

Módulo 6

MODELOS DE OCUPACIÓN DE COMUNIDADES

Curso de Posgrado: “Modelado y estimación de ocupación para poblaciones y comunidades de especies bajo enfoque Bayesiano”

CCT CONICET Mendoza
24 - 28 Abril 2023



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina



GTBA

Grupo Transdisciplinario de
Biodiversidad y Agroecosistemas



CONICET



MODELOS DE COMUNIDADES

- Comunidad: ensamble de especies que ocurren en un sitio (considerando el sitio de muestreo)
- Metacomunidad: Conjunto de dichas comunidades (lo que modelamos en general)

En estos modelos usamos estos términos indistintamente

- Riqueza de especies es la variable de biodiversidad más ampliamente utilizada.

MODELOS DE COMUNIDADES

Modelo jerarquico para comunidades o metacomunidades

- Se puede modelar Riqueza de especies
- Modelos de ocupación de comunidades (Dorazio & Royle 2005 - DR) - 3 niveles:
 1. Observación (error de medición)
 2. Especies (estado real)
 3. **Comunidad/ metacomunidad** (se agrega este nivel)

MODELOS DE COMUNIDADES

Modelo de comunidad como un “hipermodelo” de distribución de un conjunto de especies.

- Los parámetros para cada especie son tratados como variables aleatorias – con sus respectivas distribuciones *a priori*
- Los hiperparámetros de esas distribuciones *a priori*, describen a la comunidad.

GOIJMAN, SERAFINI, CONTRERAS 2023

MODELOS DE COMUNIDADES

Hay muchos modelos, dependiendo de los objetivos y la complejidad deseada/posible...

- **Efectos de variables ambientales u otras sobre la distribución / abundancia**
- Falsos negativos
- Dinámicas temporales
- Interacciones entre especies
- Niveles extra (ej. gremios)

MODELOS DE COMUNIDADES

- Detección imperfecta de especies puede ser modelada con “Data augmentation”
 - La inferencia sobre Riqueza total incluye especies no registradas, permitiendo modelar cuantas especies podríamos estar perdiendo detectar en la metacomunidad
- Inferencias a escala local (alfa), paisaje (beta) y macroescala (gamma) pueden llevarse a cabo como función de la matriz de presencia-absencia, corregida por los falsos negativos.

MODELOS DE COMUNIDADES

- **Modelos de ocupación de comunidades con efectos fijos de las especies (sp. totalmente independientes)**
- **Modelos de ocupación con las sp. como efectos aleatorios (sólo especies registradas)** – los parámetros de las especies vienen de una distribución común (hiperparámetro)
- **Modelos de ocupación con las sp. como efectos aleatorios (con DA).**

MODELOS DE COMUNIDADES

- Modelos de ocupación de comunidades con efectos fijos de las especies (sp. totalmente independientes)
 - No hay un hiperparámetro de la comunidad
 - Lo mismo que ajustar un modelo para cada sp por separado.
 - Tiene la ventaja de poder comparar las especies más fácilmente
 - Especies poco frecuentes no mejoran su estimación

MODELOS DE COMUNIDADES

- Modelos de ocupación con las sp. como efectos aleatorios (sólo especies registradas).
 - Sp. siguen una distribución común de la comunidad (hiperparámetro)
 - Mejora la precisión de las estimaciones para especies poco frecuentes
 - Para casos donde no nos interesan las especies no registradas
 - la comunidad es conocida
 - Se puede modelar la correlación entre ocupación y detectabilidad (abundancia afecta detección)
 - Covariables (heterogeneidad en detección y/u ocupación)
 - Grupos (ej. gremios), etc.

Process model :

$$z_{ik} \sim \text{Bernoulli}(\psi_k)$$

Observation model :

$$y_{sum_{ik}} | z_{ik} \sim \text{Binomial}(J_i, z_{ik} p_k)$$

Models of species heterogeneity :

$$\text{logit}(\psi_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lpsi}, \sigma_{lpsi}^2)$$

$$\text{logit}(p_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lp}, \sigma_{lp}^2)$$

Los parámetros de las especies no son estimados de manera independiente

Las especies son un factor aleatorio

Process model :

$$z_{ik} \sim \text{Bernoulli}(\psi_k)$$

Observation model :

$$y_{sum\,ik} | z_{ik} \sim \text{Binomial}(J_i, z_{ik} p_k)$$

Models of species heterogeneity :

$$\text{logit}(\psi_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lpsi}[g], \sigma_{lpsi}^2[g])$$

$$\text{logit}(p_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lp}[g], \sigma_{lp}^2[g])$$



Ej. g grupos funcionales

Quiero modelar un diferencias en grupos de especies, agrego otra jerarquía (otro hiperparámetro).

También podríamos incluir covariables para distinguir los grupos (covariable en el hiperparámetro).

