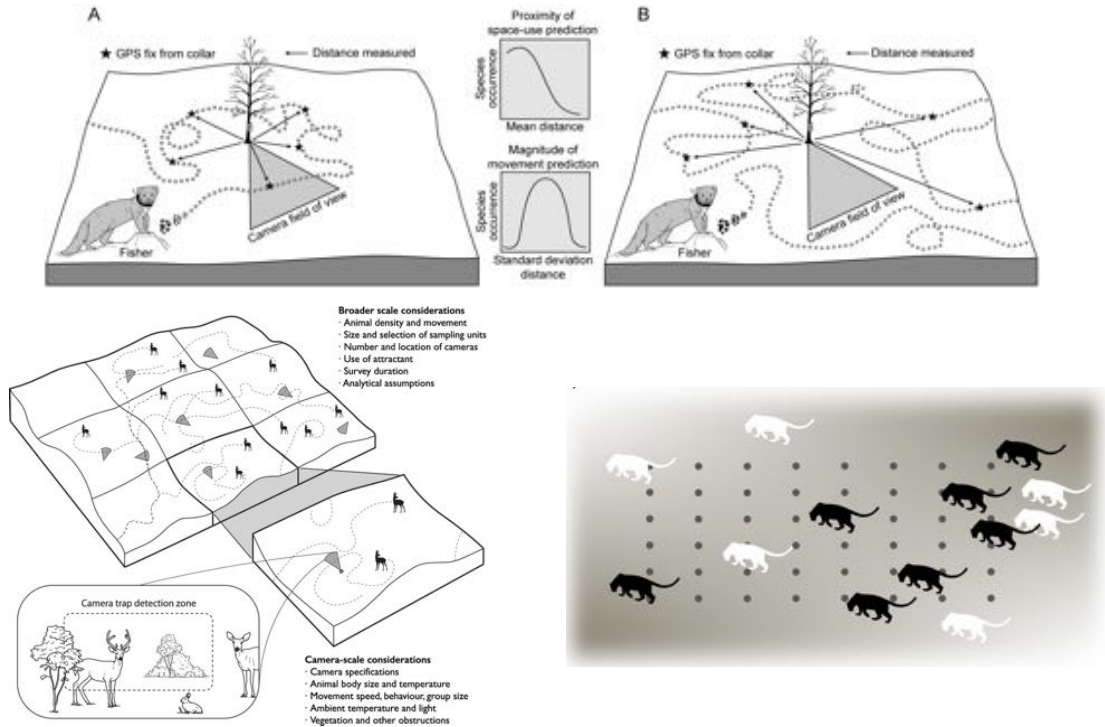
Actualmente, desarrollo acelerado de **nuevas tecnologías**:



Tosa MI, Dziezic EH, Appel CL, Urbina J, Massey A, Ruprecht J, Eriksson CE, Dolliver JE, Lesmeister DB, Betts MG, Peres CA and Levi T (2021) The Rapid Rise of Next-Generation Natural History. *Front. Ecol. Evol.* 9:698131. doi: 10.3389/fevo.2021.698131

# Estimación de abundancia en organismos móviles

**Organismos móviles** (e.g. muchos animales): pueden entrar y salir de una unidad de muestreo (disponibilidad parcial) o mostrar comportamientos de evitación (o acercamiento), pudiendo sesgar las estimaciones.



# Estimación de abundancia en organismos móviles

- Gran parte de los estudios de campo requieren estimar **abundancia absoluta o relativa**.
- Raramente es posible realizar censos, por lo que debe inferirse a partir de **muestras**.
- Los organismos móviles pueden ser **difíciles de detectar**:
  - **Entran y salen** de la unidad de muestreo (i.e. **disponibilidad para la detección** variable)
  - Pueden mostrar **comportamientos de evitación** (o atracción)

Dificultad en colecta de datos en campo:

Los organismos deben ser detectados

- ↳ Prob. de detección:  $\leq 1$  (i.e. **detectabilidad imperfecta**).
- ↳ Sesgos de estimación  $\Rightarrow$  corregidos o interpretados.



$$N = I/K$$

$N$ : abundancia  
 $I$ : organismos detectados (i.e. obs., capturados)  
 $K$ : detectabilidad ( $<1$ )

$$K = f(m, b, n, d)$$

$m$ : eficiencia del método  
 $b$ : biología (taxón, historia natural, etc.)  
 $n$ : esfuerzo de muestreo  
 $d$ : disponibilidad (para ser detectado)



## Compromiso Costo-Detectabilidad

Los objetivos del estudio, junto con los *costos logísticos* del muestreo y la *detectabilidad* de los organismos, determinarán los parámetros poblacionales que deban y puedan ser estimados.



## Abundancia Relativa: Índices

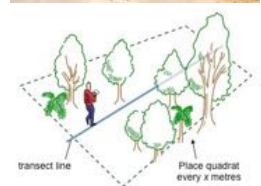
- ✓ Rápidos y sencillos, útiles para comparaciones y prospecciones o estudios piloto, o cuando no se requieren estimaciones de densidad o abundancia poblacional absolutas.
- ✓ No requieren conocer detectabilidad...
- ✓ ... pero asumen que es homogénea.

