



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

UNISINOS



Herpetología Neotropical - Facultad de Ciências - UDELAR

Ecomorfología

Dra. Fernanda Rodrigues de Avila
Lab. de Herpetología – FCIEN, UDELAR

fernandar.avila@gmail.com
[avilaf.github.io](https://github.com/avilaf)



Morfología =
"estudio de la forma"
"el estudio de las formas
orgánicas"



© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.

Morfología
+
análisis cuantitativo fuerte

Hacer inferencias sobre las causas que llevan a las diferencias de forma

Morfometría clásica

(tradicional o multivariada)

conjunto de métodos de estadística multivariada que utiliza medidas lineales (longitudes, anchos, ángulos, razones...)

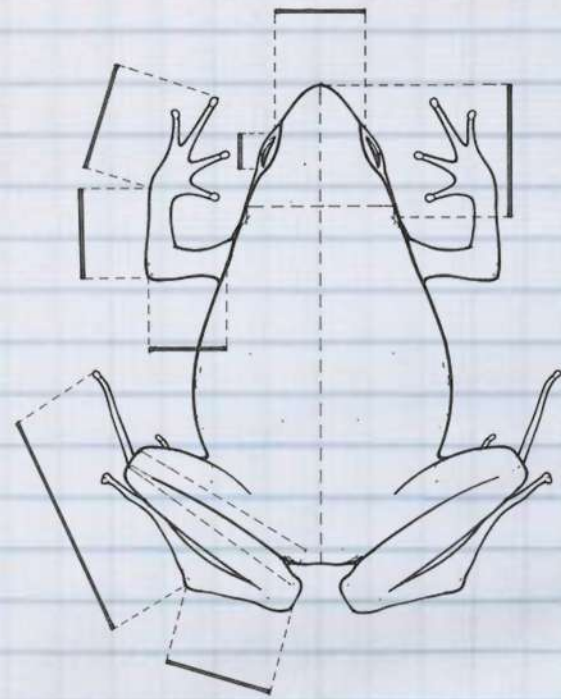

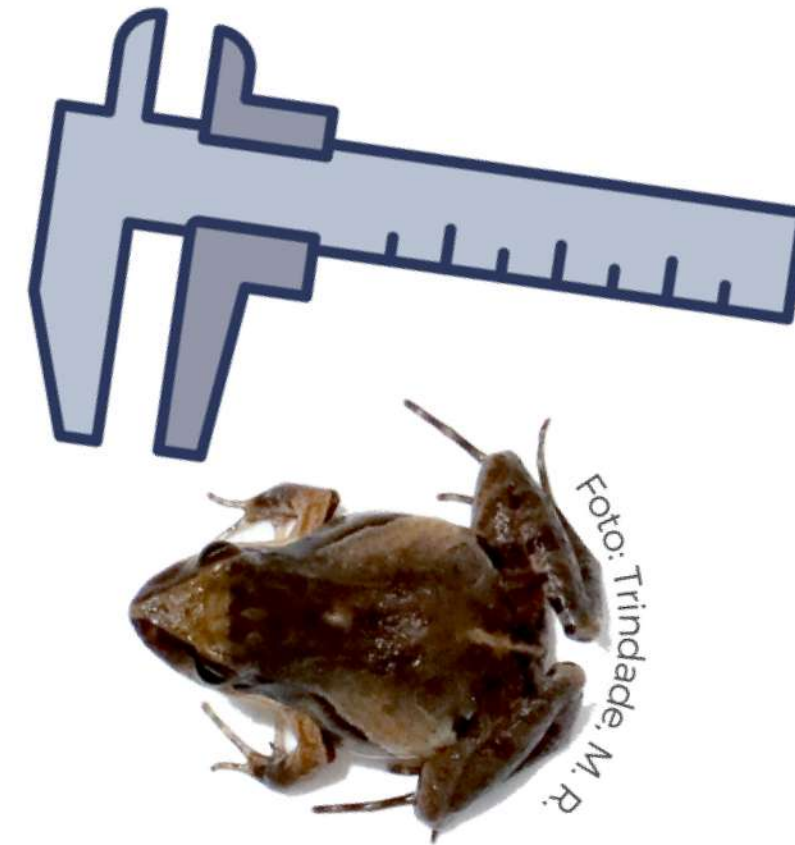
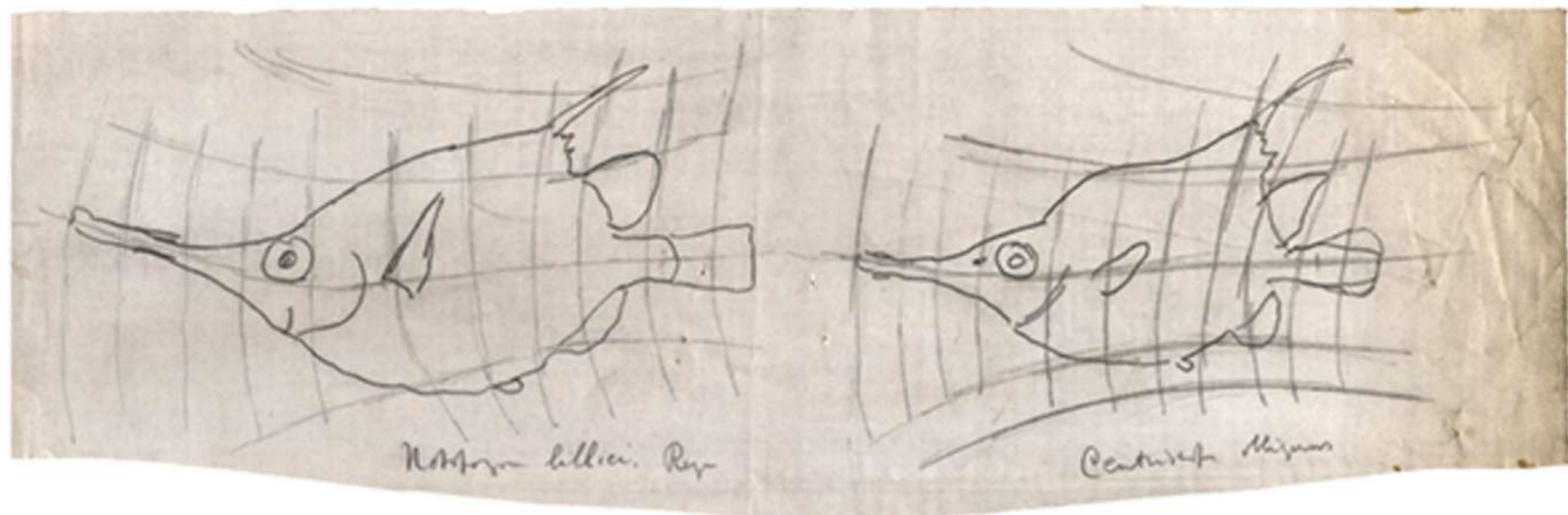
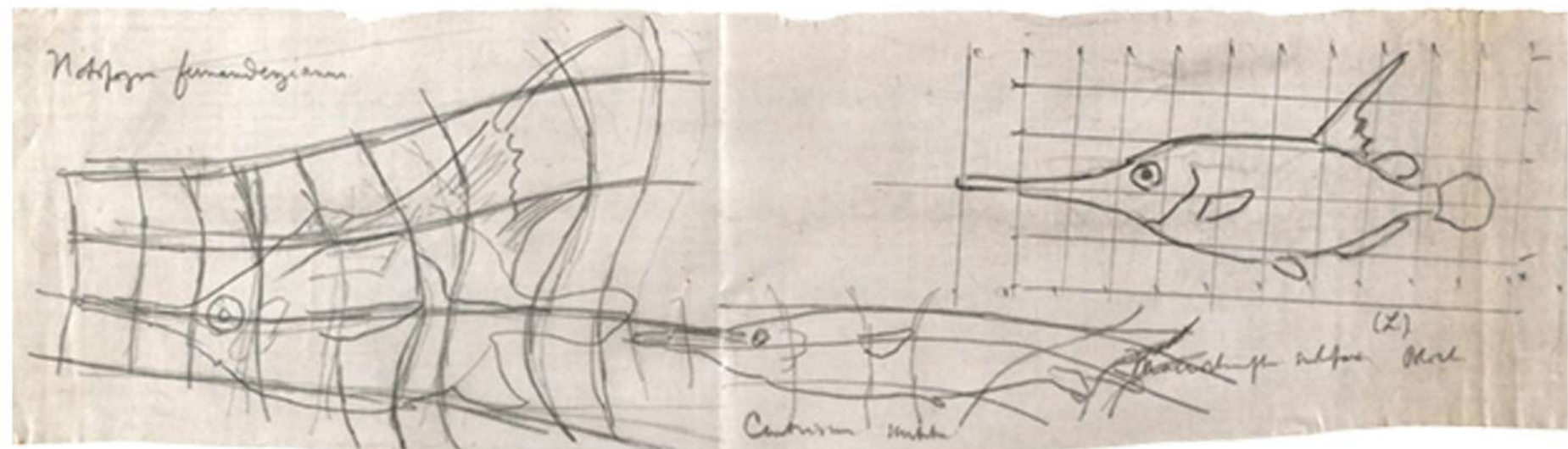
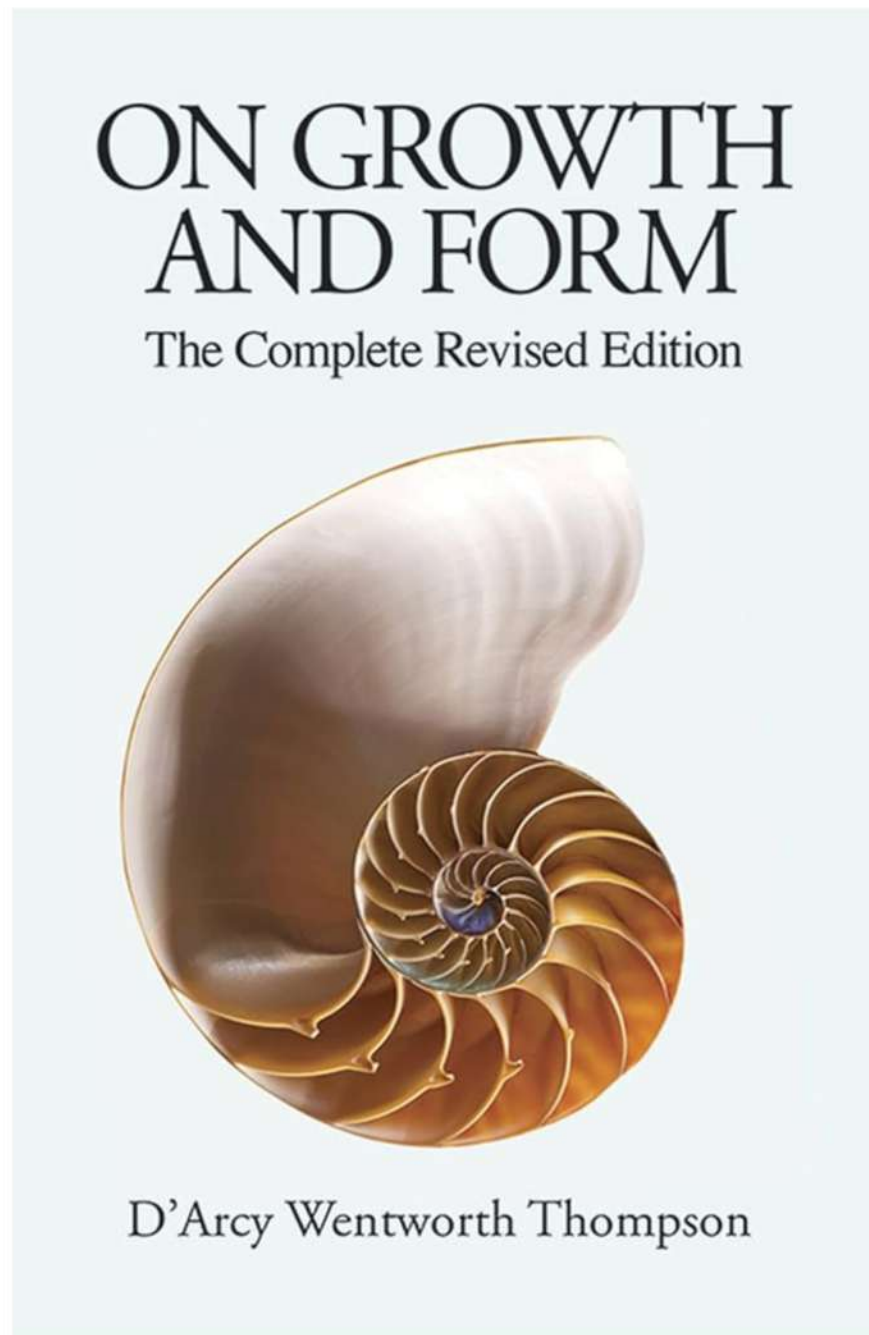