MODELOS DE COMUNIDADES

- Modelos de ocupación con las sp. como efectos aleatorios (con DA).
 - Lo mismo que en el modelo anterior, **incluyendo sp. que no fueron vistas**, pero sabemos que podrían ser parte de la metacomunidad
 - “imaginamos” una metacomunidad con M especies “potenciales”, donde detectamos N especies

1. Superpopulation process : $w_k \sim \text{Bernoulli}(\Omega)$
2. State process (occurrence) : $z_{ik} | w_k \sim \text{Bernoulli}(w_k \psi_k)$
3. Observation process (detection) : $y_{sum_{ik}} | z_{ik} \sim \text{Binomial}(J_i, z_{ik} p_k)$
4. Models of species heterogeneity : $\text{logit}(\psi_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lpsi}, \sigma_{lpsi}^2)$
 $\text{logit}(p_k) \sim \text{Normal}(\mu_{lp}, \sigma_{lp}^2)$

MODELOS DE COMUNIDADES con COVARIABLES

Modelo de presencia-ausencia y probabilidad de ocupación de la especie k en el sitio i

$$z_{ik} \sim \text{Bernoulli}(\psi_{ik})$$

True presence/absence

$$\text{logit}(\psi_{ik}) = \text{beta}0_k + \text{beta}1_k * \text{habitat}_i$$

Occupancy probability affected by habitat

$$\text{beta}0_k \sim \text{Normal}(\text{logit}(\text{mean.psi}), \text{sig.lpsi}^2)$$

Species heterogeneity in the intercept

$$\text{beta}1_k \sim \text{Normal}(\text{mu.beta.lpsi}, \text{sig.beta.lpsi}^2)$$

Species heterogeneity in the slope

Detección-no detección (datos) y_{ijk} de especie k en el sitio i en la ocasión j

$$y_{ijk} \sim \text{Bernoulli}(z_{ik} * p_{ijk})$$

Observed detection/nondetection data

$$\text{logit}(p_{ijk}) = \text{alpha}0_k + \text{alpha}1_k * \text{wind}_{ij}$$

Detection probability affected by wind

$$\text{alpha}0_k \sim \text{Normal}(\text{logit}(\text{mean.p}), \text{sig.lp}^2)$$

Species heterogeneity in the intercept

$$\text{alpha}1_k \sim \text{Normal}(\text{mu.beta.lp}, \text{sig.beta.lp}^2)$$

Species heterogeneity in the slope

En este caso, las especies pueden responder individualmente (ocurrencia y detección) a las covariables, y también se puede modelar la media de la respuesta de la comunidad

MODELOS DE COMUNIDADES con COVARIABLES

1. Superpopulation process : $w_k \sim \text{Bernoulli}(\Omega)$
2. State process (occurrence) : $z_{ik} | w_k \sim \text{Bernoulli}(w_k \psi_k)$
3. Observation process (detection) : $y_{ijk} | z_{ik} \sim \text{Bernoulli}(z_{ik} p_{ijk})$
4. Models of species heterogeneity : $\text{logit}(\psi_{ik}) = lpsi_k + betalpsi_k * elevation_i + \dots$
 $\text{logit}(p_{ijk}) = lp_k + betalp_k * date_{ij} + \dots$

with

$$lpsi_k \sim \text{Normal}(\mu_{lpsi}, \sigma_{lpsi}^2)$$

$$betalpsi_k \sim \text{Normal}(\mu_{betalpsi}, \sigma_{betalpsi}^2)$$

$$lp_k \sim \text{Normal}(\mu_{lp}, \sigma_{lp}^2)$$

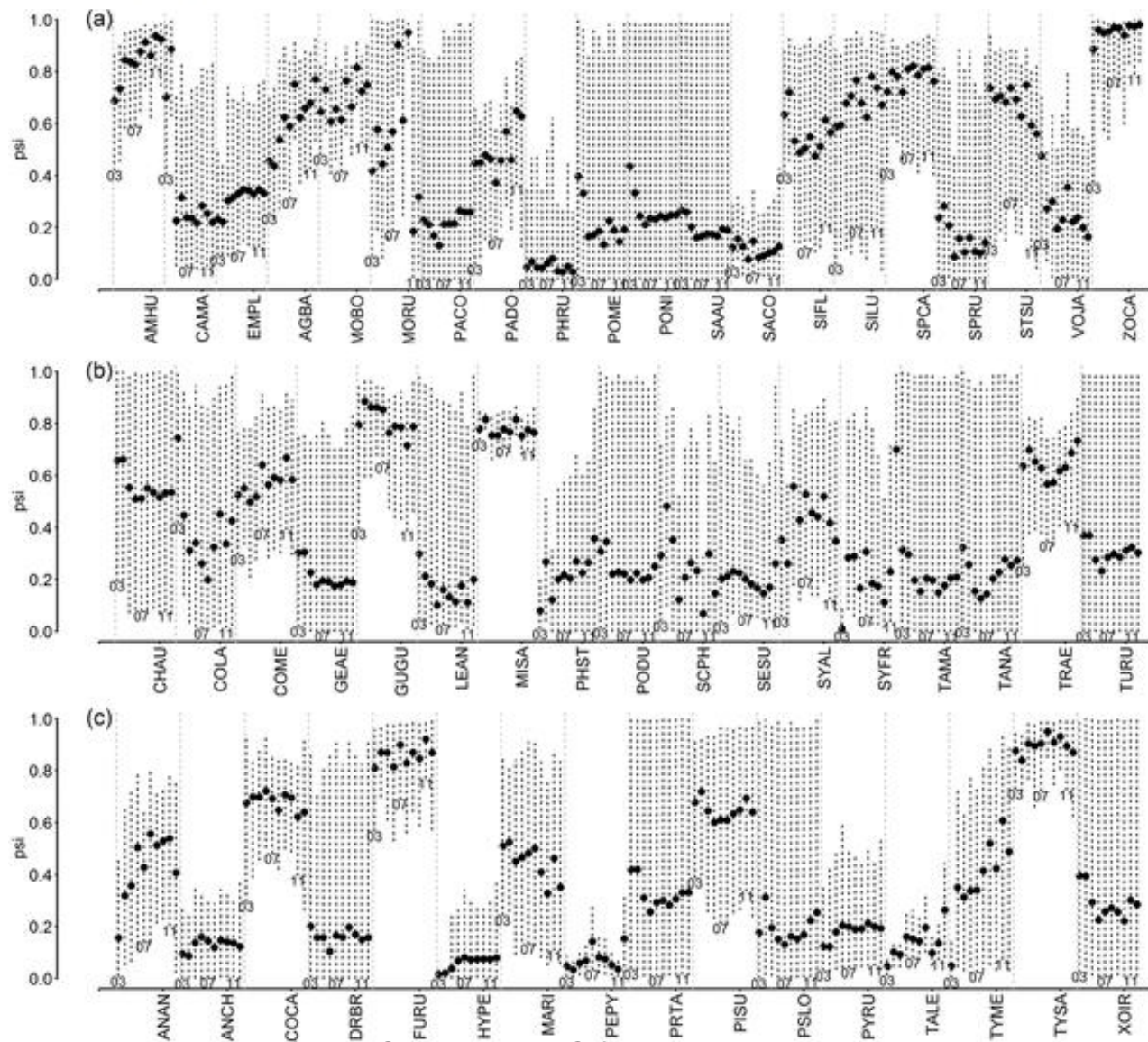
$$betalp_k \sim \text{Normal}(\mu_{betalp}, \sigma_{betalp}^2)$$

