

Métodos de Estimación de Abundancia



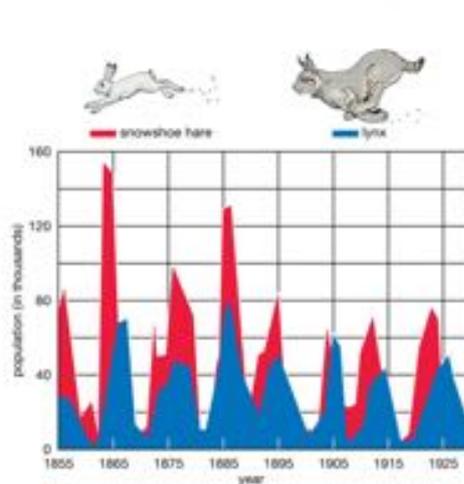
Curso de Campo en Técnicas de Prospección de Poblaciones de Vertebrados Terrestres (PEDECIBA)

Ariel Farías, febrero 2025



Objetivos de la clase

1. Conocer los *principales métodos de estimación de abundancia* utilizados para tetrápodos.
2. Entender las *principales ventajas y desventajas* de cada métodos y sus fundamentos conceptuales.
3. Comparar el tipo de *información entregada* por cada método.
4. Entender los principales *requisitos y alcances* de cada método.



© Encyclopædia Britannica, Inc.



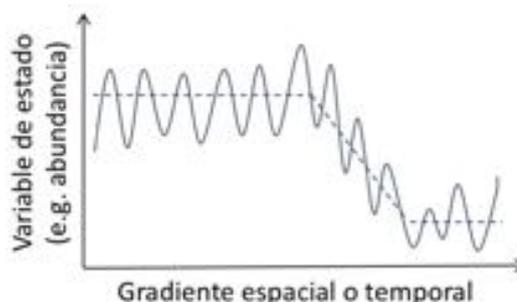


Proceso de **colecta de información sobre variables** (e.g. abundancia de una especie) dentro de un sistema de interés (e.g. área protegida), para **caracterizarlo**.

Prospección ("Survey") o Monitoreo Prospectivo ("Surveillance Monitoring"): Cuantificar **patrones de variación** en el sistema (i.e. cambio en variable en tiempo o espacio, o en función de otra variable), no guiado por una expectativa a priori.

Objetivo: *comprensión, predicción, exploración, elaboración de líneas base.*

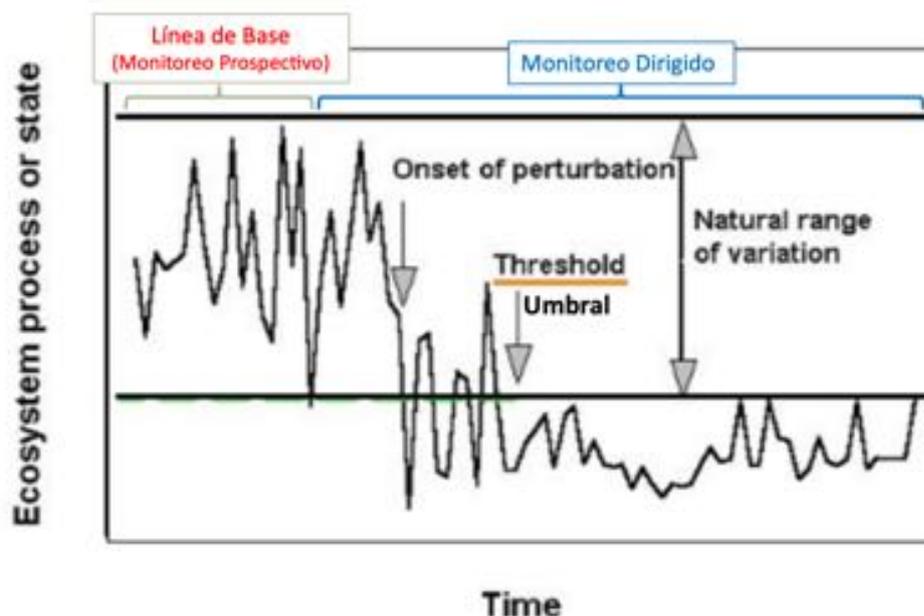
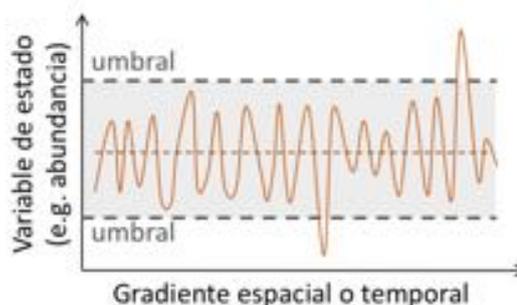
Ideal para generar conocimiento nuevo.