Foto: Trindade, M. P.



| Data | Amostra | Sexo | M | I | J |
|--------|---------|------|-------|-------|-------|
| 12/mar | c. 1939 | m | 16.14 | 7.82 | 7.8 |
| // | c. 1686 | m | 19.15 | 8.74 | 10.12 |
| // | c. 2141 | m | 20.74 | 10.93 | 10.2 |
| // | c. 2150 | f | 28.31 | 13.34 | 12.85 |
| // | c. 2135 | f | 25.77 | 10.91 | 11.32 |
| // | c. 1996 | f | 27.49 | 12.34 | 11.84 |
| // | c. 2080 | f | 21.59 | 9.98 | 10.23 |
| // | c. 1504 | m | 18.62 | 9.12 | 10 |
| // | c. 2017 | m | 24.51 | 12.17 | 12.05 |





Ideas de las matemáticas y la física para abordar preguntas globales sobre el crecimiento y la forma biológica

ON GROWTH AND FORM

The Complete Revised Edition



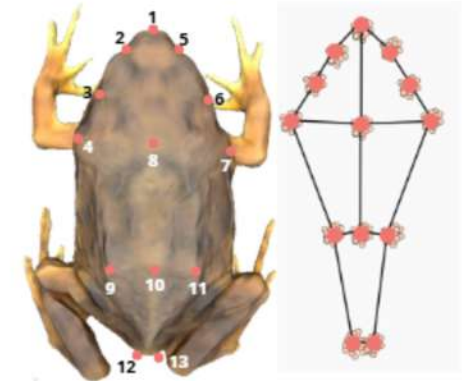
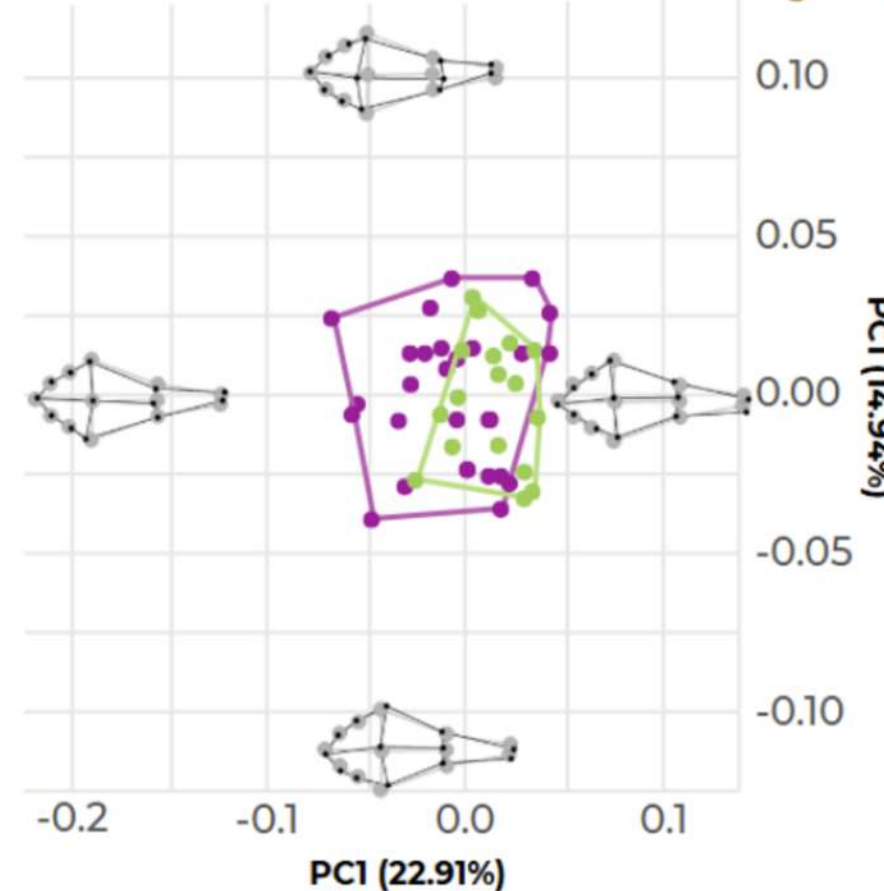
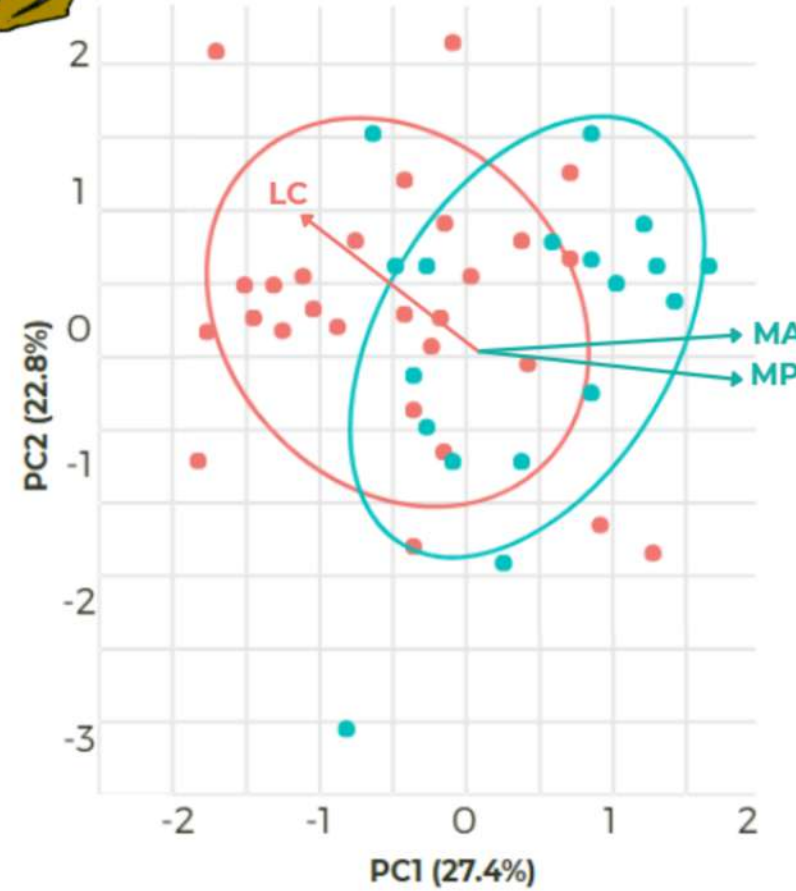
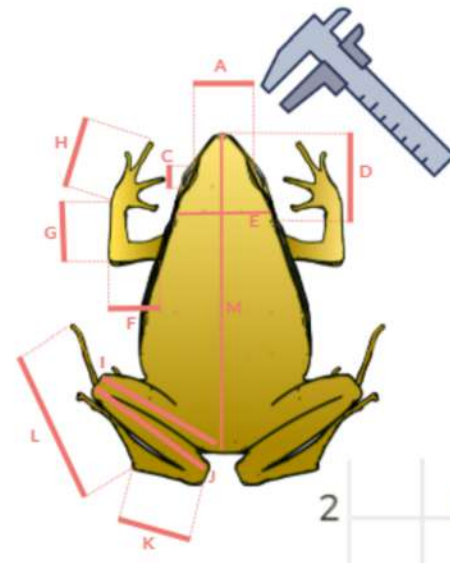
D'Arcy Wentworth Thompson

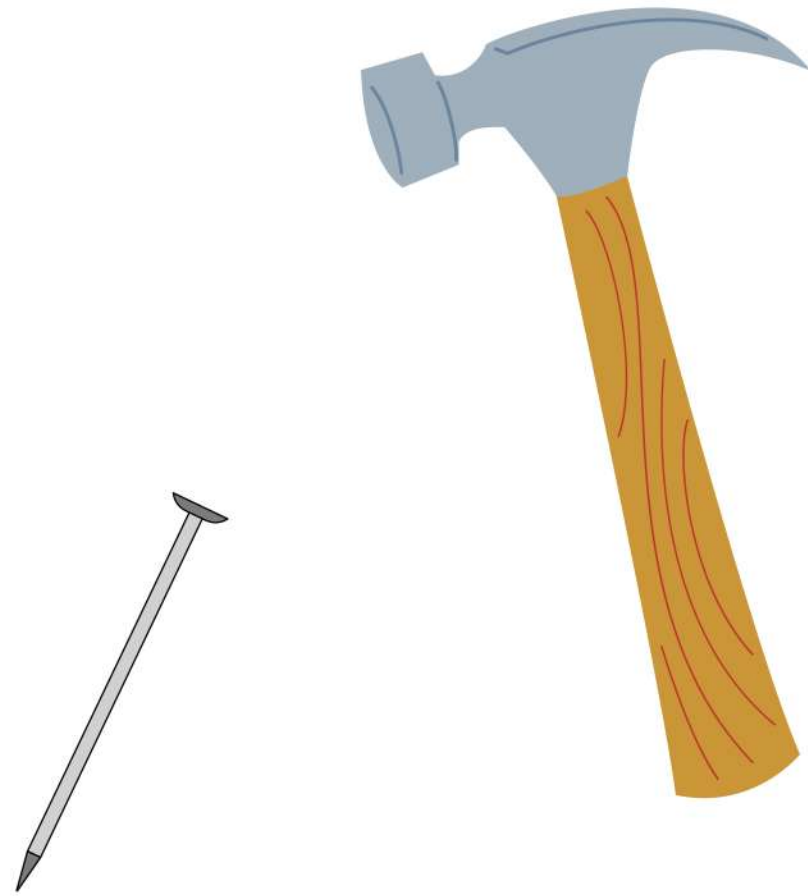


Morfometría geométrica (análisis estadístico de la forma)

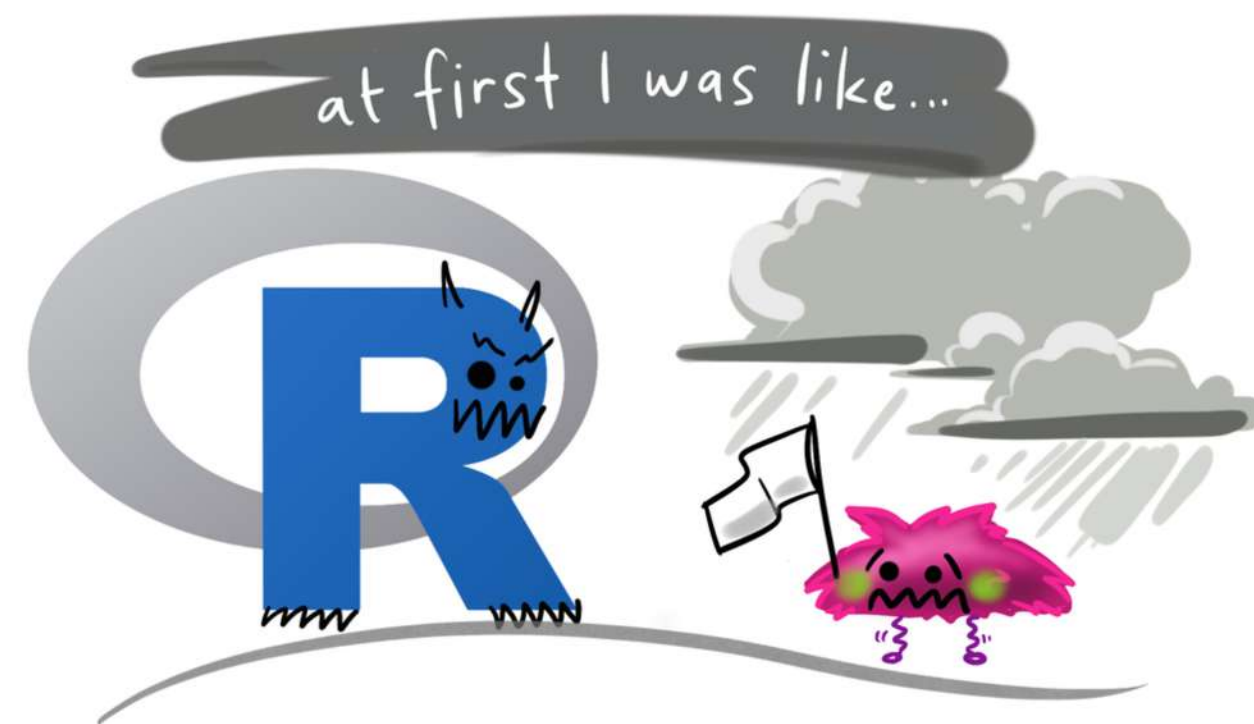
Métodos:
adquisición,
procesamiento
análisis

Variables de forma
preservando toda la información
geométrica de los datos
originales