k especie

i sitio

j repetición

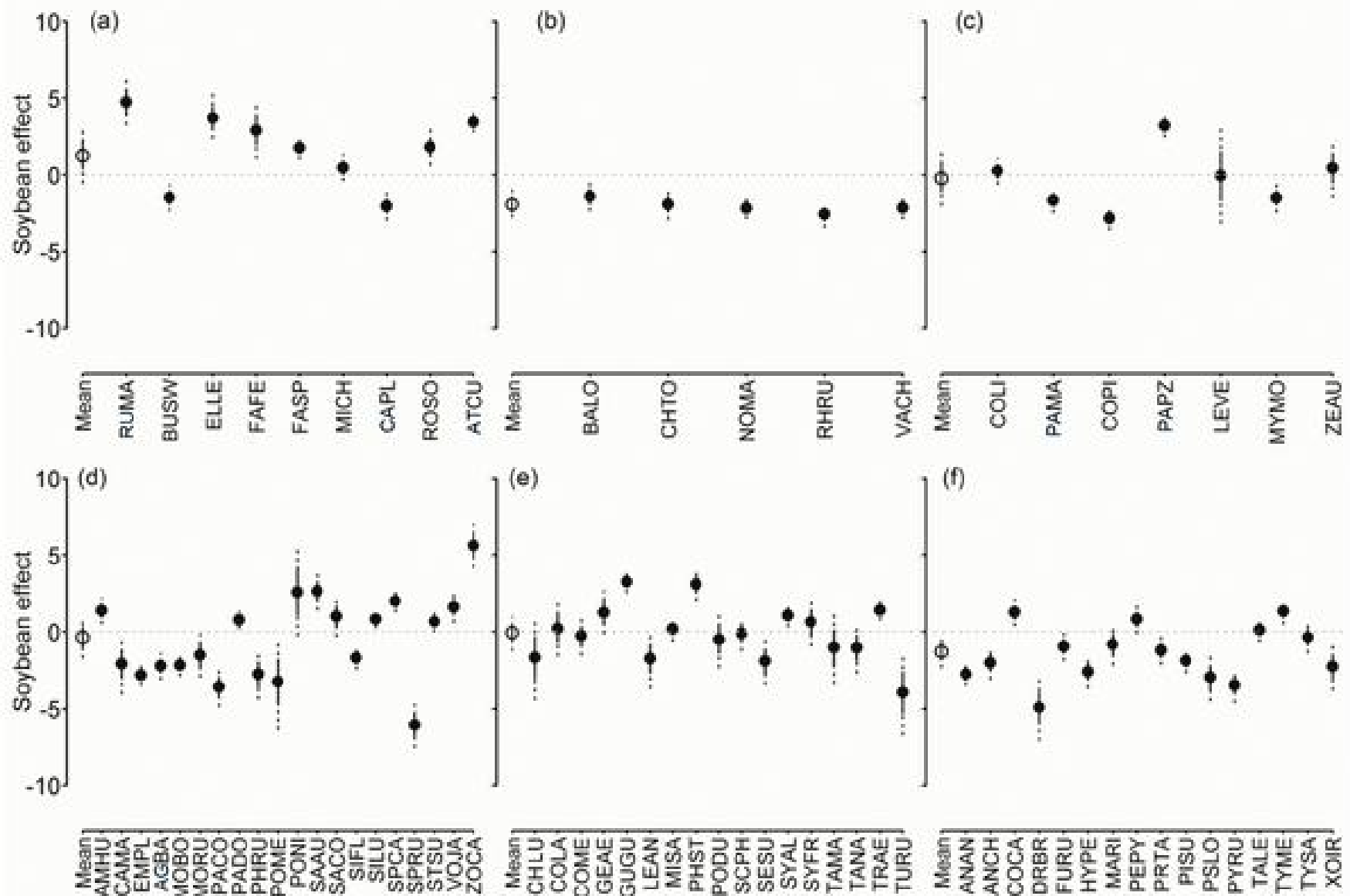
$$\text{logit}\psi(j, i, t) = u(i, t) + a1(i) * \text{lat}(j, t) + a2(i) * \text{long}(j, t) + a3(i) * \text{soy}(j, t) + a4(i) * \text{corn}(j, t) + a5(i) * \text{per_past}(j, t) + a6(i) * \text{forest}(j, t)$$