Monitoreo ("Monitoring") o Monitoreo Dirigido ("Targeted Monitoring"): Existen **metas (o umbrales)** de interés; se realizan prospecciones para evaluar el estado del sistema en relación con dichas metas.

Objetivo: *manejo, toma de decisiones* (también *comprensión y predicción*).

Ideal en un contexto de manejo.



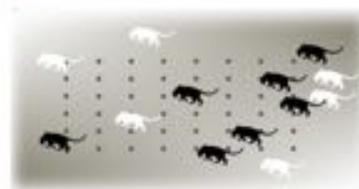
El monitoreo prospectivo y el monitoreo dirigido brindan visiones complementarias de un sistema de estudio y pueden constituir distintas etapas dentro de un plan de conservación o manejo.

Estimación de abundancia en organismos móviles



Muchos estudios de campo requieren estimar *abundancia absoluta* o *relativa*. **Problema:**

- Raramente es posible realizar censos (i.e. debe inferirse a partir de *muestras*).
- Los organismos móviles pueden ser **difíciles de detectar**:
 - **Entran y salen** de la unidad de muestreo
 - Pueden mostrar **comportamientos de evitación** (o atracción)

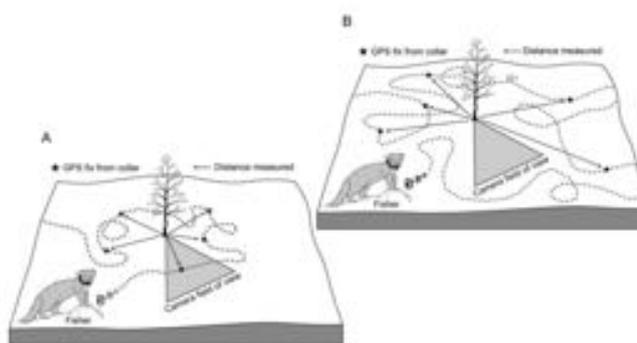
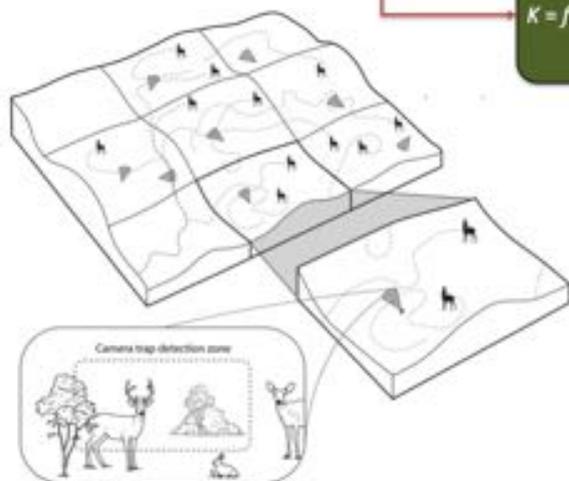


$$N = I/K$$

N : abundancia
 I : organismos detectados (i.e. observados/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)



Compromisos a considerar



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



Métodos de Estimación de Abundancia: Censos Completos

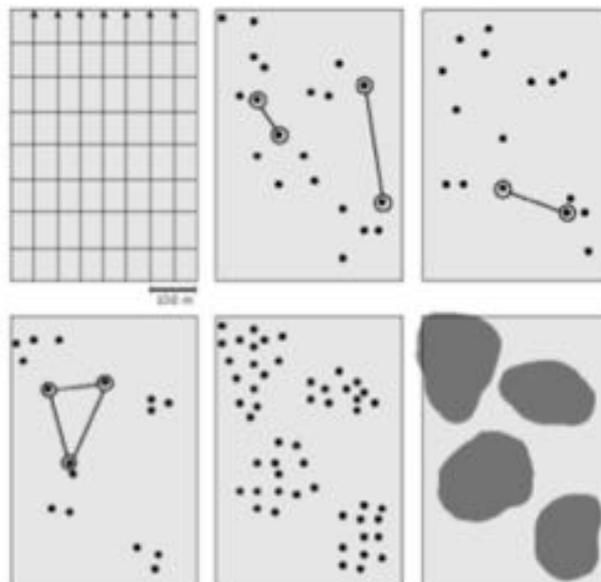


Estimaciones absolutas: situación ideal, implica realizar un censo controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.