**Índice "Kilométrico" de Abundancia (IKA):** registra el número de individuos (o indicios) detectados por unidad de distancia recorrida (lineal o en banda de ancho conocido).

**Índice Puntual de Abundancia (IPA):** registra, desde un punto fijo, todos los organismos detectados durante un tiempo determinado.

**Índice de Captura:** razón entre el número de individuos capturados y el número de trampas utilizadas y tiempo en estas estuvieron activas.

**Número mínimo de individuos conocidos vivos (MNKA):** Número mínimo de individuos identificados durante un período de trampeo u observación.

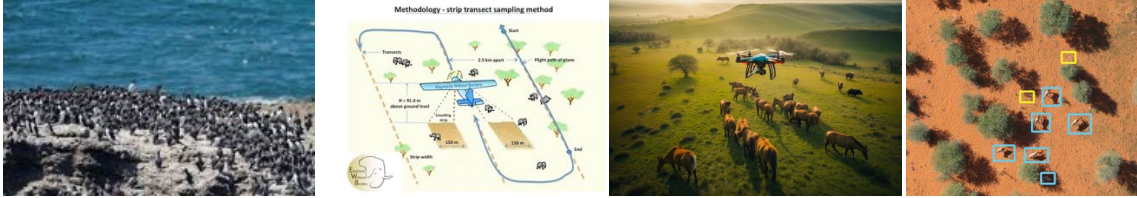


# Abundancia Absoluta: Métodos Exhaustivos

**Abundancia Absoluta:** Número total de individuos en un área y período determinados.

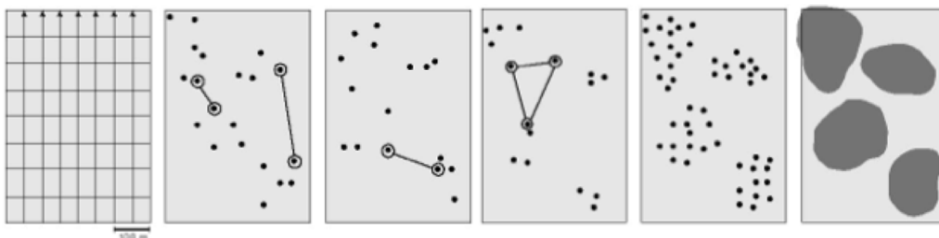
**Métodos Exhaustivos:** diseñados para asegurar detectabilidad (casi) completa (i.e.  $C \approx 1$ ).

**Conteo Completo (i.e. Censo):** contabiliza todos los individuos en la población, particularmente útil en sitios de anidamiento o descanso fijos y agregados.



**Conteo en Parcelas:** recorrido exhaustivo de un área definida registrando todos los individuos presentes.

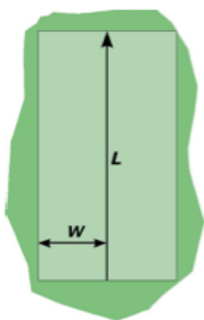
✓ Adecuado para estimar número de parejas reproductivas (e.g. nidos) y *mapeo de territorios*.



Usualmente **logísticamente costosos** o técnicamente imposibles: uso **raro** limitado a **situaciones particulares**.

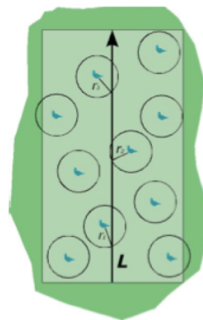
# Abundancia Absoluta: Detectabilidad Imperfecta Conocida

**Transectos:** registro de los individuos detectados a cada lado de un transecto lineal al recorrer una distancia determinada y a una velocidad fija.



Si la detección es perfecta:  $D = \frac{n}{2WL}$

Si la detección es imperfecta:  $D = \frac{n}{2WLC}$



Con distancia mínima de detección:  $D = \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}$

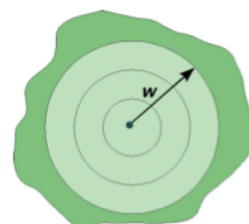
$D$ : densidad  
 $n$ : nº de individuos detectados  
 $W$ : ancho del área de muestreo  
 $L$ : longitud del área de muestreo  
 $C$ : coeficiente de detectabilidad  
 $r_i$ : distancia de detección o "huida"

**Puntos de conteo:** registro de los individuos detectados dentro de un área circular de radio prefijado, durante un período de tiempo determinado.

✓ Adecuado para terrenos abruptos o heterogéneos.