Efectos en el tiempo (aleatorio)

(Goijman et al. 2015)

Mean occupancy ($\hat{\psi} \pm \text{SD}$, 95% BCI) for the complete study area during 2003–2012, in the regional bird monitoring program in Argentina for mostly Passeriformes species.

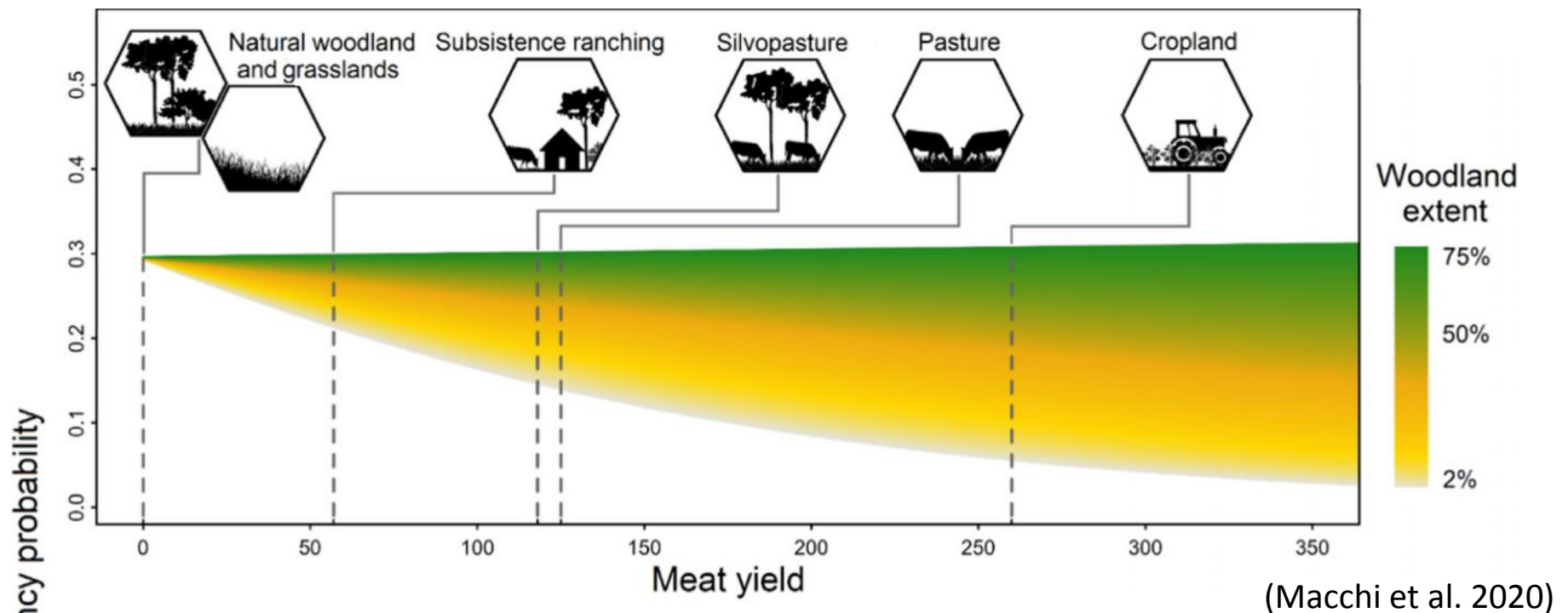


Soybean coefficients in the logit scale ($\hat{\beta} \pm \text{SD}$, 95% BCI) on logit occupancy ($\text{logit } \hat{\theta}$) of each bird species in the regional bird monitoring program in Argentina, 2003–2012.