Parcelas: recorrido exhaustivo de un área definida tratando de registrar todos los individuos presentes.

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



Conteo completo: en ocasiones se pueden contabilizar todos los individuos en la población, particularmente cuando presentan sitios de anidamiento o descanso fijos y agregados.

Métodos de Estimación de Abundancia: Índices de Abundancia Relativa



Índices de abundancia relativa: número de registros estandarizado por esfuerzo de muestreo.

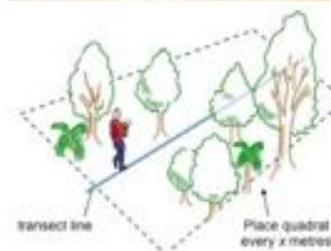
- ✓ Rápidos y sencillos, útiles para comparaciones y prospecciones o estudios piloto, o cuando no se requieren estimaciones absolutas de densidad o abundancia poblacional (e.g. registro de tendencias).
- ✓ No consideran detectabilidad.

Índice "Kilométrico" de Abundancia (IKA): registra el número de individuos detectados por unidad de distancia (controla por distancia); 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 (controla por tiempo).

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.



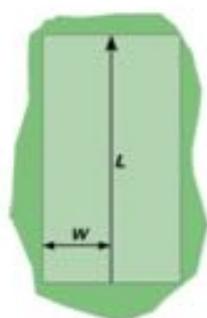
Métodos de Estimación de Abundancia: Conteos Directos



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Conteo en Transectos:* registro de los individuos detectados dentro de una distancia determinada a cada lado de un transecto lineal.

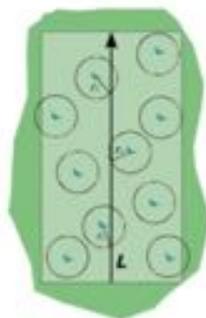


Si la detección es perfecta:

$$D = \frac{n}{2WL}$$

Si la detección es imperfecta:

$$D = \frac{n}{2WLC}$$



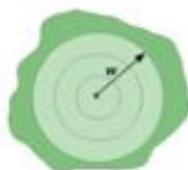
Con distancia mínima de detección:

$$D = \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}$$

➤ *Puntos de conteo:* registro de los individuos detectados dentro de un área circular de radio prefijado.

- ✓ Adecuado para terrenos abruptos o muy heterogéneos.

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



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

Métodos de Estimación de Abundancia: Métodos de Distancia

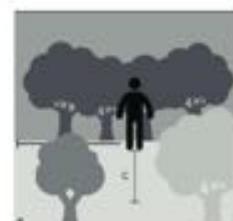
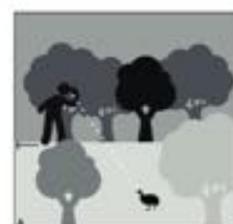
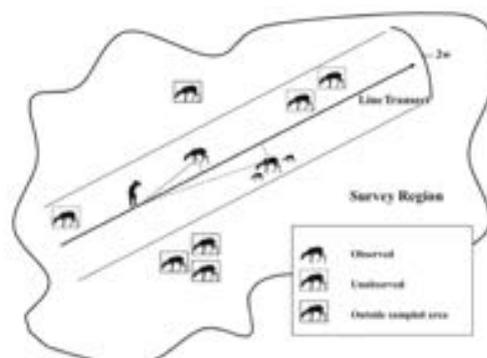
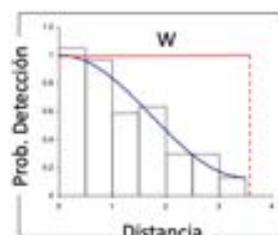


Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Muestreo de Distancia ("Distance sampling"):* a lo largo de un transecto o estación de muestro se registran todos los individuos detectados y la distancia hasta estos (distancia perpendicular en transectos).