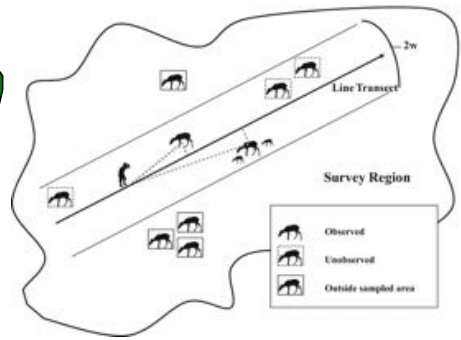
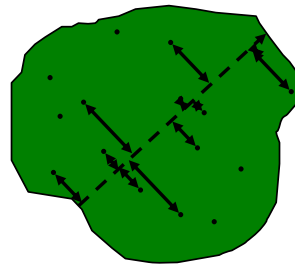
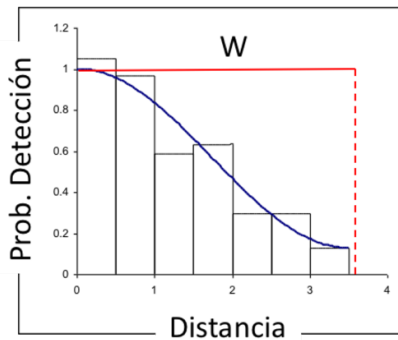
$$D = \frac{n}{\pi W^2 C}$$

$D$ : densidad  
 $n$ : nº de individuos detectados  
 $W$ : radio de la unidad muestral  
 $C$ : coeficiente de detectabilidad

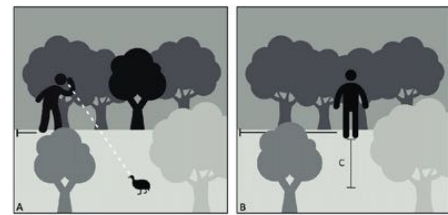
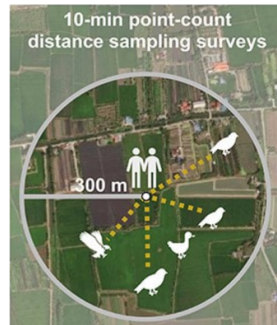


## Abundancia Absoluta: Métodos de Distancia

**Muestreo de Distancia** ("Distance sampling"): A lo largo de un transecto o en punto de conteo se registran todos los individuos detectados y la distancia hasta estos (perpendicular en el caso de transectos).



Presupone que la probabilidad de detección es heterogénea en el área y disminuye con la distancia (e.g. caída logística o exponencial), y que a distancia cero la detección es perfecta.



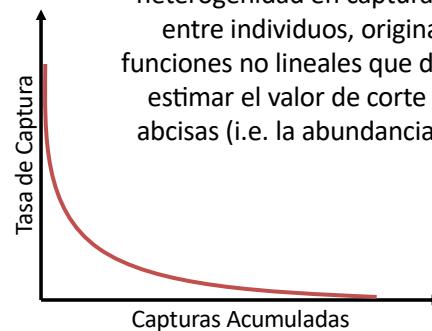
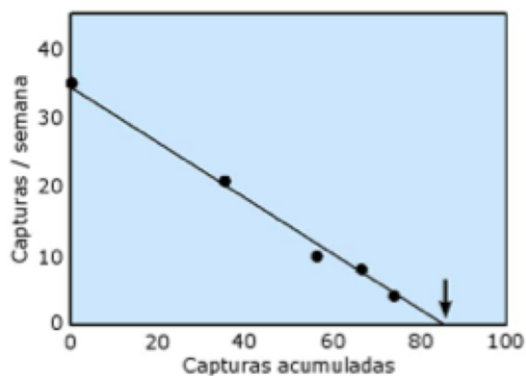
## Abundancia Absoluta: Métodos de Control de Capturas

**Capturas Acumuladas**: análisis de la relación decreciente entre el número de capturas nuevas en una sesión y el total acumulado hasta el momento; el punto de corte de las abcisas corresponde al tamaño poblacional total.

- ✓ Adecuado para captura con remoción (e.g. especies cinegéticas, pesquerías) o con marcaje
- ✓ Útil cuando no se pueden identificar individuos

Presupone:

- Capturabilidad homogénea entre individuos
- Población cerrada



La tasa de captura suele cambiar con la extracción, acentuado por la heterogeneidad en capturabilidad entre individuos, originando funciones no lineales que dificultan estimar el valor de corte en las abcisas (i.e. la abundancia total).

**Control de Capturas**: uso de información de sesiones de captura previas al estimar abundancia.

## Abundancia Absoluta: Métodos de Control de Capturas

**Marcaje-Recaptura:** individuos capturados en una sesión son marcados y liberados, y se registra la proporción de los marcados en siguientes sesiones de captura.

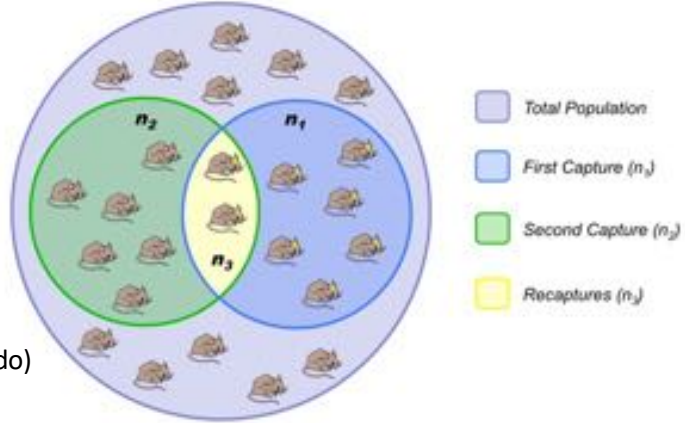
$$\frac{m}{n} = \frac{M}{N} \quad \left\{ \begin{array}{l} M: \text{individuos capturados y marcados en la primera sesión} \\ m: \text{individuos marcados capturados en la siguiente sesión} \\ n: \text{individuos capturados en la siguiente sesión} \\ N: \text{tamaño poblacional} \end{array} \right.$$