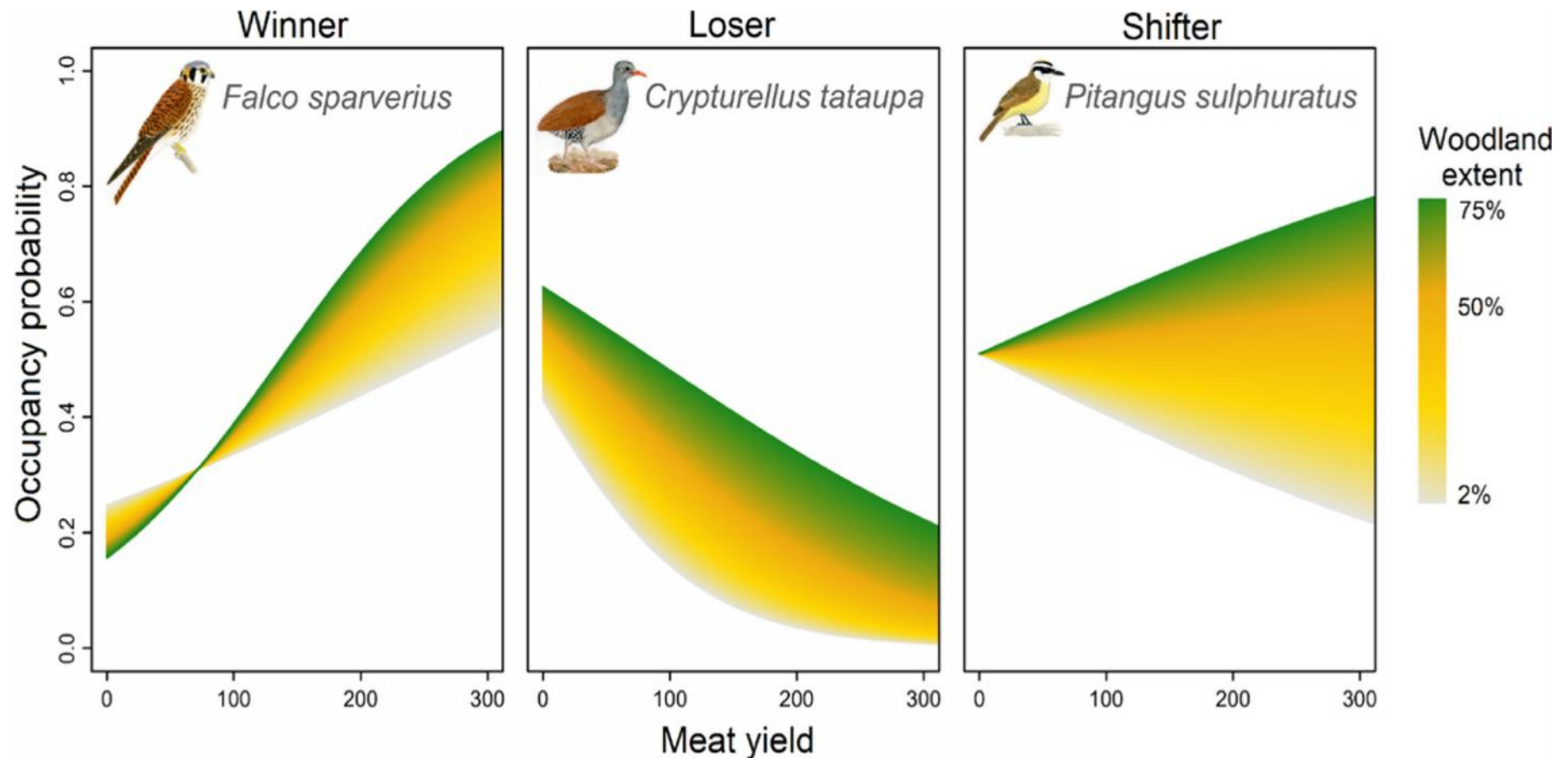
Ecological model, process model (true occurrence at site i)

```
for (i in 1:nsite) {  
  logit(psi[k,i]) <- lpsi[k] + betalpsi1[k]*forest[i] +  
    betalpsi2[k]*yield[i]+betalpsi3[k]*aridity[i] + betalpsi4[k]*forest[i]*yield[i]  
  mu_psi[k,i]<-w[k]*psi[k,i]  
  z[i,k] ~ dbern(mu_psi[k,i])  
}
```