- ❖ Presupone que la probabilidad de detección (*C*) disminuye con la distancia (e.g. caída logística o exponencial), y que a distancia cero la detección es perfecta.



Métodos de Estimación de Abundancia: Capturas Acumuladas



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

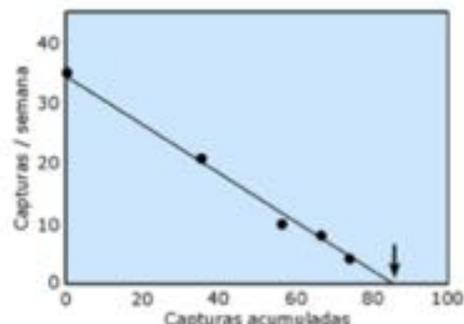
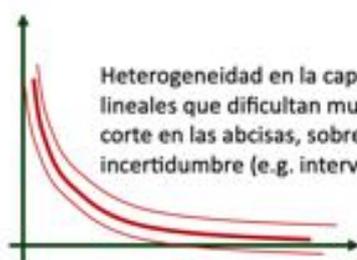
➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

○ *Capturas Acumuladas:* analiza 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 abscisas corresponde al tamaño poblacional total.

- ✓ Adecuado para especies cinagéticas
- ✓ Útil cuando no se pueden identificar individuos

Presupone:

- Capturabilidad homogénea entre individuos (conveniente)
- Población cerrada



Métodos de Estimación de Abundancia: Marcaje Recaptura

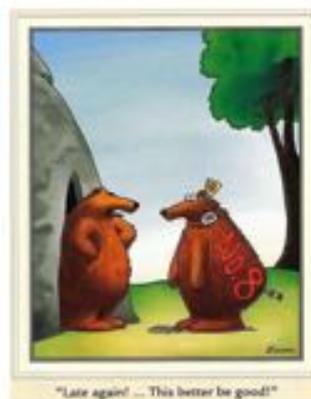


Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

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



Métodos de Estimación de Abundancia: Marcaje Recaptura



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

○ *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 Petersen:** método más sencillo (2 sesiones); supone población cerrada.

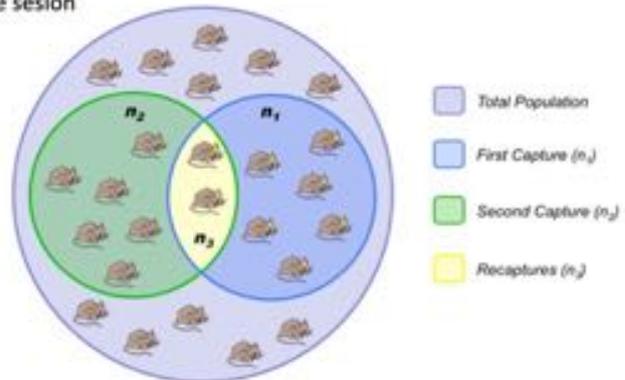
$$\frac{m}{n} = \frac{M}{N}$$

M : individuos capturados y marcados en la primera sesión
 m : individuos marcados capturados en la siguiente sesión
 n : individuos capturados en la siguiente sesión
 N : tamaño poblacional

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

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

(Seber 1982)



Métodos de Estimación de Abundancia: Marcaje Recaptura



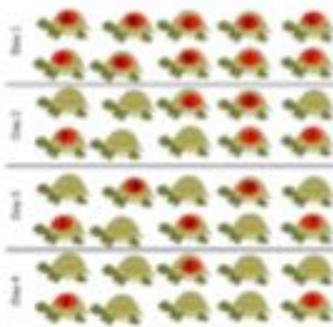
Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

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

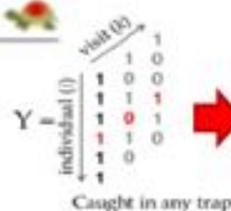
▪ **Método de Jolly-Seber:** más complejo (varias sesiones); estima tamaño poblacional en diferentes períodos (útil para poblaciones abiertas).



$$\frac{z_i}{M_i - m_i} = \frac{y_i}{r_i}$$

$M_i - m_i$: indiv. marcados existentes al momento i
 z_i : fracción de individuos marcados a tiempo i y recapturados
 y_i : n° indiv. marcados el día i y que serán recapturados
 r_i : n° indiv. liberados el día i