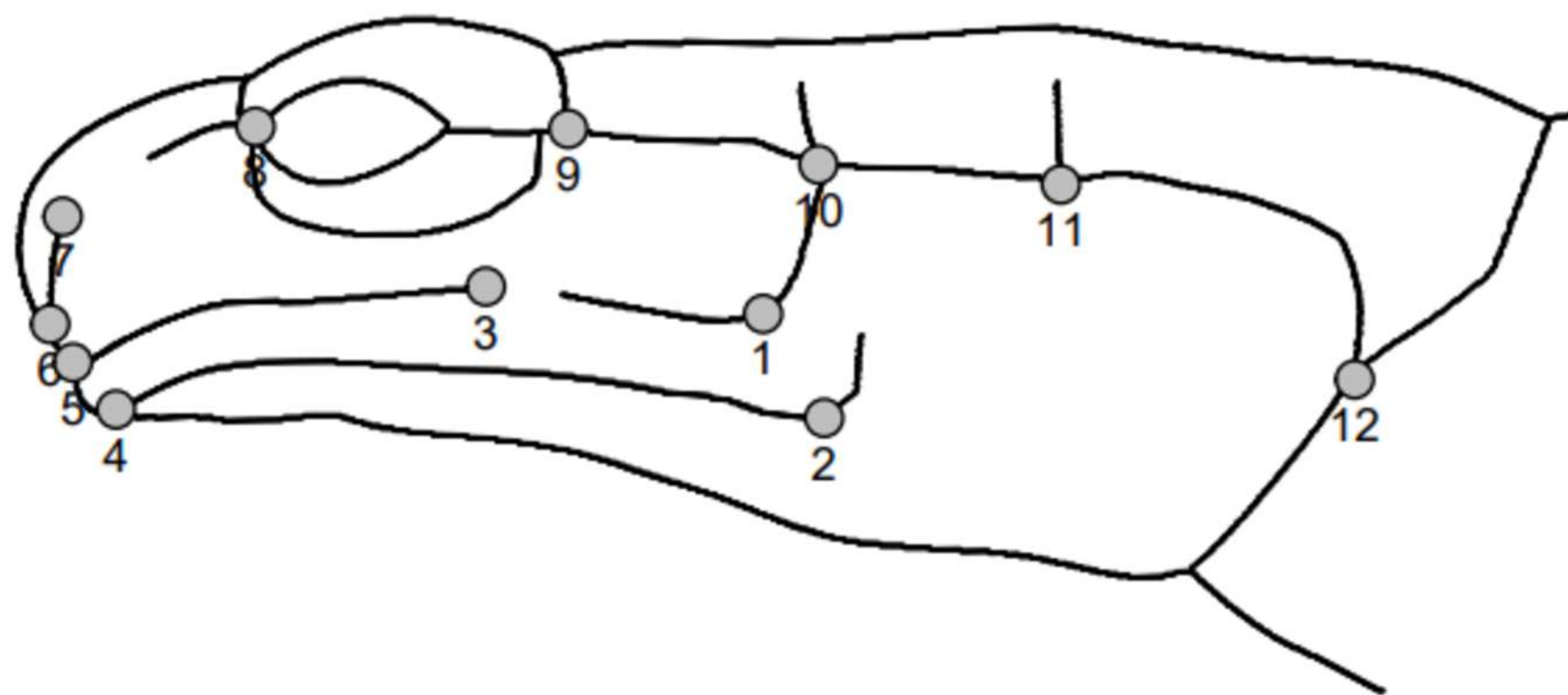
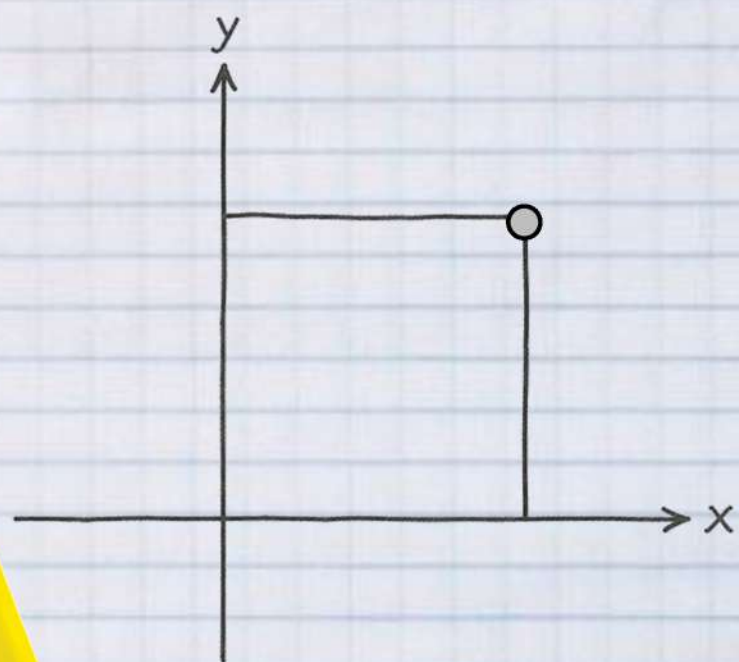






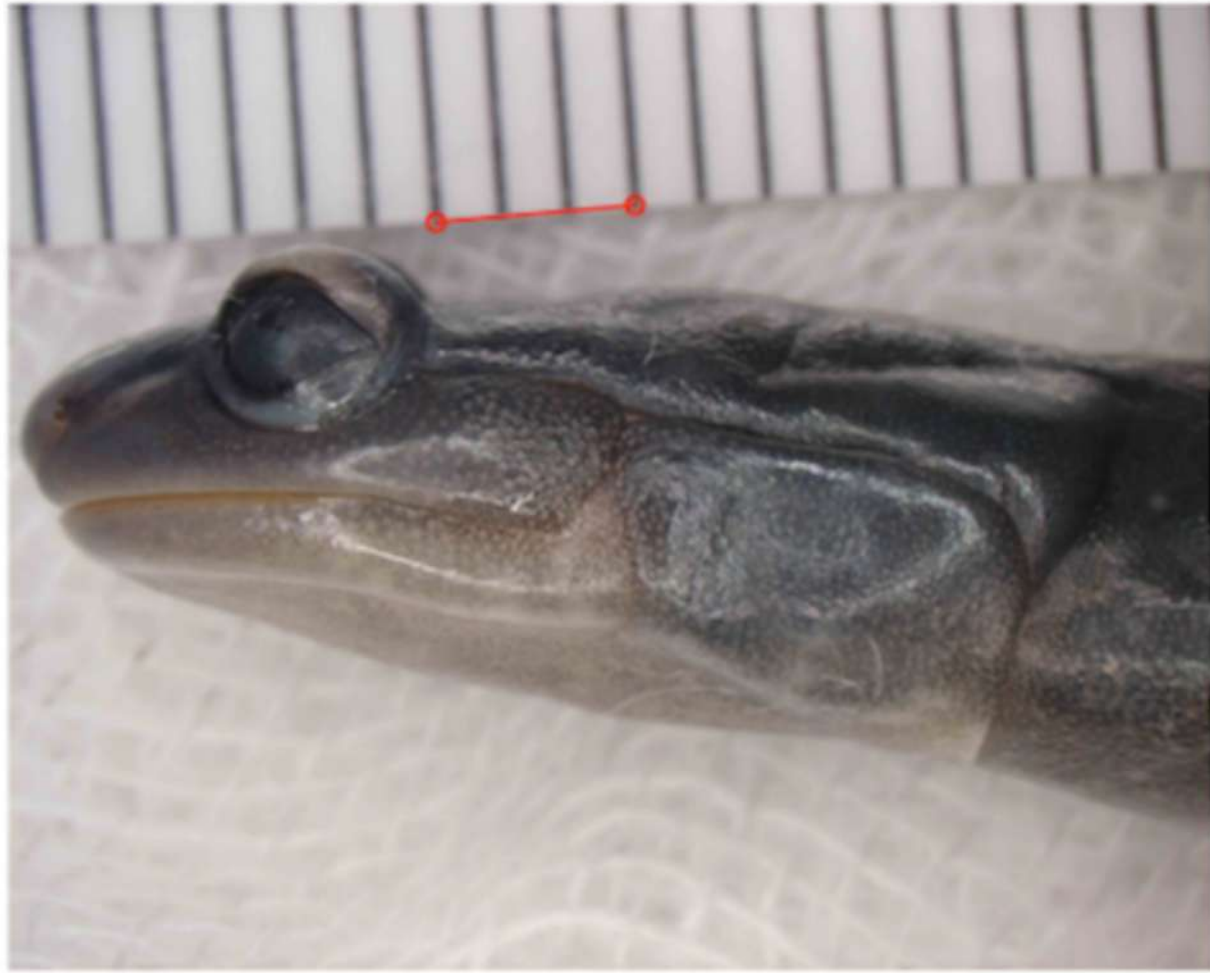
@allison_horst

Cartesian coordinates of
anatomical **landmarks**



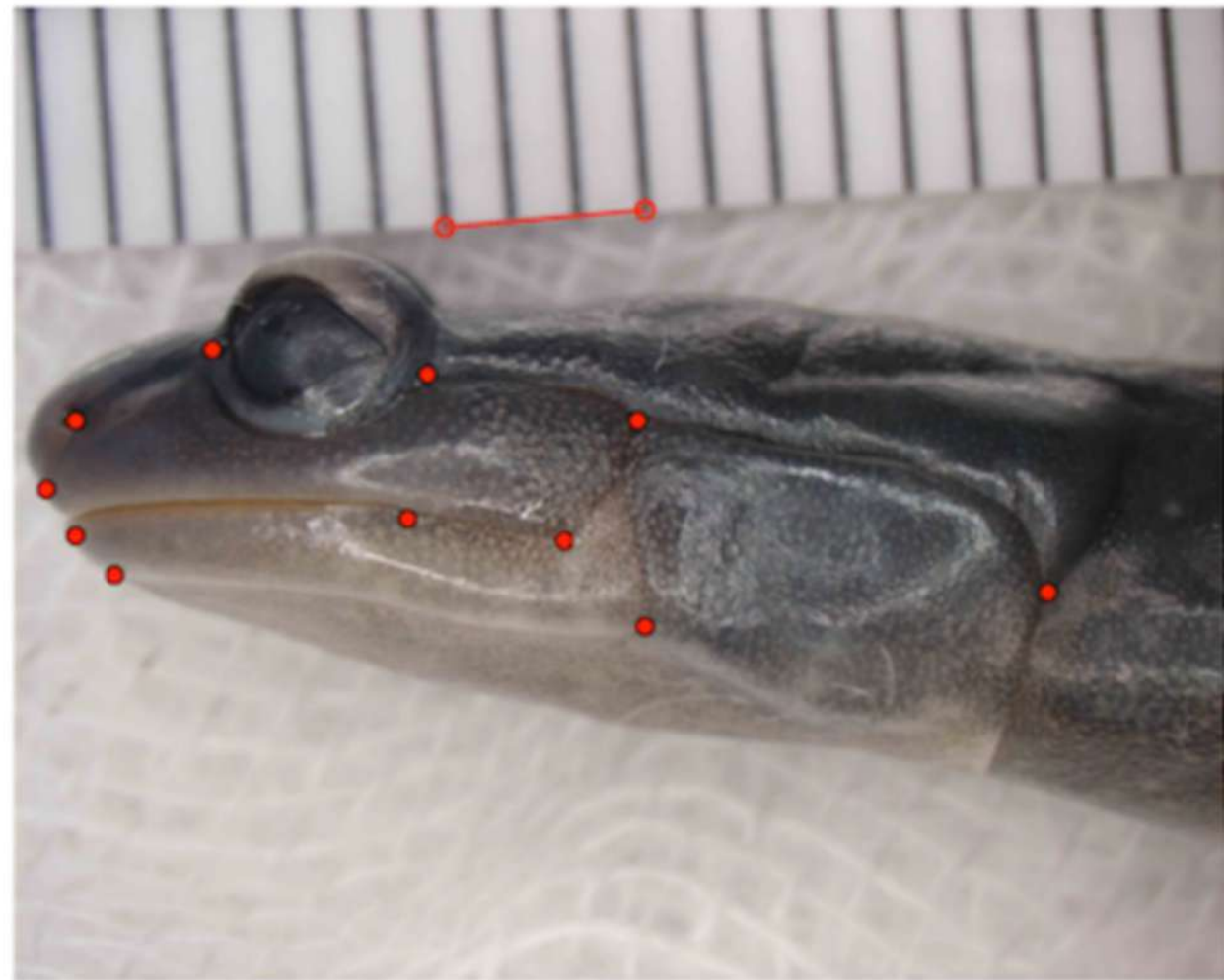
Locator active (Esc to finish)