**Método de Petersen:** más sencillo

- 2 sesiones
- supone población cerrada.

$$N = \frac{M \cdot n}{m} \quad (\text{estimador sesgado})$$

$$N = \frac{(M+1) \cdot (n+1)}{(m+1)} - 1 \quad (\text{estimador insesgado}) \quad (\text{Seber 1982})$$



## Abundancia Absoluta: Métodos de Control de Capturas

**Marcaje-Recaptura:** individuos capturados en una sesión son marcados y liberados, y se registra la proporción de los marcados en siguientes sesiones de captura.

**Método de Jolly-Seber:** más complejo, estima tamaño poblacional en diferentes períodos

- Varias sesiones
- Útil para poblaciones abiertas

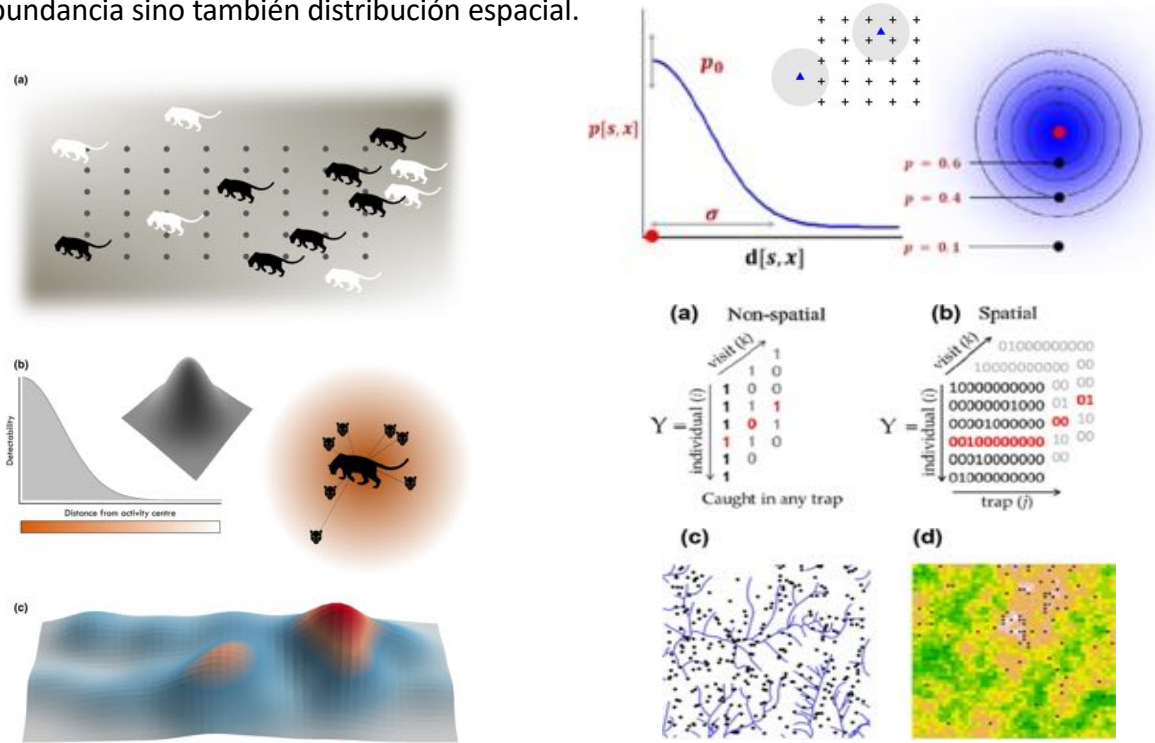
$$\frac{z_i}{M_i - m_i} = \frac{y_i}{r_i} \quad \left\{ \begin{array}{l} M_i - m_i: \text{indiv. marcados existentes al momento } i \\ z_i: \text{fracción de individuos marcados a tiempo } i \text{ y recapturados} \\ y_i: \text{n}^\circ \text{ indiv. marcados el día } i \text{ y que serán recapturados} \\ r_i: \text{n}^\circ \text{ indiv. liberados el día } i \end{array} \right.$$