DA
Interacciones

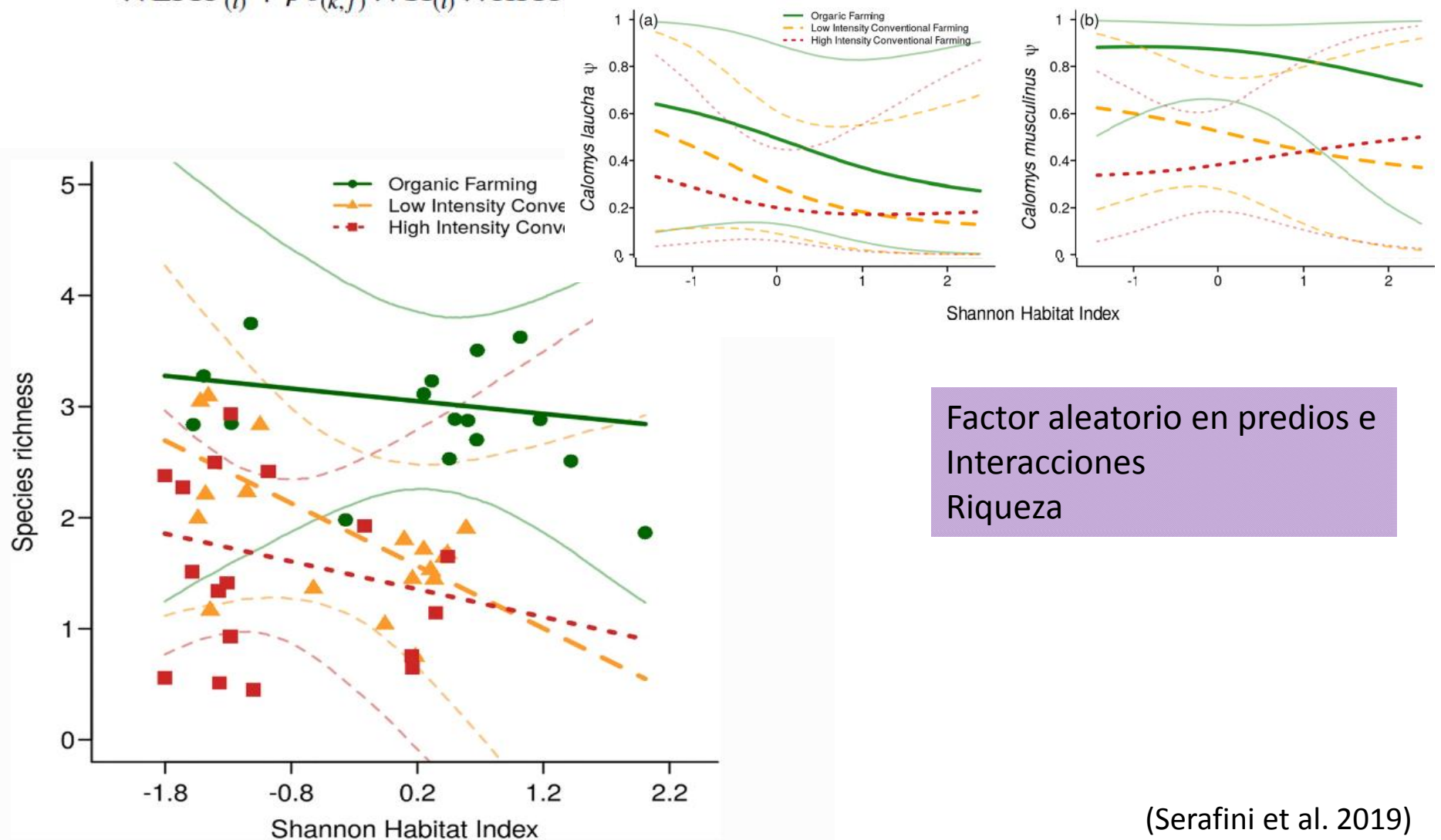


Community-level occupancy along the agricultural intensity gradient. Average response of the avian community to increasing agricultural intensity (left: low; right: high). Agricultural intensity was measured in meat (kg/ha*year, top panel), energy (GJ/ha*year, bottom-left panel) and profit (USD/ha*year, bottom-right panel). The colour gradient shows how this response varies with changes in woodland extent in a 10-km buffer around the sampling site. Icons and vertical grey lines indicate average yields for specific land systems found in the study region



Individual species' responses to agricultural intensity, depending on woodland extent in the landscape. Left: winner species have consistently increasing occupancy as agricultural intensity increases (example: American Kestrel). Note the beneficial effect of woodland extent where agricultural intensification is higher (green colour vs. yellow colour). Middle: loser species are consistently negatively impacted by agricultural intensification, but this effect is weaker in landscapes with more woodland (example: Tataupa Tinamou). Right: shifter species respond either negatively to agricultural intensity where woodland extent is low (yellow colour) or benefit from agricultural intensification where woodland extent is high (example: Great Kiskadee)

$$\psi_{i,k,f,t} = \beta_{0(k,f)} + \beta_{1(k,f)} \times \text{OF}_{(i)} + \beta_{2(k,f)} \times \text{LICF}_{(i)} + \beta_{3(k,f)} \times \text{SI}_{(i)} + \beta_{4(k,f)} \times \text{SI}_{(i)} * \text{OF}_{(i)} + \beta_{5(k,f)} \times \text{SI}_{(i)} \times \text{LICF}_{(i)} + \beta_{6(k,f)} \times \text{SI}_{(i)} \times \text{HICF}_{(i)}$$