Finish

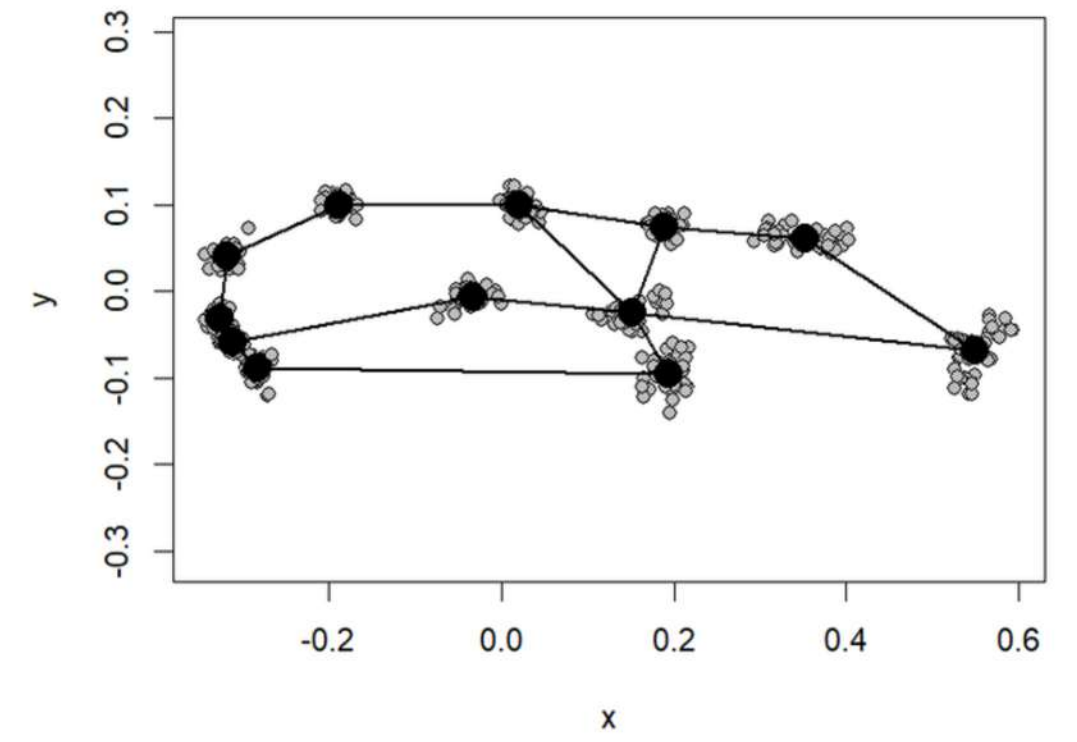
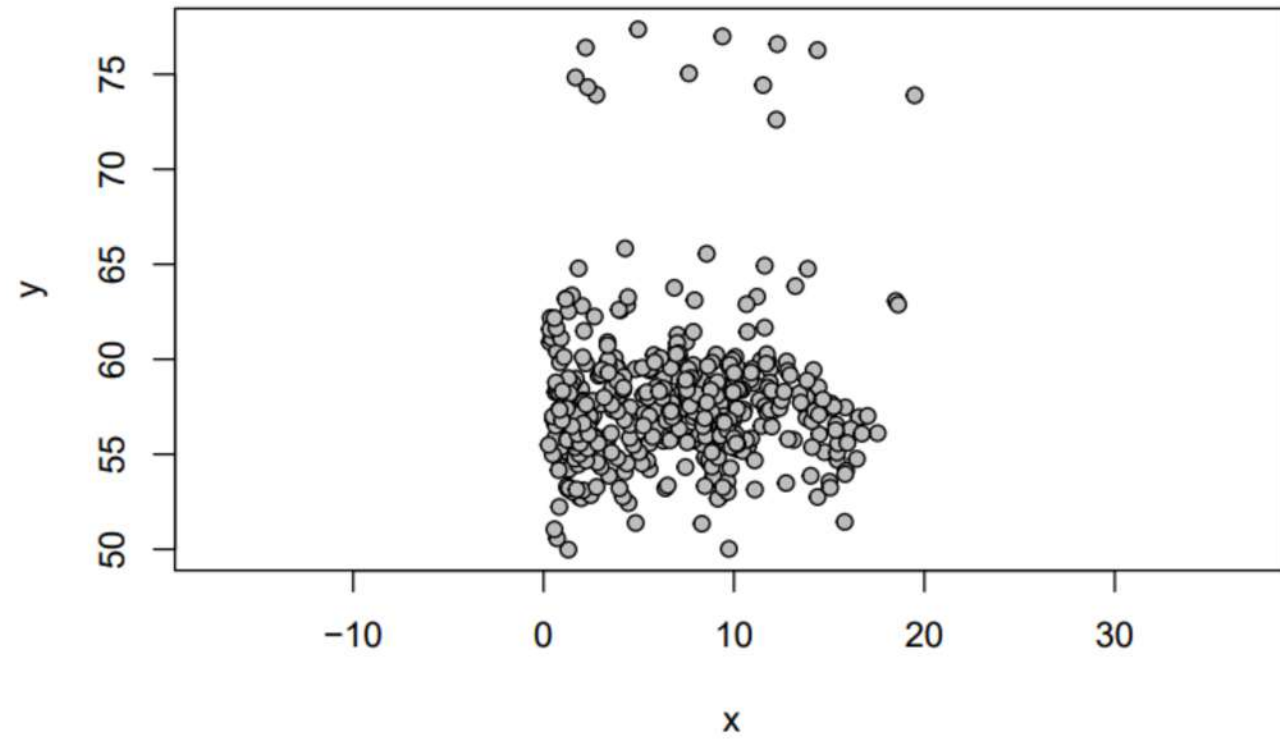


Locator active (Esc to finish)

Finish

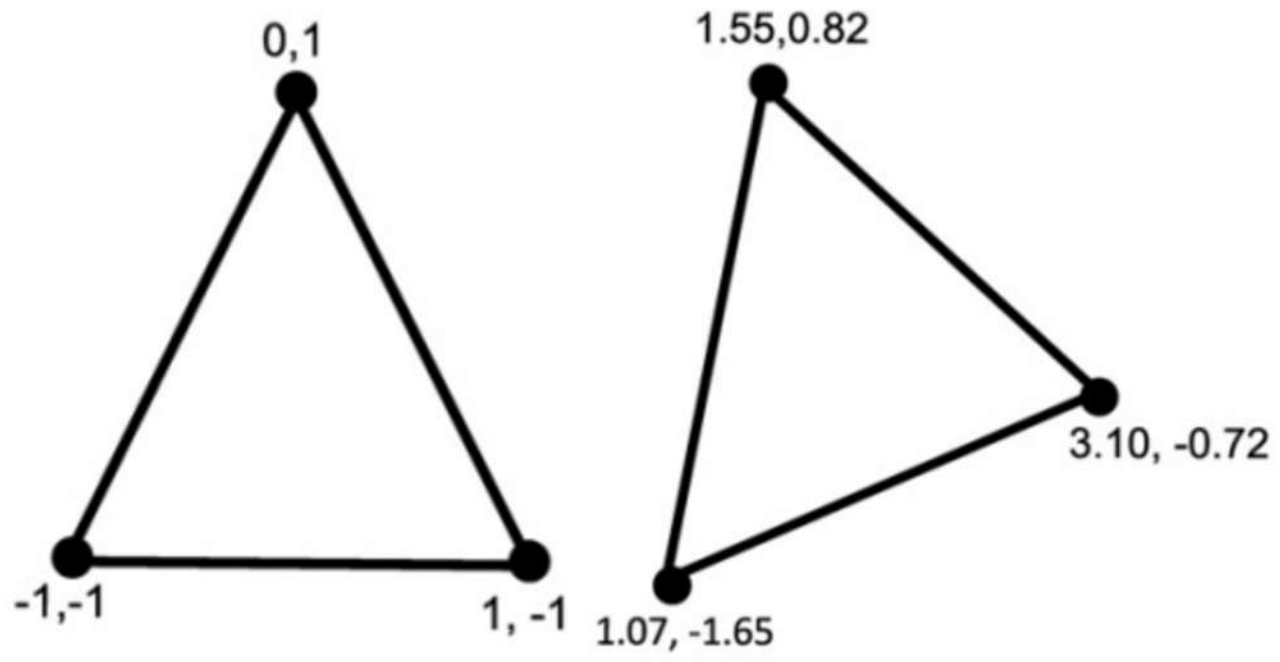


Procrustes:



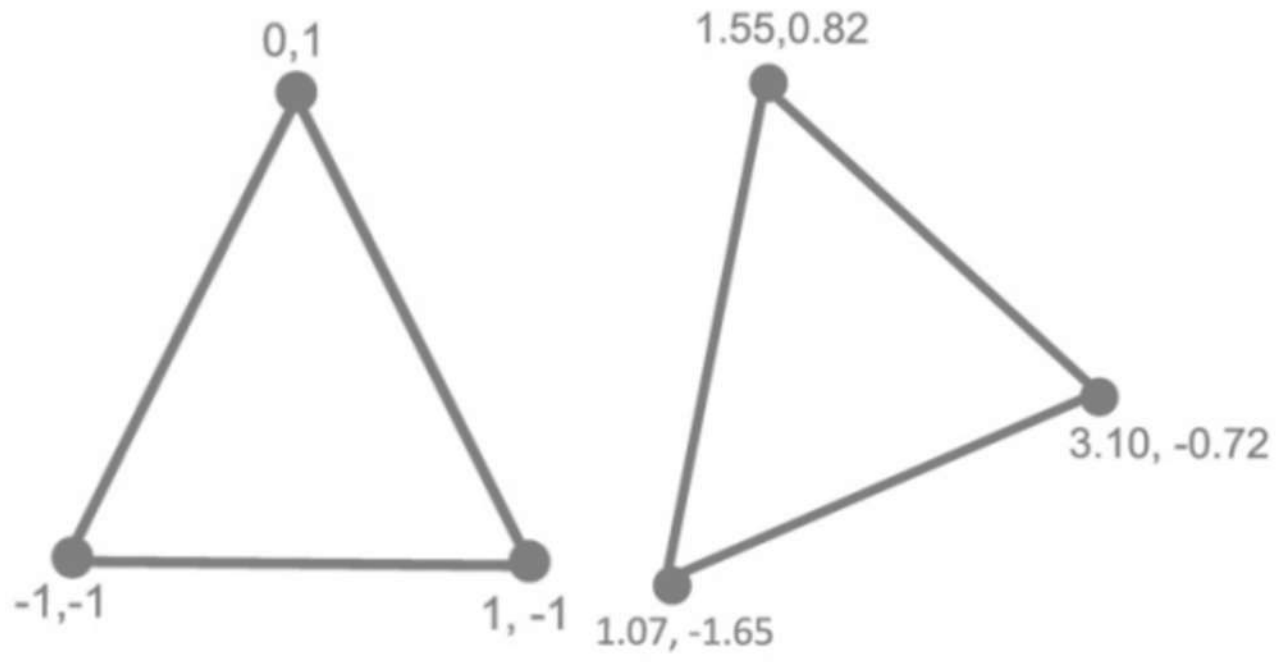
Procrustes:

Dos triángulos

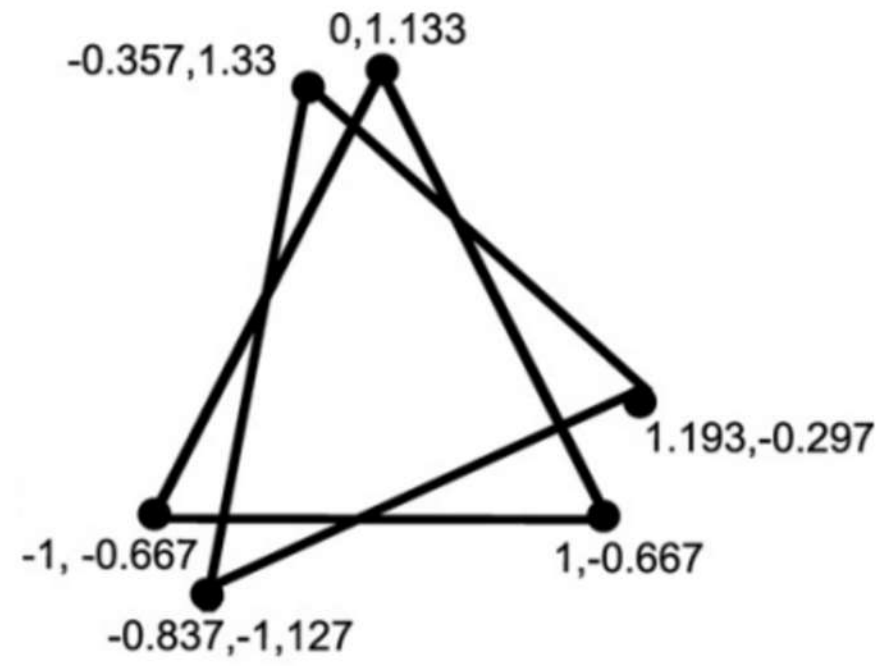


Procrustes:

Dos triángulos

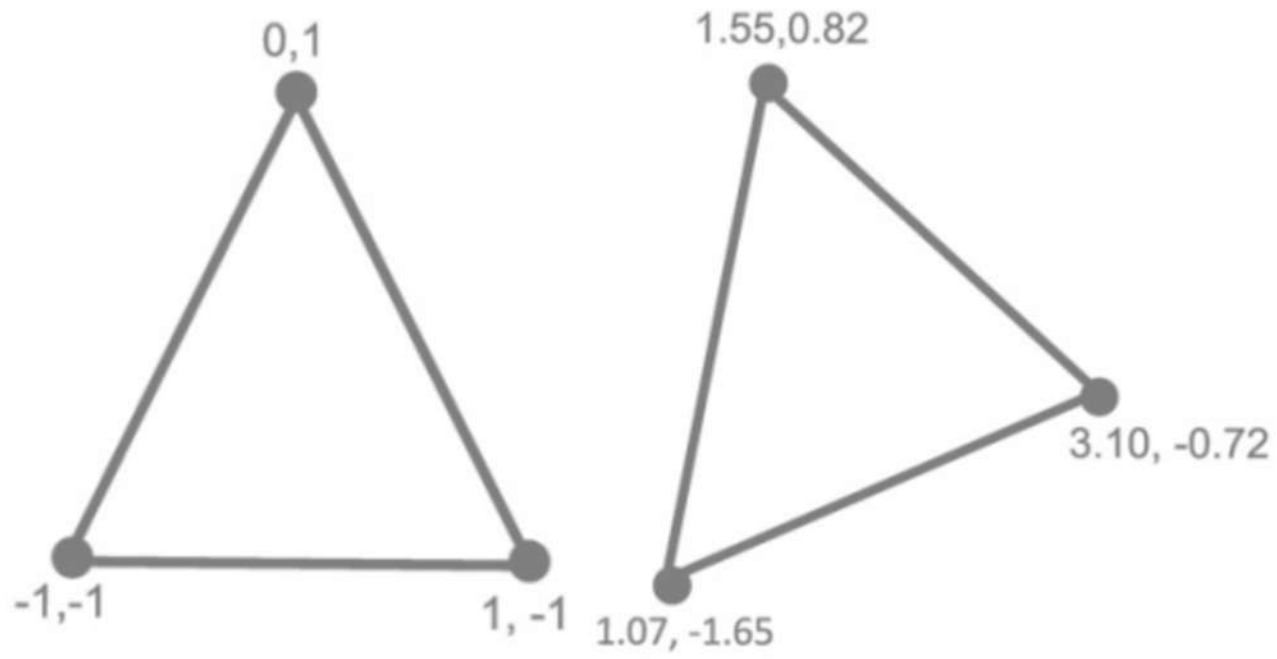


Dos triángulos centrados

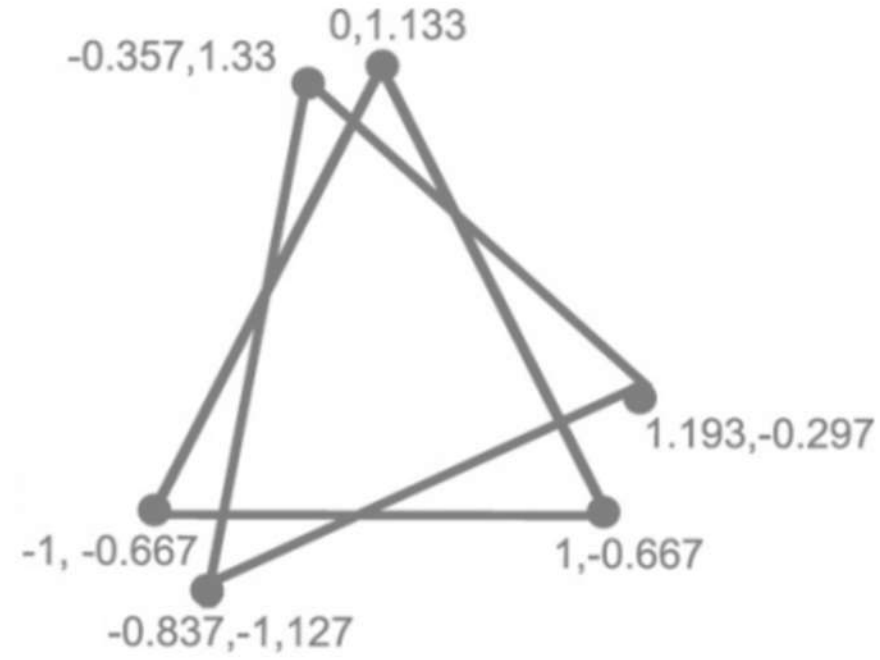


Procrustes:

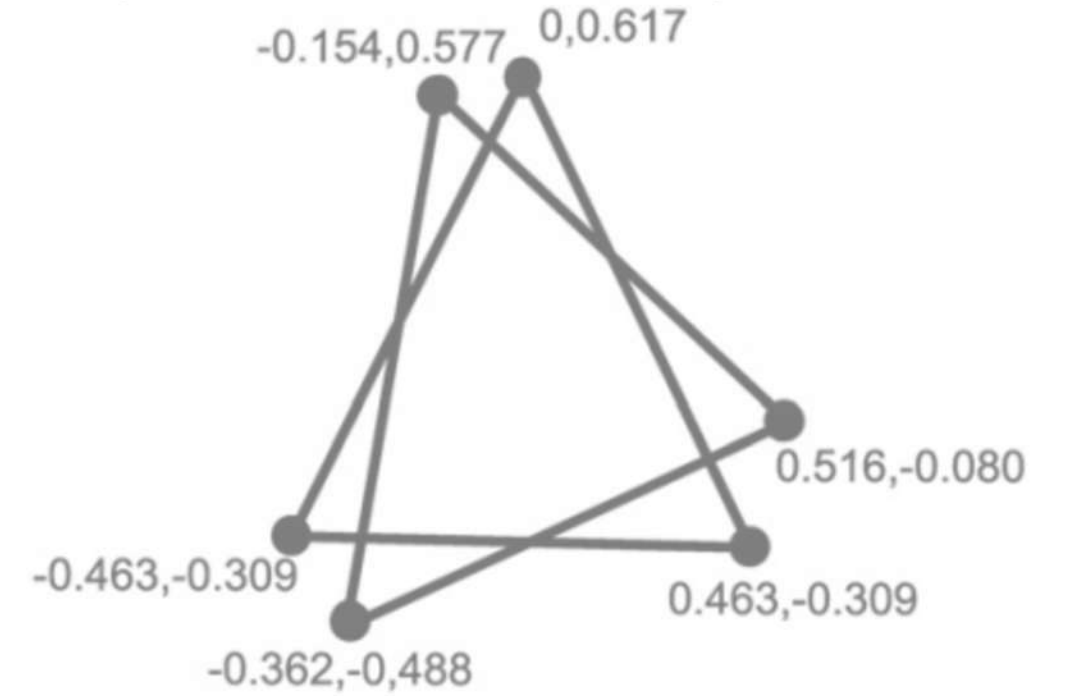
Dos triángulos



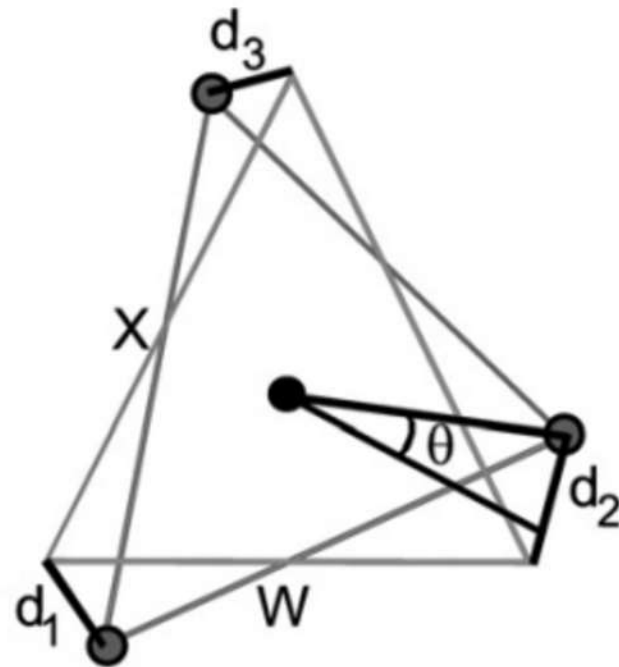
Dos triángulos centrados



Triángulos centrados y escalados

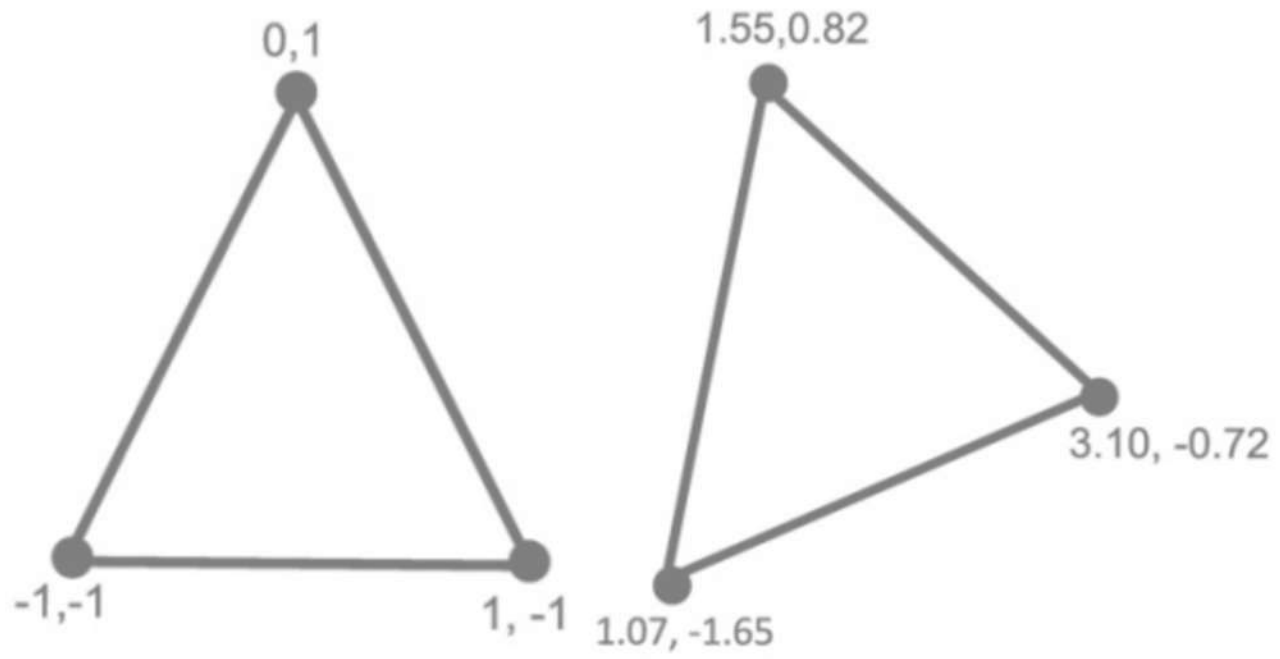


Determinación del ángulo de rotación

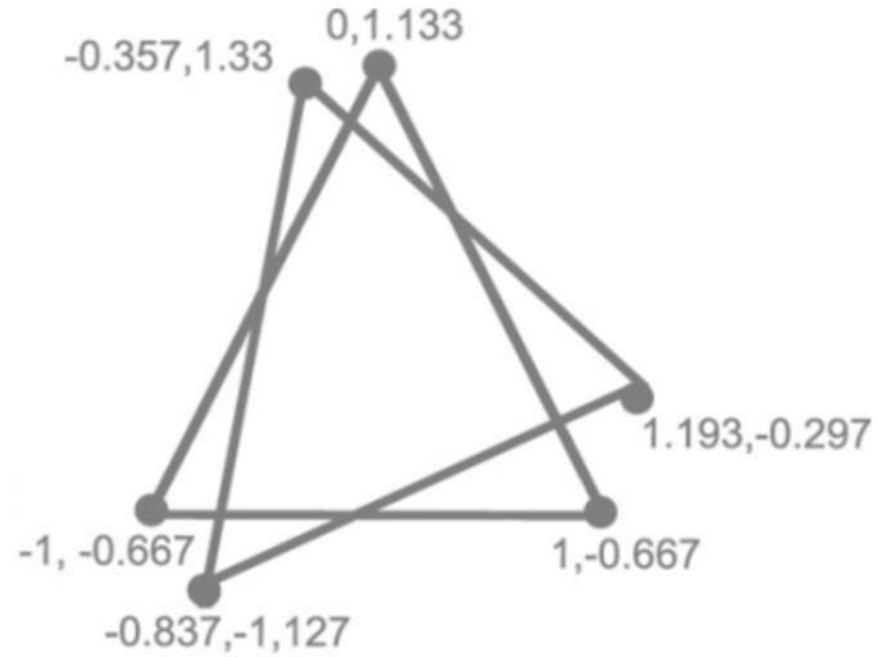


Procrustes:

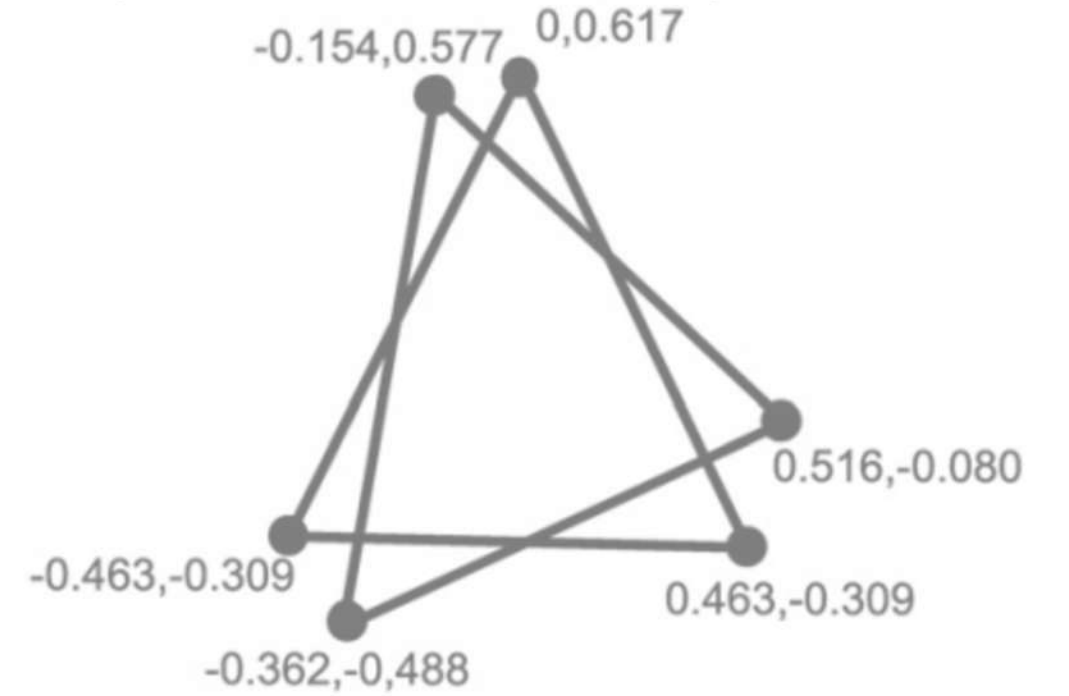
Dos triángulos



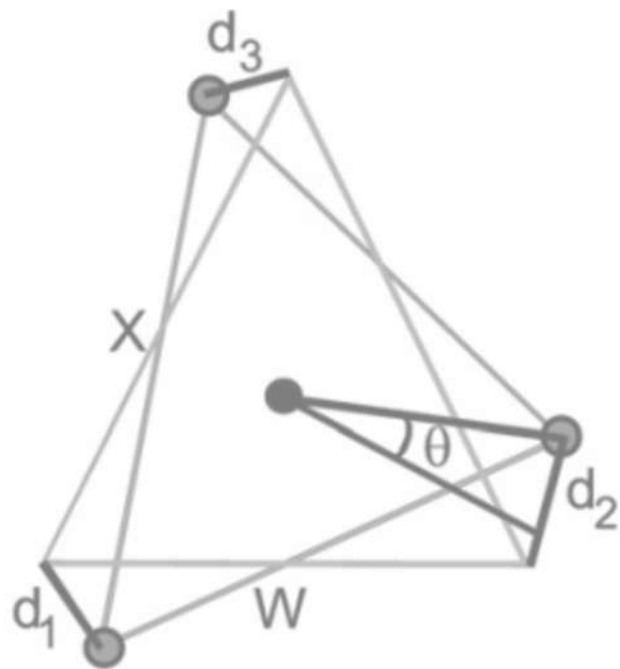
Dos triángulos centrados



Triángulos centrados y escalados

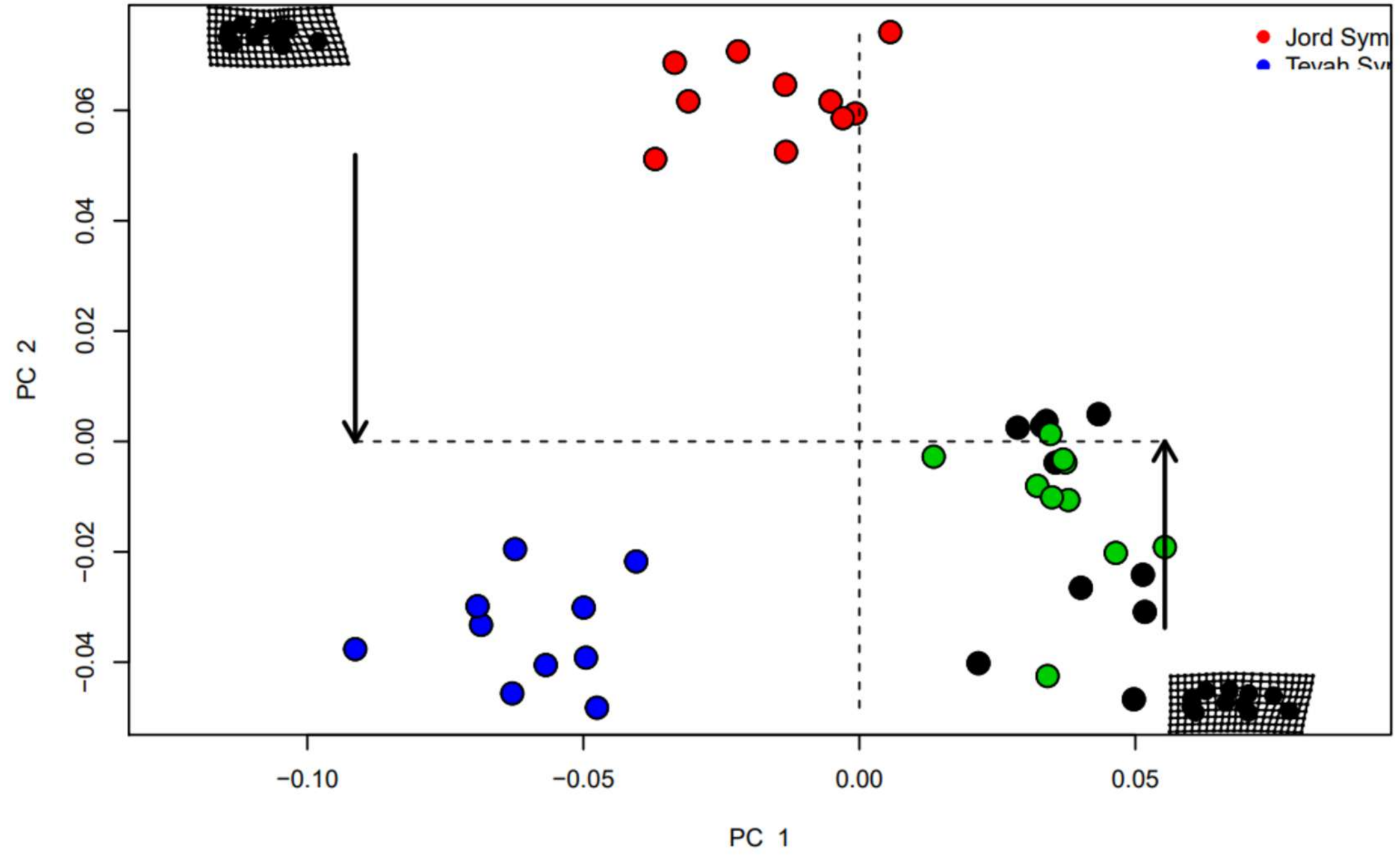


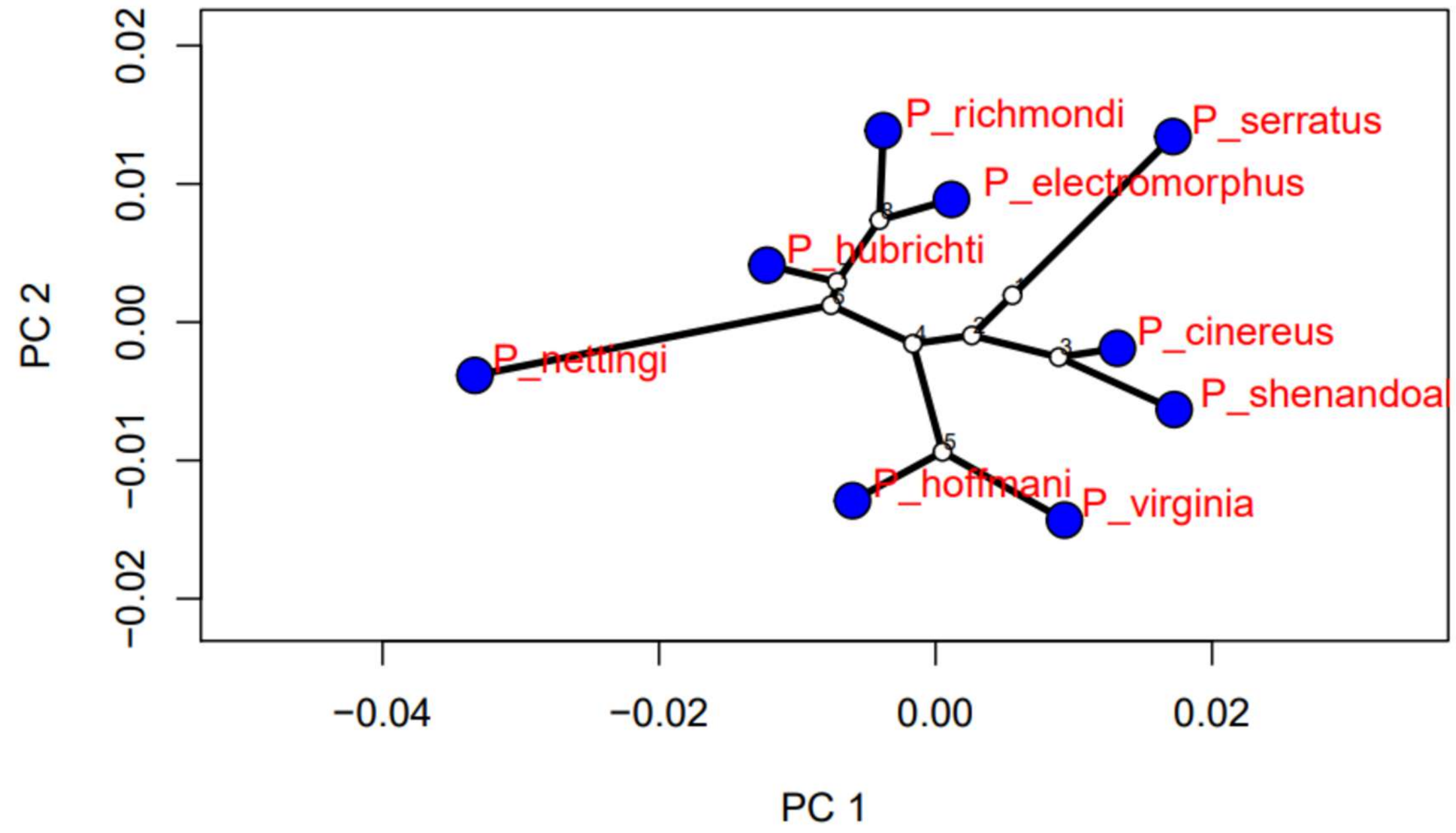
Determinación del ángulo de rotación

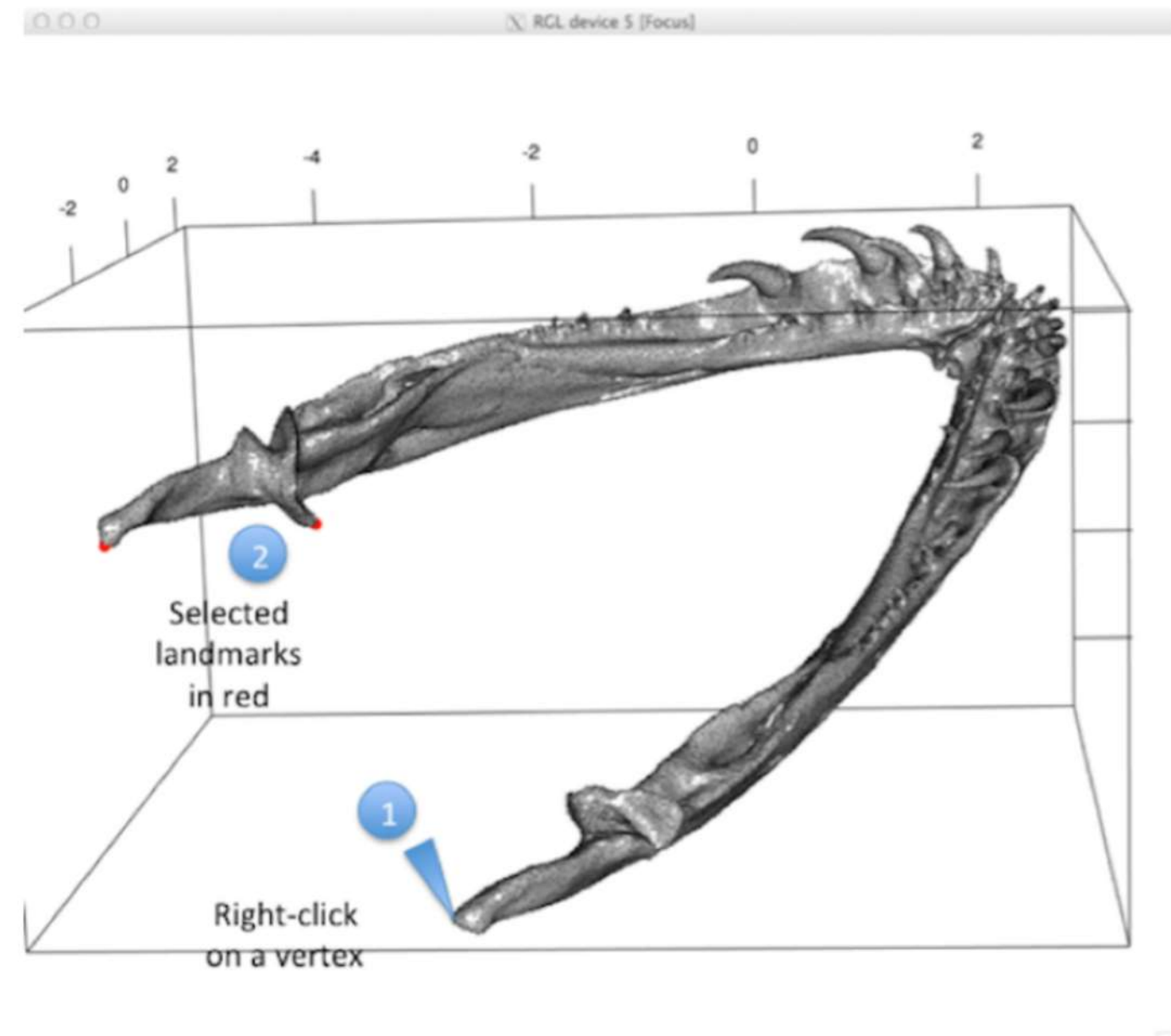
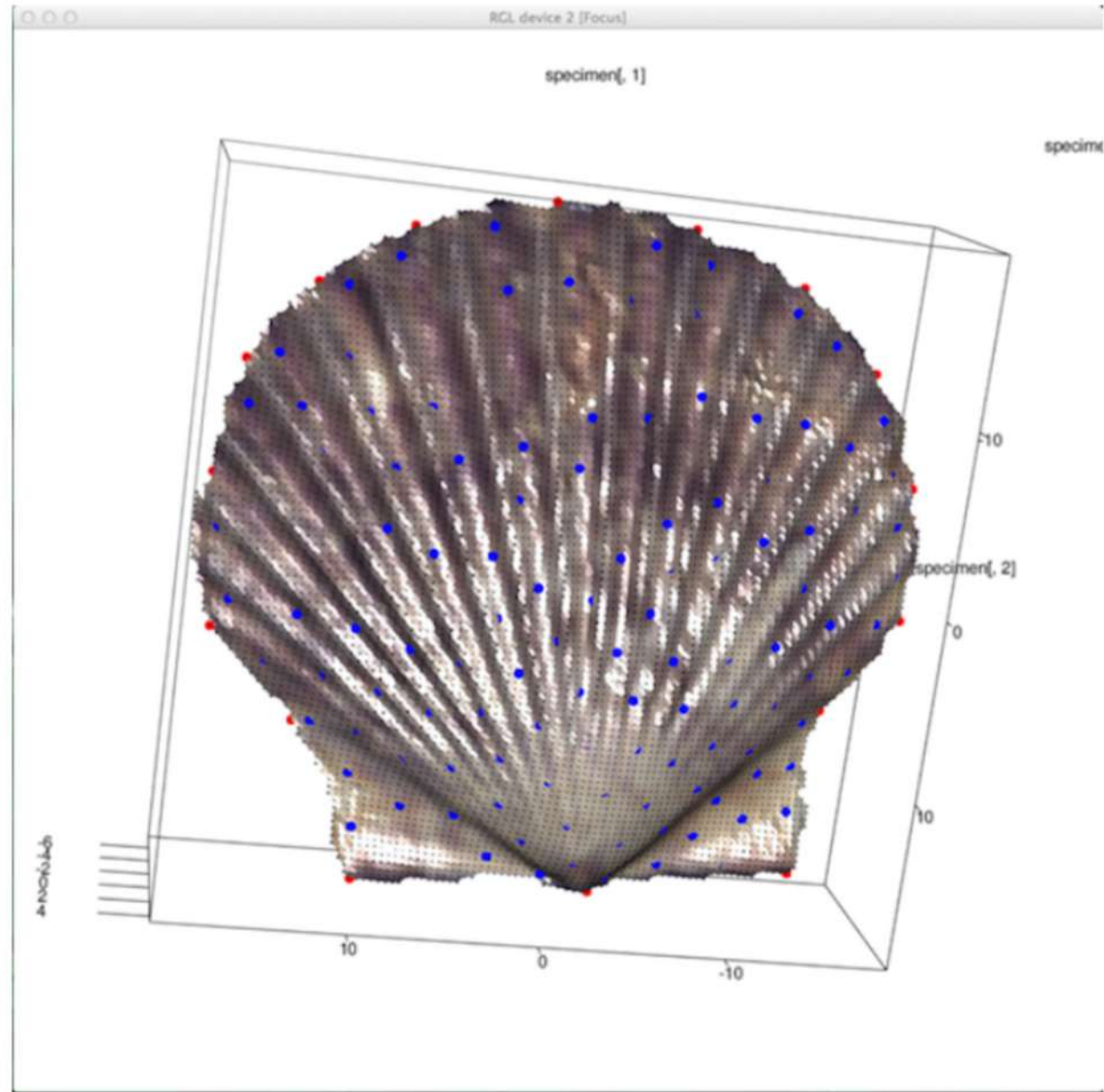