$$N_i = n_i + \frac{z_i r_i n_i}{y_i m_i}$$

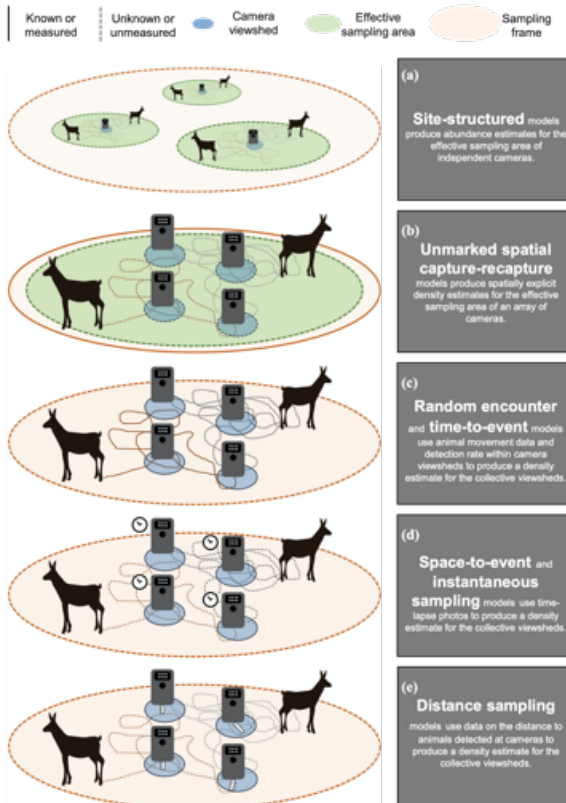
Día	Capturados	Liberados	Capturados en <i>i</i> y marcados en <i>j</i>						$m_i$	$y_i$	$z_i$	$N_i$	SE( $N_i$ )
			$j = 1$	2	3	4	5	6					
1	75	74	—						15	—	—	—	—
2	80	80	9	—				9	22	6	274	76	
3	79	76	3	11	—			14	31	14	273	48	
4	90	90	2	5	15	—		22	34	23	339	53	
5	111	110	0	2	9	16	—	27	18	30	865	206	
6	107	105	1	3	5	11	13	—	33	18	391	90	
7	121	119	0	1	2	7	5	18	33	—	—	—	
				$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$					

# Abundancia Absoluta: Métodos de Control de Capturas

**Marcaje-Recaptura Espacial:** considera la disminución de la probabilidad de “captura” de un individuo en los márgenes de su área de acción, y usa esta información para estimar no sólo abundancia sino también distribución espacial.



# Abundancia Absoluta: Individuos No Marcados



Basado en conteo de individuos registrados en un área adecuada.

Tiene supuestos sobre la detectabilidad de cada individuo, y utiliza información accesoria (por ej. de telemetría).

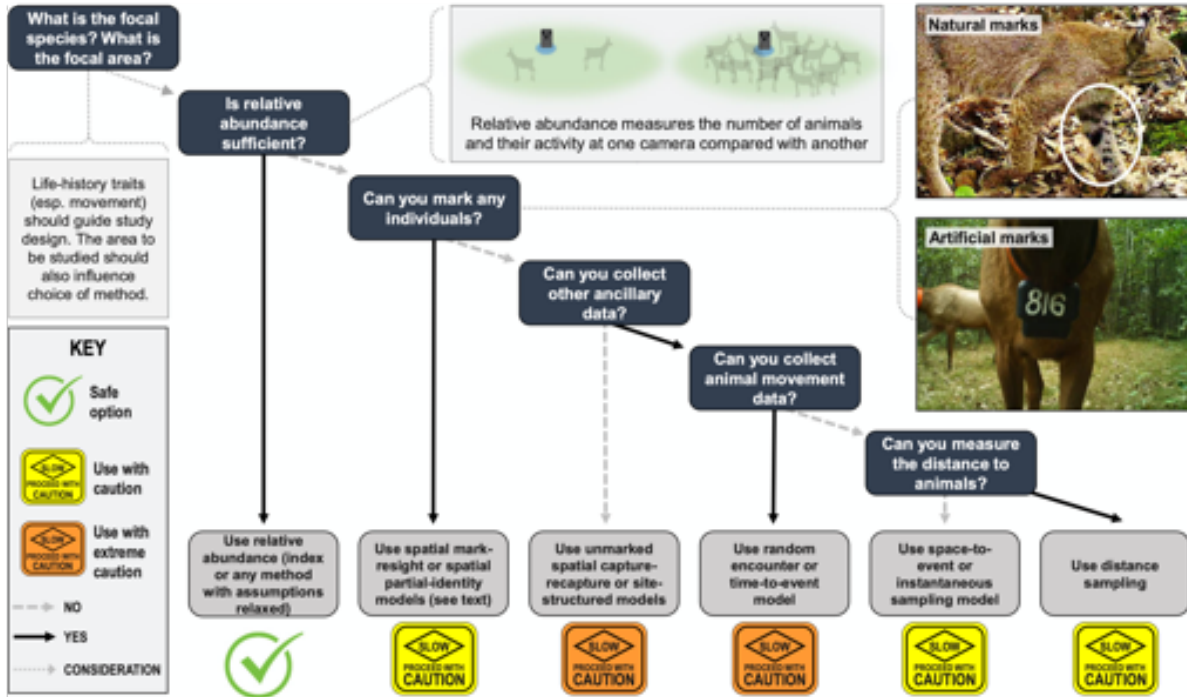
Requiere información accesoria (por ej. de telemetría) sobre velocidades de movimiento, y presupone determinados tipos de movimiento.

Utiliza el tiempo entre registros consecutivos de la especie, usando información accesoria y haciendo supuestos de distribución.