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



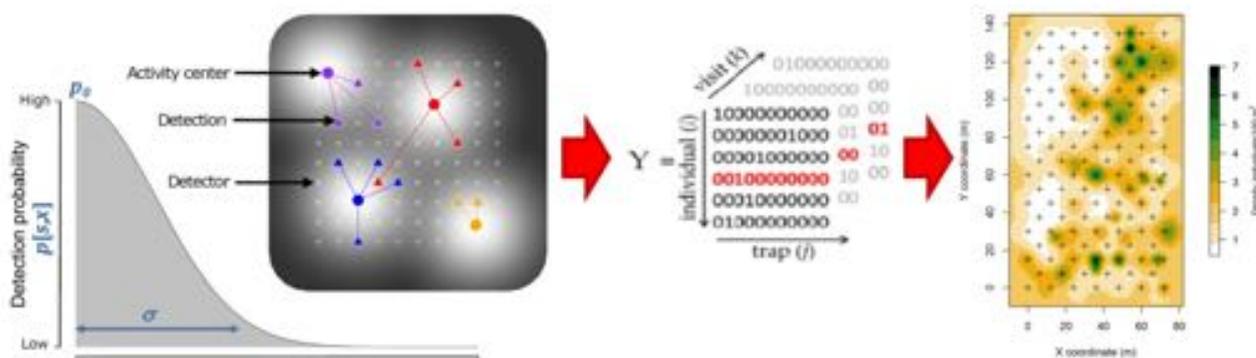
Día	Capturados		Capturados en i y marcados en j						m_i	y_i	z_i	N_i	SE(N_i)	
	n_i	r_i	$j=1$	2	3	4	5	6						
1	75	74	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—
2	80	80	9	—	—	—	—	—	9	22	6	274	76	
3	79	76	3	11	—	—	—	—	14	31	14	273	48	
4	90	90	2	5	15	—	—	—	22	34	23	339	53	
5	111	110	0	2	9	16	—	—	27	18	30	865	206	
6	107	105	1	3	5	11	13	—	33	18	15	301	90	
7	121	119	0	1	2	7	5	18	33	—	—	—	—	

Métodos de Estimación de Abundancia: Marcaje Recaptura



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad
- *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.
- *Marcaje-Recaptura:* individuos capturados en una sesión son marcados y liberados, y se registra la proporción de los marcados en siguientes sesiones de captura.
- **Métodos de Marcaje Recaptura Espaciales:** 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.



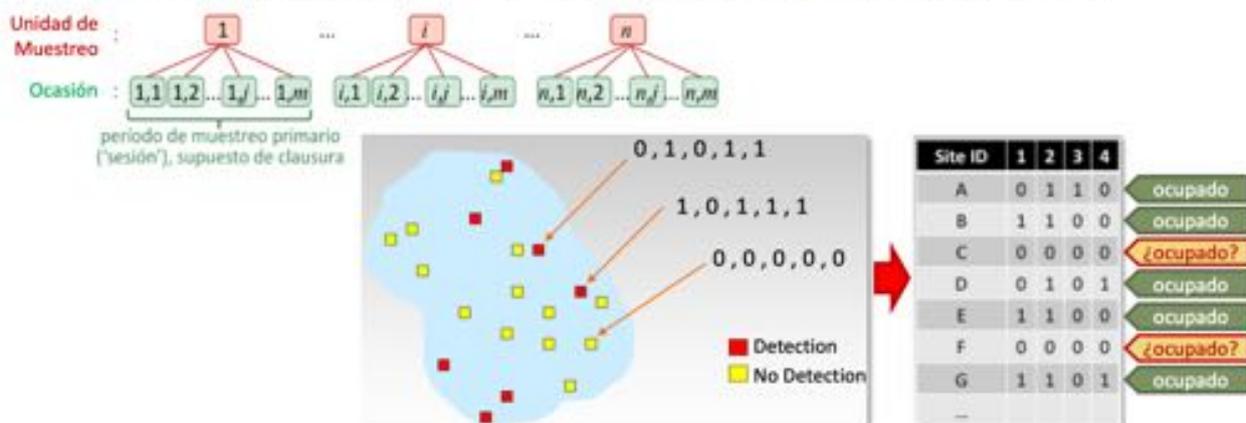
Al estimar explícitamente la distribución de la densidad en el espacio, elimina los sesgos que surgen al definir arbitrariamente el "área de influencia" del sistema de muestreo.