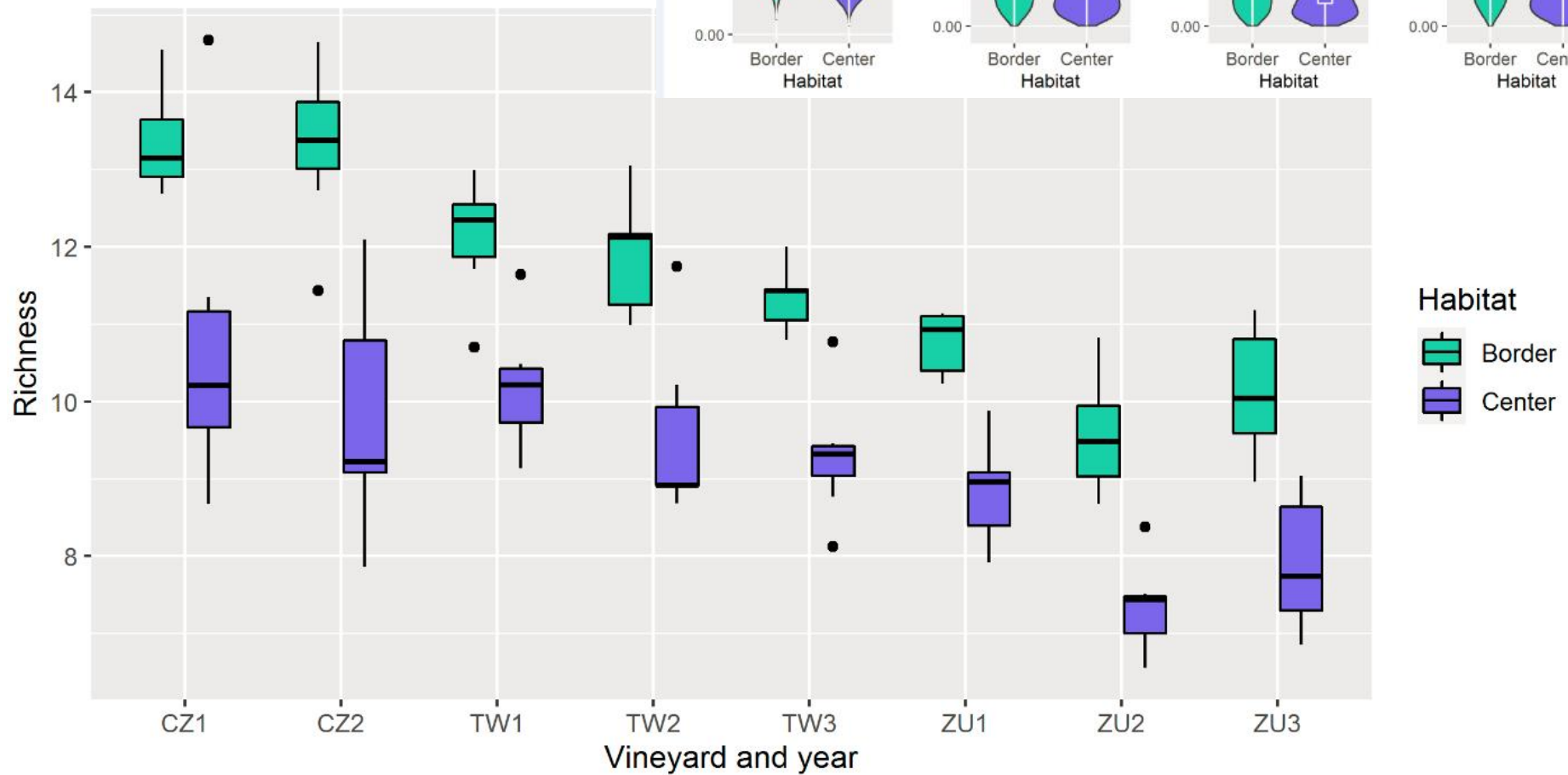
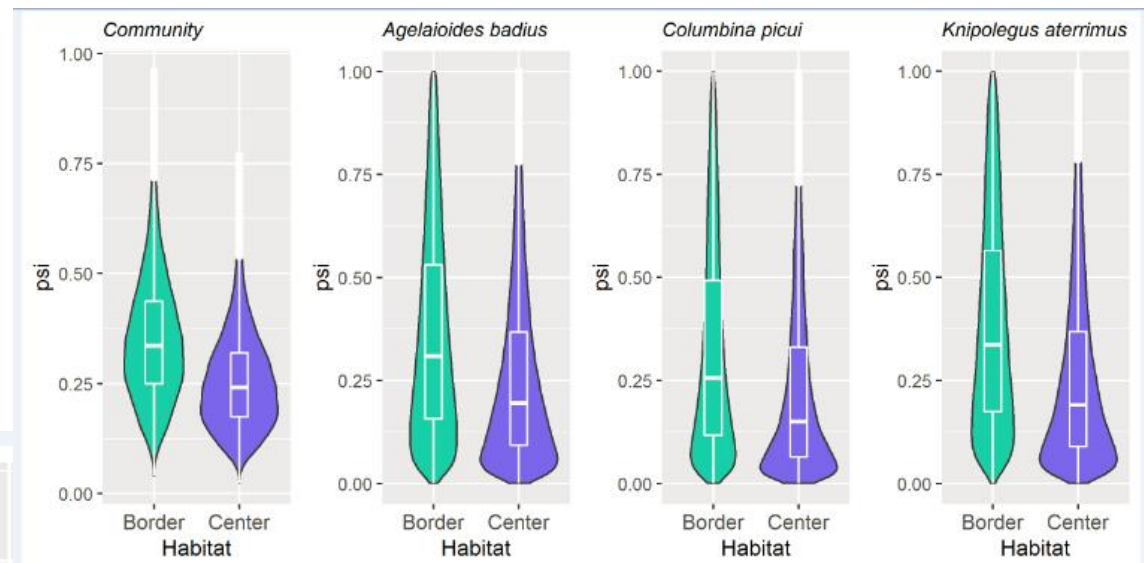
Factor aleatorio en predios e Interacciones Riqueza

(Serafini et al. 2019)

Species richness for Shannon habitat index range at different farming practices (organic farming, low- and high-intensity conventional farming). Thick lines: predicted species richness, thin lines: 95% CRI

Puntos anidados en predios
Covariable discreta

$$\text{logit}(\Psi_{i,j,e}) = \alpha_{i,e} + \beta_i * \text{cov}_{i,e}$$



$$\text{logit } \psi_{j,i,e} = \beta_{0i,e} + \beta_{1i} * \text{cov}1_{j,e} + \beta_{2i} * \text{cov}2_{j,e} + \beta_{3i} * \text{cov}1_{j,e} * \text{cov}2_{j,e}$$