Muestreo de distancia aplicado a dispositivos automáticos. Requiere información sobre área de registro del dispositivo y referencia para estimar la distancia



# Abundancia Absoluta: ¿Qué métodos utilizar?



Gilbert, N. A., Clare, J. D., Stenglein, J. L., & Zuckerberg, B. (2021). Abundance estimation of unmarked animals based on camera-trap data. *Cons. Biol.* 35(1):88-100.

# Incidencia ("ocupancia"): Modelos Jerárquicos de Ocupación

Modelar la probabilidad de presencia de una especie a partir de registros de campo bajo detección imperfecta.

## Sub-modelo de Ocupación (Proceso Ecológico):

$$Z_i \sim \text{Binom}(n, \Psi_i)$$

donde:

$$\text{logit}(\Psi_i) = \alpha_i + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_r x_{is} + \varepsilon_i$$

## Sub-modelo de Detección (Proceso de Observación):

$$y_{ij} \sim \text{Binom}(m, p_{ij} | \Psi_i) = \text{Binom}(m, \Psi_i \cdot p_{ij})$$

donde:

$$\text{logit}(p_{ij}) = \gamma_{ij} + \delta_{i1} x_{ij1} + \dots + \delta_{is} x_{ijs} + \varepsilon_{ij}$$

$Z_i$ : Ocupación  
(i.e. Presencia = 1, Ausencia = 0)

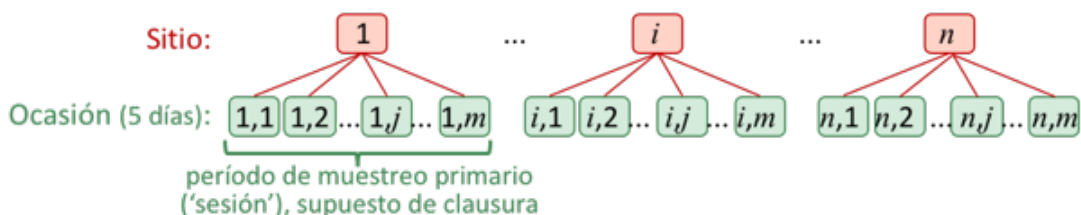
$y_{ij}$ : Detección  
(i.e. Detectado = 1, No Detectado = 0)

$\Psi_i$ : Probabilidad de Ocupación

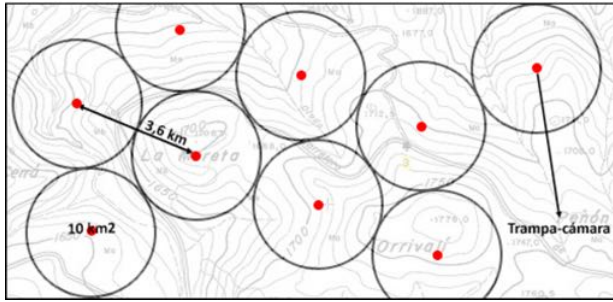
$p_{ij}$ : Probabilidad de Detección dado que está presente (i.e.  $Z_i = 1$ )

$n$ : Número de Unidades de Muestreo ("Sitios")

$m$ : Número de Ocasiones de Muestreo (dentro del período, para un sitio)

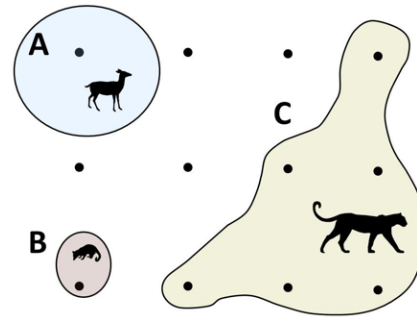


# Incidencia & Uso de Hábitats: Modelos Jerárquicos de Ocupación



Ejemplo: relevamiento de pumas, Norte de Chile.

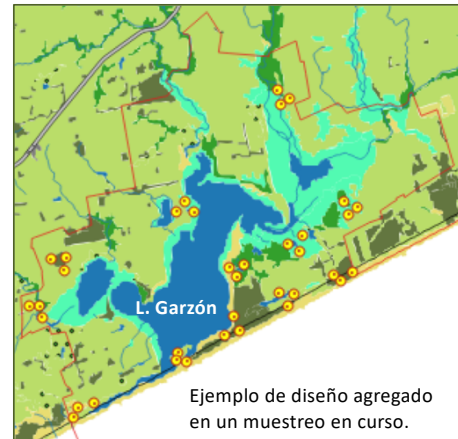
En: Iriarte, J.A. (2008) Mamíferos de Chile. Lynx Edicions, Barcelona, España.



En: Abrams, et al. 2018. Studying terrestrial mammals in tropical rainforests. A user guide for camera-trapping and environmental DNA. Leibniz-IZW, Berlin, Germany.

La distancia entre dispositivos de muestreo depende del objetivo del trabajo.

- Ocupación ('ocupancia'), distribución, uso de hábitat: 1 o 2 veces el diámetro máximo promedio del territorio o área de acción (home-range)
- Uso de microhábitats, abundancia (métodos de captura-recaptura espaciales): 2 o más cámaras dentro de un home-range "típico".
- Combinación de usos en diseños agregados; evaluación de procesos multinivel.