Métodos de Estimación de Abundancia: Modelos de Ocupación



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad
- *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.
- *Modelos de 'Ocupancia'* (i.e. "Occupancy"): modelos que estiman la proporción del espacio ocupada por (i.e. con presencia de) al menos un individuo de la especie de interés (\approx *Incidencia*).
- ❖ Usado **originalmente** como **proxy de abundancia** (especies sésiles o territoriales), para monitoreo rápido (y barato) de tendencias poblacionales.
- ❖ **Dato:** **historiales de registro** (ocasiones repetidas) en muestra de sitios para estimar **probabilidad de detección** (p) cuando presentes; corrige estimaciones de **probabilidad de ocupación** (Ψ) en unidades sin registros.





Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

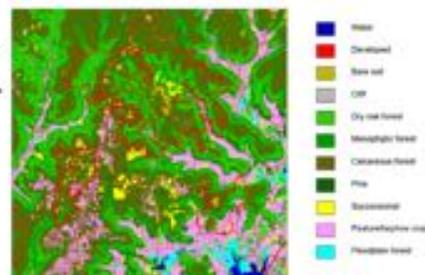
➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

○ *Modelos de 'Ocupancia'* (i.e. "Occupancy"): modelos que estiman la proporción del espacio ocupada por (i.e. con presencia de) al menos un individuo de la especie de interés (= *Incidencia*).

❖ *Supuesto de Clausura* (o *Aislamiento*): la **probabilidad de ocupación (Ψ) no varía** durante el periodo de muestreo (i.e. no varía entre ocasiones dentro de una misma sesión de muestreo); implica ausencia de efectos notorios de migración, natalidad, mortalidad, etc.

❖ Se pueden incluir covariables a nivel de sitio tanto para Ψ como para p .

❖ Sólo se pueden incluir covariables temporales a nivel de ocasión para p .



Modelo Jerárquico

Sub-modelo de proceso (ocupación)

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

$$\text{logit}(\Psi_i) = \alpha_i + \beta_{1i} x_{i1} + \dots + \beta_{ri} x_{ir} + \epsilon_i$$

Submodelo de observación (detección)

$$y_{ij} \sim \text{Binom}(o, p_{ij} | \theta_i)$$

$$\text{logit}(p_{ij}) = \phi_{ijk1} + \gamma_{ij1} x_{ij1} + \dots + \beta_{ijt} x_{ijt} + \epsilon_{ij}$$

	Surv.1	Surv.2	Surv.3	Surv.4	Buffet%	Time.1	Time.2	Time.3	Time.4
Site 1	0	1	1	0	40	M	E	M	E
Site 2	1	1	1	1	60	E	M	E	M
Site 3	1	0	0	0	20	E	M	E	M
Site 4	0	0	0	0	10	M	E	M	E

M = morning
E = evening



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

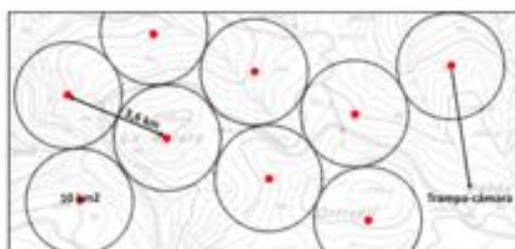
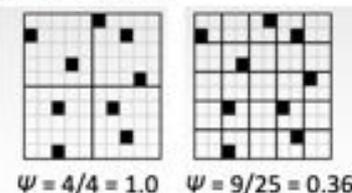
➤ *Control de Capturas:* usa información de sesiones de captura precedentes para estimar abundancia.

○ *Modelos de 'Ocupancia'* (i.e. "Occupancy"): modelos que estiman la proporción del espacio ocupada por (i.e. con presencia de) al menos un individuo de la especie de interés (= *Incidencia*).

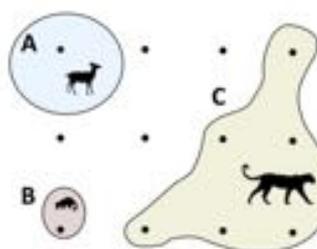
❖ La **resolución espacial y temporal** (i.e. tamaño y duración de la unidad de muestreo) **afecta la estimación de Ψ** : debe tener **sentido biológico** (e.g. unidades naturales de hábitat, tamaño de ámbito de hogar, etc.).