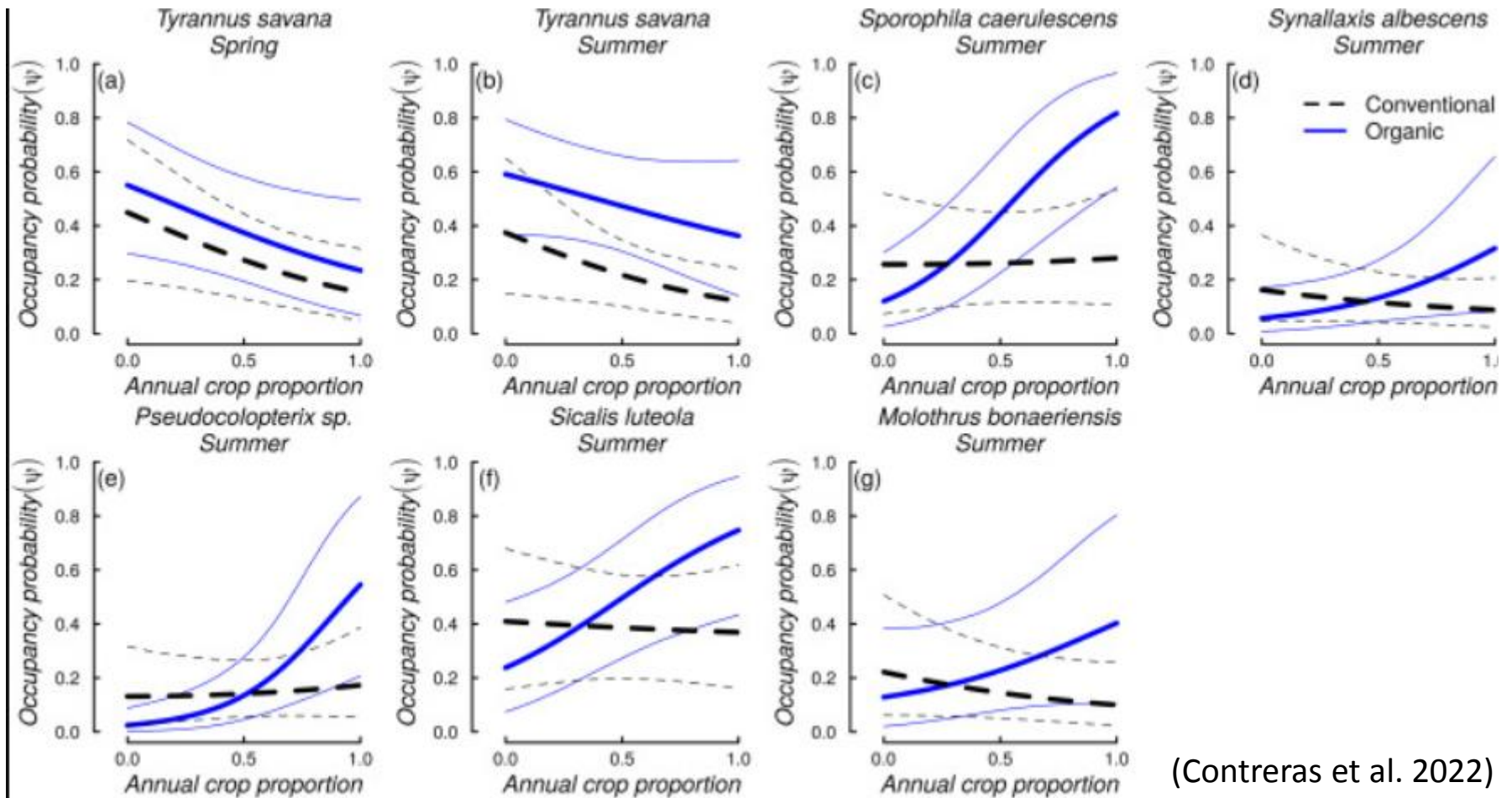


Fig. 2. Occupancy probabilities and annual crop proportion for each insectivore species and farming practice (organic farming and conventional farming). Thick lines: predicted occupancy probabilities, thin lines: 95% CRI.

REFERENCIAS

Contreras, F., Goijman, A.P., Coda, J.A., Serafini, V.N., Priotto, J.W., 2022. Bird occupancy in intensively managed agroecosystems under large-scale organic and conventional farming in Argentina: A multi-species approach. *Sci. Total Environ.* 805, 150301.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150301>

Dorazio, R.M., Royle, J.A., 2005. Estimating Size and Composition of Biological Communities by Modeling the Occurrence of Species. *J. Am. Stat. Assoc.* 100, 389–398.

Goijman, A.P., Conroy, Michael.J., Bernardos, J.N., Zaccagnini, M.E., 2015. Multi-Season Regional Analysis of Multi-Species Occupancy: Implications for Bird Conservation in Agricultural Lands in East-Central Argentina. *PLOS ONE* 10, e0130874. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130874>

Macchi, L., Decarre, J., Goijman, A.P., Mastrangelo, M., Blendinger, P.G., Gavier-Pizarro, G.I., Murray, F., Piquer-Rodriguez, M., Semper-Pascual, A., Kuemmerle, T., 2020. Trade-offs between biodiversity and agriculture are moving targets in dynamic landscapes. *J. Appl. Ecol.* 57, 2054–2063.

<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13699>

Serafini, V.N., Coda, J.A., Contreras, F., Conroy, M.J., Gomez, M.D., Priotto, J.W., 2019. The landscape complexity relevance to farming effect assessment on small mammal occupancy in Argentinian farmlands. *Oecologia* 191, 995–1002. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04545-3>

Kery, M., J. Royle, A. 2016. Applied hierarchical modeling in ecology. Modeling distribution, abundance and species richness using R and BUGS. Volume 1: Prelude and Static models. Academic Press.