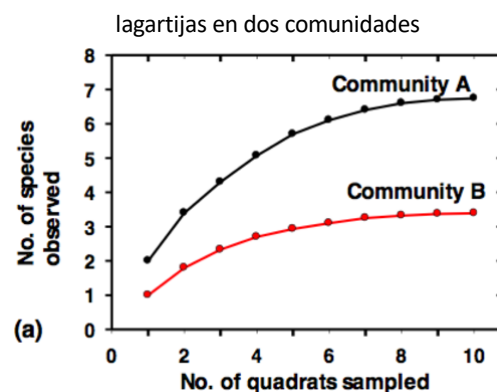
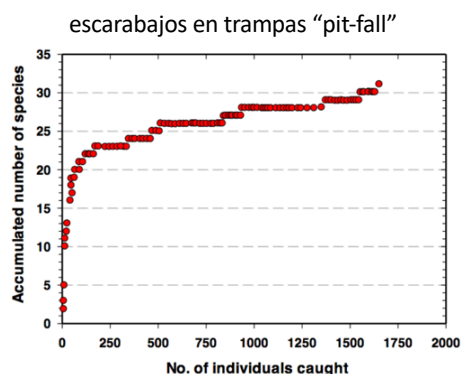
Ejemplo de diseño agregado en un muestreo en curso.

## Diversidad: Riqueza

La riqueza observada tiende a aumentar asintóticamente con el tamaño de la muestra, hasta alcanzar la riqueza real.

*Curvas de Acumulación de Especies*: muestran el incremento en el nº de especies detectadas a medida que se incrementa el nº de individuos observados (o de unidades de muestreo).

- Permite *corregir los efectos del tamaño de muestra* sobre la estimación de la diversidad, para estimar la *riqueza real* (i.e. *asíntota* de la función) o comparar muestras distintas (i.e. comparar curvas)



## Diversidad: Riqueza

La riqueza observada tiende a aumentar asintóticamente con el tamaño de la muestra, hasta alcanzar la riqueza real.

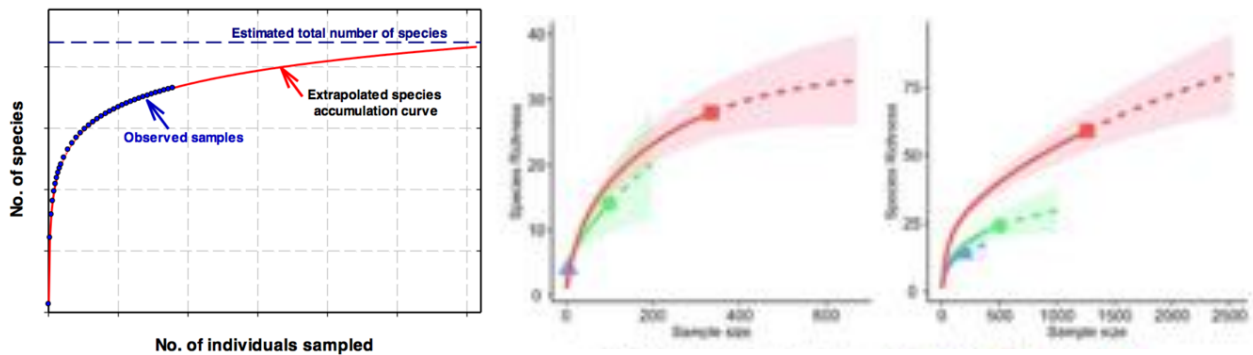
**Curvas de Rarefacción:** re-muestreo de los datos con distintos tamaños de muestra (número de unidades de muestreo o individuos), graficando la función de acumulación.

- Permite *corregir los efectos del tamaño de muestra* sobre la estimación de la diversidad, para estimar la *riqueza real* (i.e. *asíntota* de la función) o comparar muestras distintas (i.e. comparar curvas).
- Permite *estimar intervalos de confianza* y realizar inferencia estadística.

- No depende de supuestos de distribución; 2 opciones para el cálculo de S:

**S** = asíntota de la función (*extrapolación*: menos recomendado, sólo si el valor real de S es relevante)

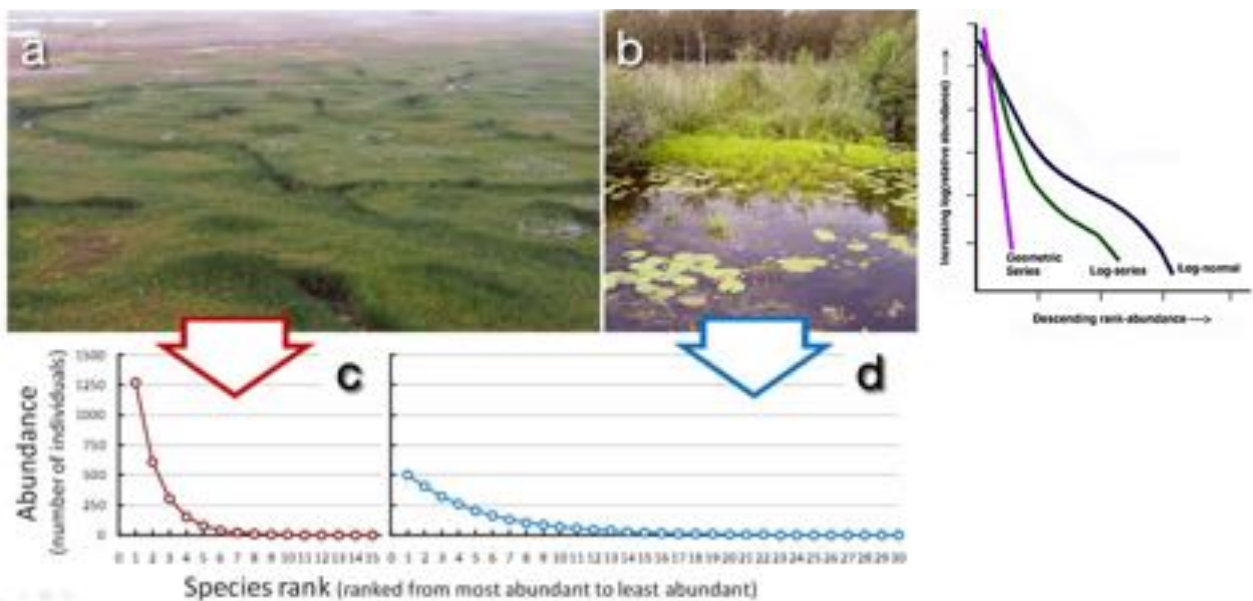
**S** = valor a un tamaño de muestra estándar.



## Diversidad: Equidad

Las *diferencias en abundancia (y detectabilidad)* de los organismos de distintas especies agrega *complejidad* a las estimaciones y comparaciones de la diversidad.

**Curvas de Abundancia-Rango:** primera aproximación a la caracterización y comparación conjunta de la riqueza y la equidad de una comunidad.





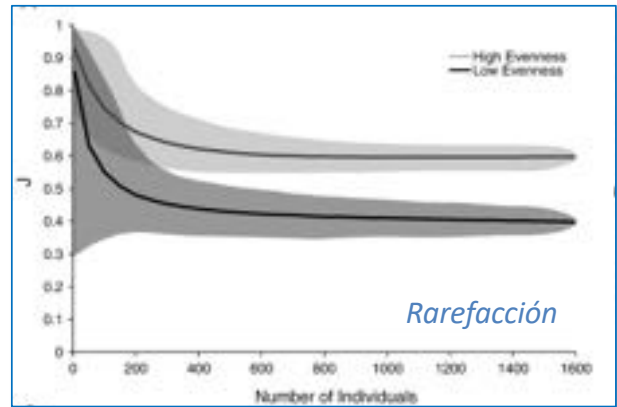
**Índice de Simpson:** probabilidad de que 2 indiv. tomados al azar pertenezcan al mismo taxa.

$$D = \sum p_i^2 \quad \text{original (dominancia)}$$

$$1 - D = 1 - \sum (p_i)^2 \quad \text{complemento (ind. Gini-Simpson)}$$

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{\sum p_i^2} \rightarrow E_{(1/D)} = \frac{(1/D)}{S} \quad \text{Equidad}$$

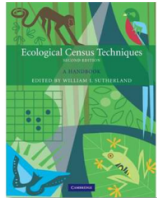
inverso (diversidad)



**Índice de Shannon:** probabilidad de que el 2do indiv. pertenezca a otro taxa.

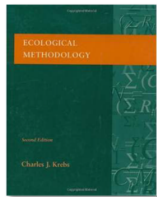
$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i) \rightarrow J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad \text{Equidad (ind. Pielou)}$$

## Bibliografía Recomendada



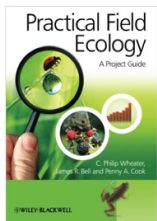
Sutherland, W.J. (ed.) (2006). *Ecological Census Techniques: A Handbook*, 2nd ed. Cambridge Univ. Press.

Buena descripción de técnicas básicas de muestreo e instrumental para distintos tipos de organismos y para variables ambientales.



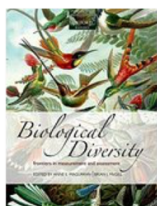
Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Welsey Euc. Pub.

Descripción detallada de metodologías de campo (principalmente diseño de muestreo) y analíticas para distintos objetivos. Énfasis algo mayor en estudios de abundancia, distribución y diversidad. Referencia clásica.



Weather, C.P. & P.A. Cook (2011). *Practical Field Ecology*. Wiley-Blackwell.

Descripción detallada de metodologías de campo para distintos tipos de organismos y variables ambientales, y discusión muy básica de técnicas analíticas y formas de presentación de resultados.



Magurran, A.E. & B.J. McGill (2011). *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*. Oxford Univ. Press.

Discusión detallada de métodos de estudio y cuantificación de biodiversidad. Nivel avanzado en ecología para la discusión teórica. Buena guía para la selección de índices