❖ Varias unidades de muestreo dentro del ámbito de hogar de un individuo pueden registrar selección de hábitat en lugar de ocupación (cuidado con esto).

❖ Unidades de muestreo muy separadas incrementan el esfuerzo de muestreo y disminuyen la representatividad de la población bajo estudio.



Ejemplo de diseño para ocupancia de Puma, Norte de Chile (Lagos & Villalobos 2012, en *Los Carnívoros de Chile*, Ed. Flora & Fauna – CASEB).



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



Selección de Hábitat: proceso jerárquico; involucra distintos niveles de organización y se expresa a diferentes escalas



Diseños de Escala Única: no desambiguan procesos sobre distintos niveles de organización.



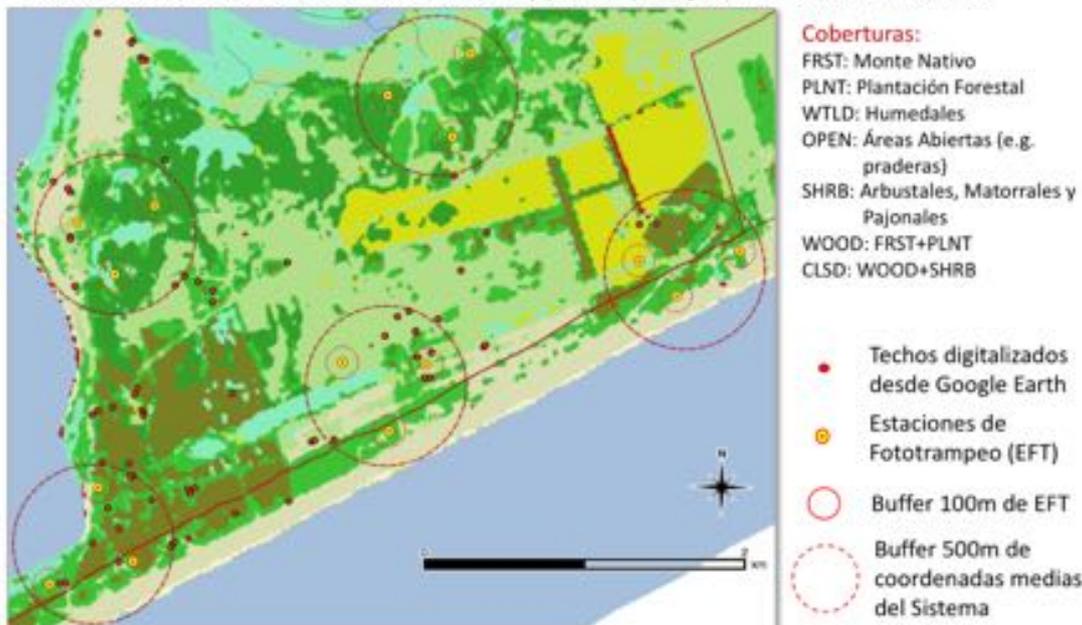
Diseños Agregados (o Multi-nivel) que rescatan la naturaleza jerárquica de la selección de hábitat.



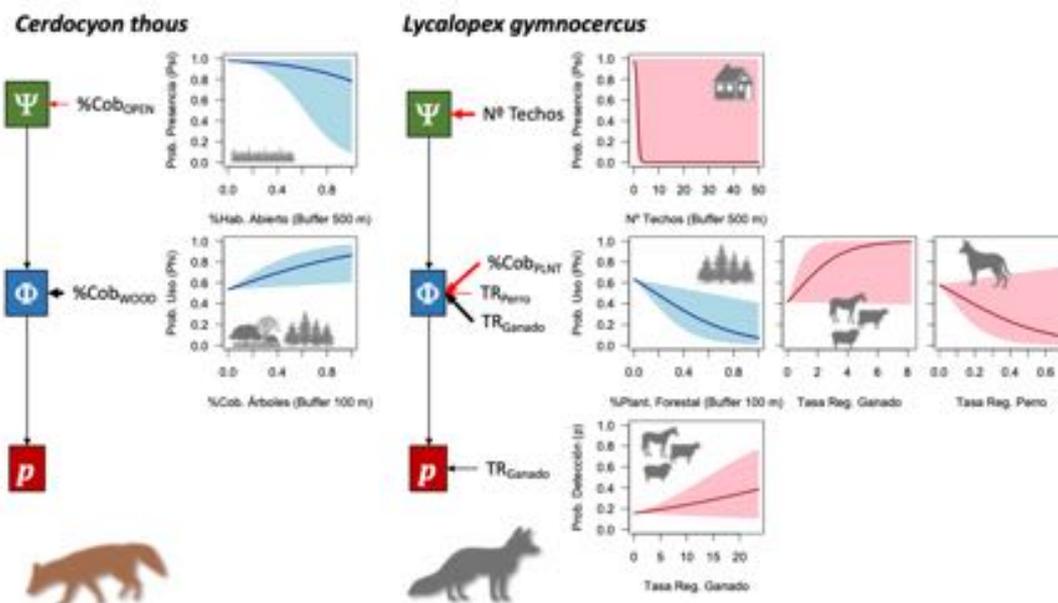


Área de Estudio & Metodología

Se digitaliza la composición relativa de las principales coberturas del suelo para el entorno inmediato de las estaciones de fototrampeo y para el paisaje en torno a los sistemas.



Mapas digitales utilizados: Cobertura del Suelo Cuenca Atlántica 2021, Cobertura Vegetal Costera 2019-2020; Observatorio Nacional Ambiental, Ministerio de Ambiente



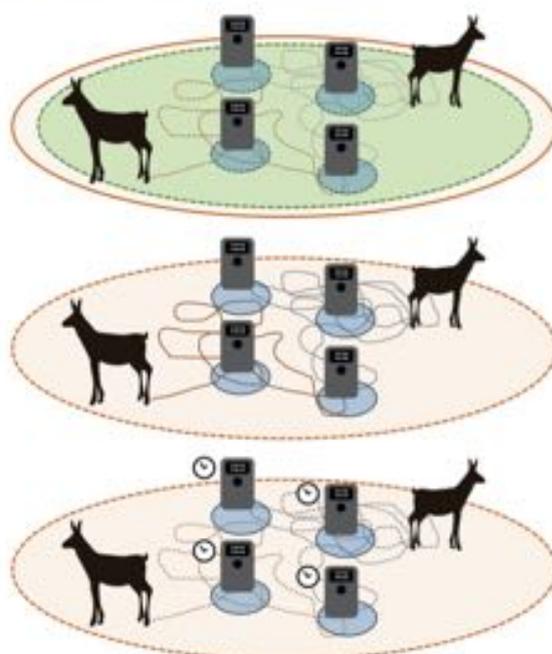
Métodos de Estimación de Abundancia: Otros Métodos



Estimaciones absolutas: similar a IKA e IPA pero controlando por la superficie muestreada.

- ✓ Permite extrapolar al área de estudio o la población de interés.
- ✓ El uso de factores de corrección (conocidos o estimado de los datos) permite dar cuenta de la detectabilidad

➤ *Otros métodos de estimación de abundancia*



- (b) **Unmarked spatial capture-recapture**
models produce spatially explicit density estimates for the effective sampling area of an array of cameras.
- (c) **Random encounter and time-to-event**
models use animal movement data and detection rates within camera viewsheds to produce a density estimate for the collective viewsheds.
- (d) **Space-to-event and instantaneous sampling**
models use time-lapse photos to produce a density estimate for the collective viewsheds.



MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L., & Hines, J. E. (2017). *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Elsevier.



Royle, J. A., Chandler, R. B., Sollmann, R., & Gardner, B. (2013). *Spatial capture-recapture*. Academic Press.



Sutherland, W.J. (ed.) (2006). *Ecological Census Techniques: A Handbook*, 2nd ed. Cambridge Univ. Press. Introducción básica sobre muestreo y diseños de muestreo. Lenguaje sencillo, no requiere conocimientos avanzados de estadística. Enfoque más metodológico.



Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Welsey Euc. Pub. Discusión básica diseños experimental y de muestreo. 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.



Boitani, L., & Fuller, T. (eds.) (2000). *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Columbia University Press.



Boitani, L., & Powell, R. A. (eds.) (2012). *Carnivore ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press.