Triángulos centrados, escalados y rotados









"Que la estructura y la función varían conjuntamente de maneras predecibles entre conjuntos de organismos es fundamental para toda la biología"

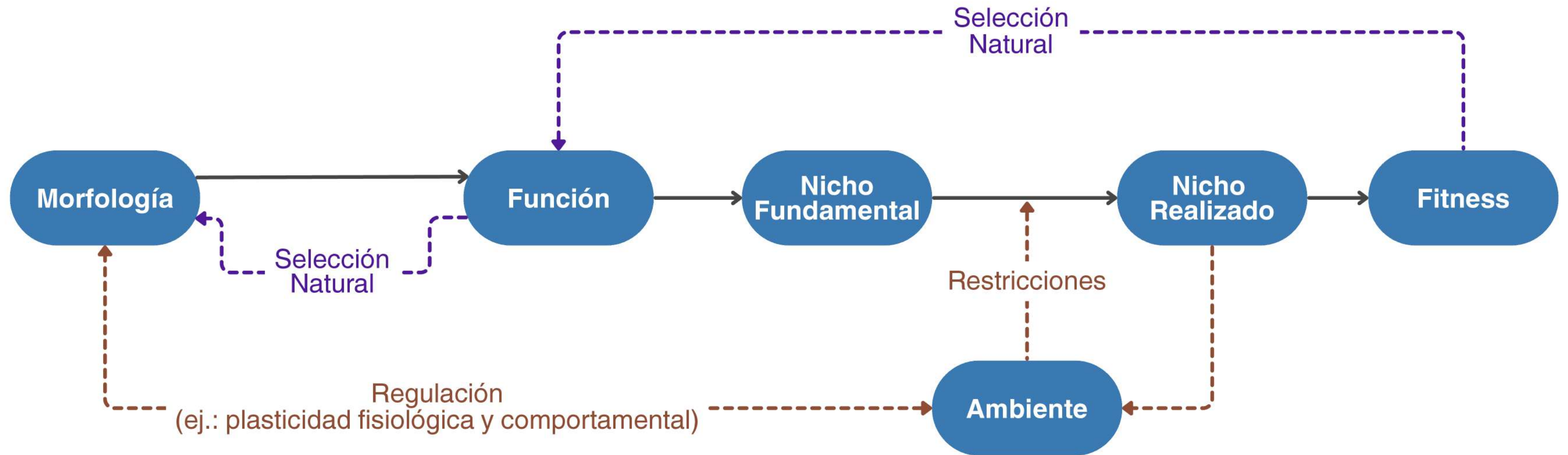


© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

© Encyclopædia Britannica, Inc.

Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

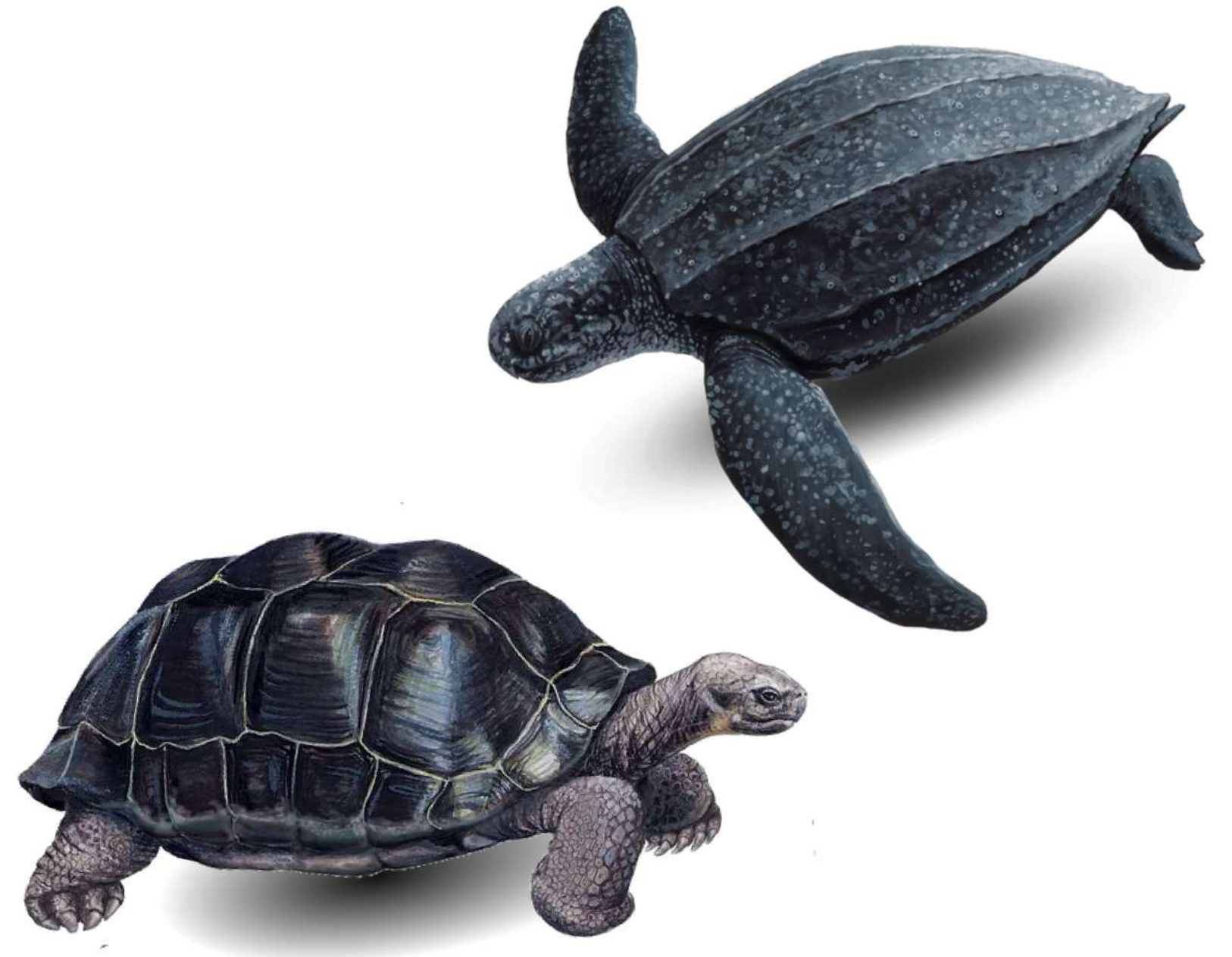
Ecomorfología



La estructura física determina lo que puede hacer un organismo

Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

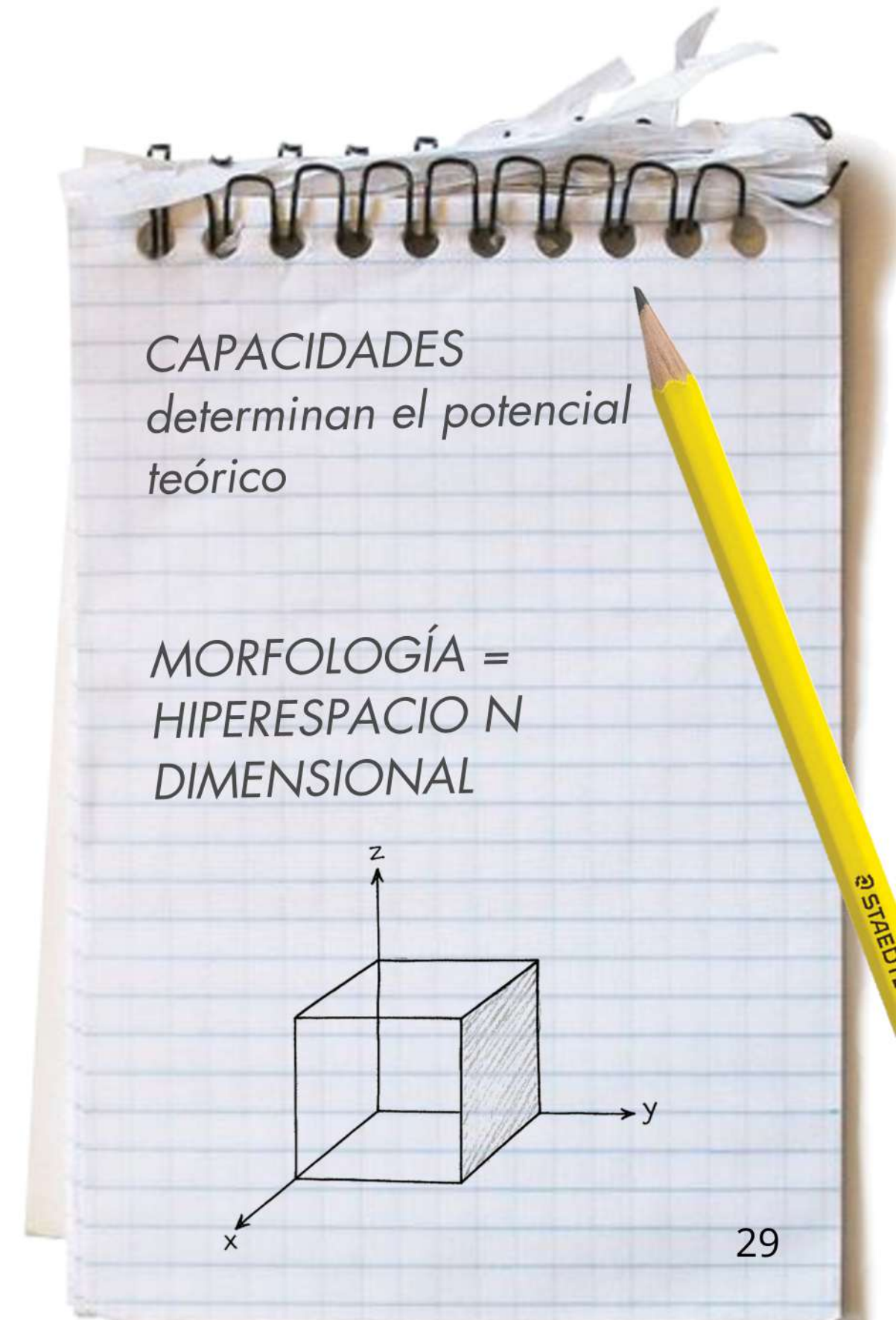




Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades



Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades



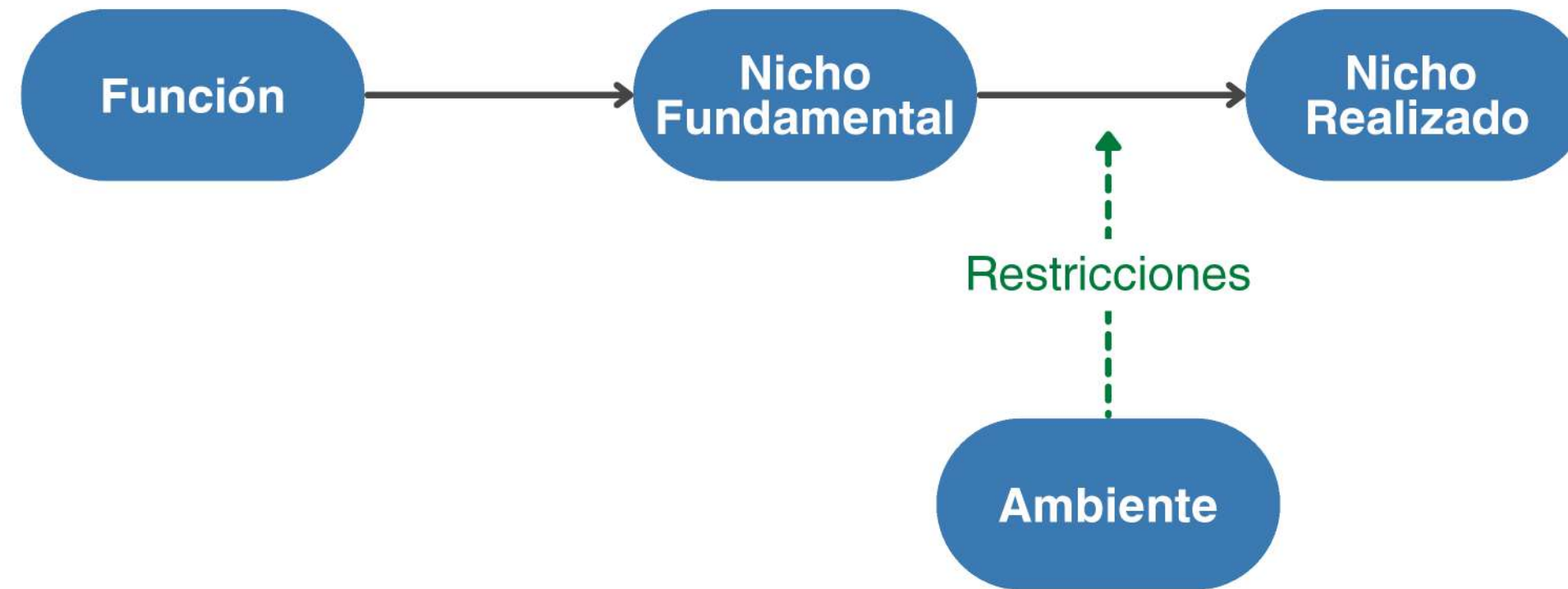
Foto: Trindade, M. R.



Foto: Maneyro, R.

Ecomorfología

Potencial teórico + ambiente (restricciones y **facilitaciones**)



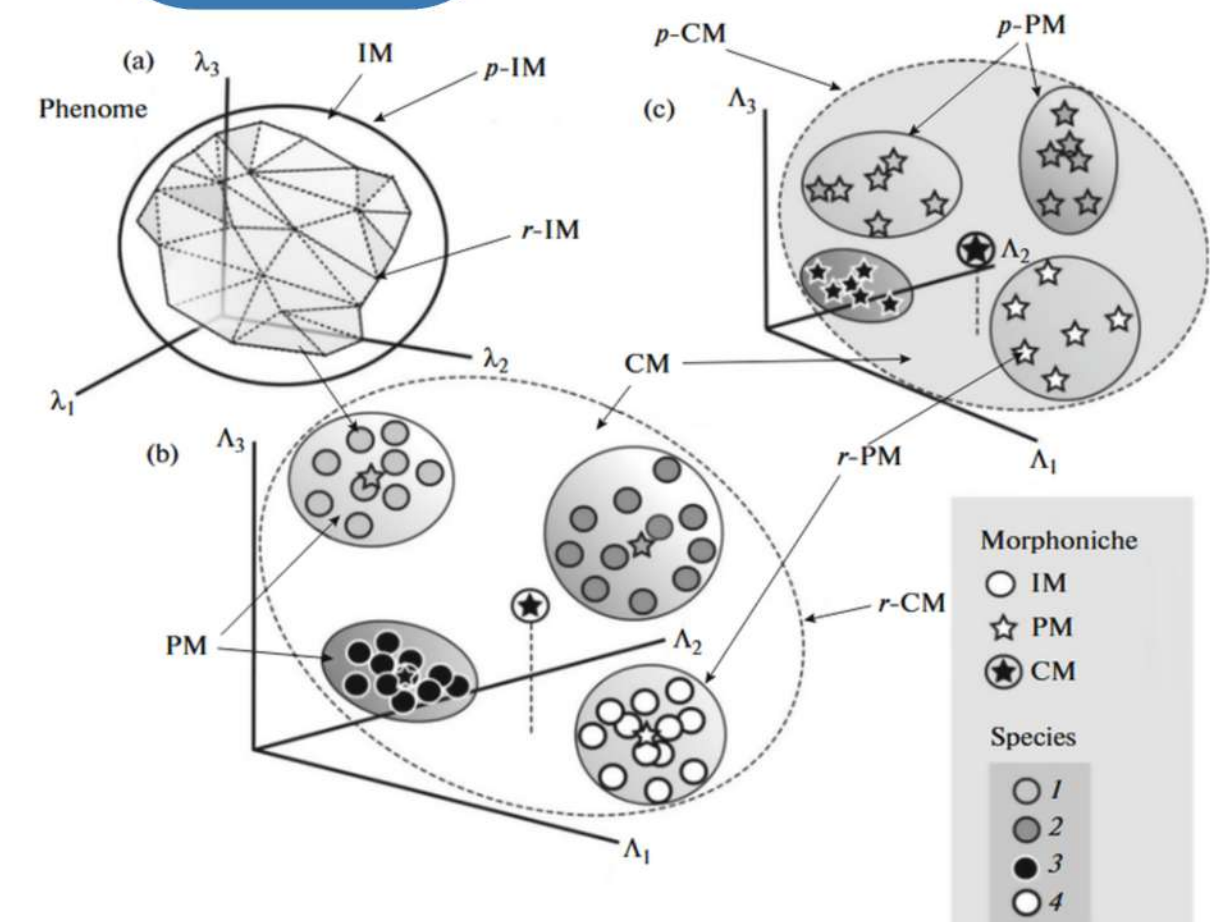
Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

Ecomorfología



Una 'coraza' morfofuncional de un individuo

Morphoniche

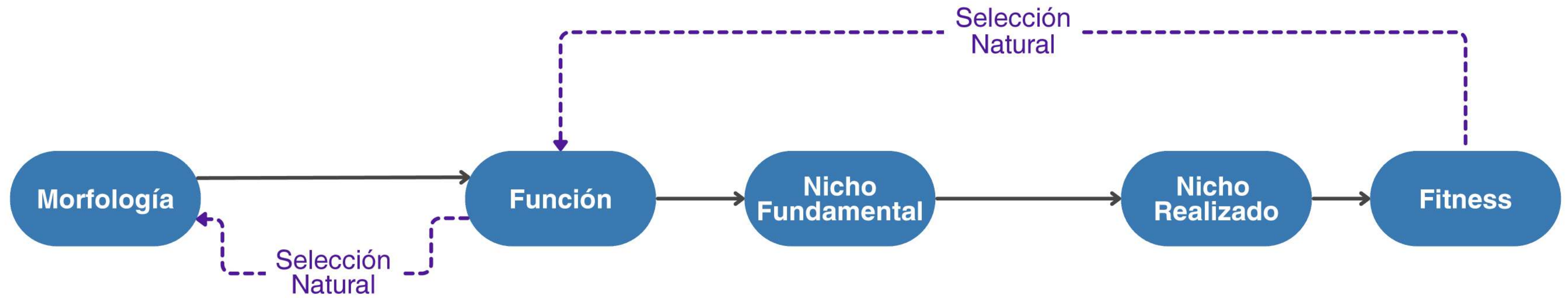


Ecomorfología



Aptitud
Que tan bien sobrevive y se reproduce?
Poblacional

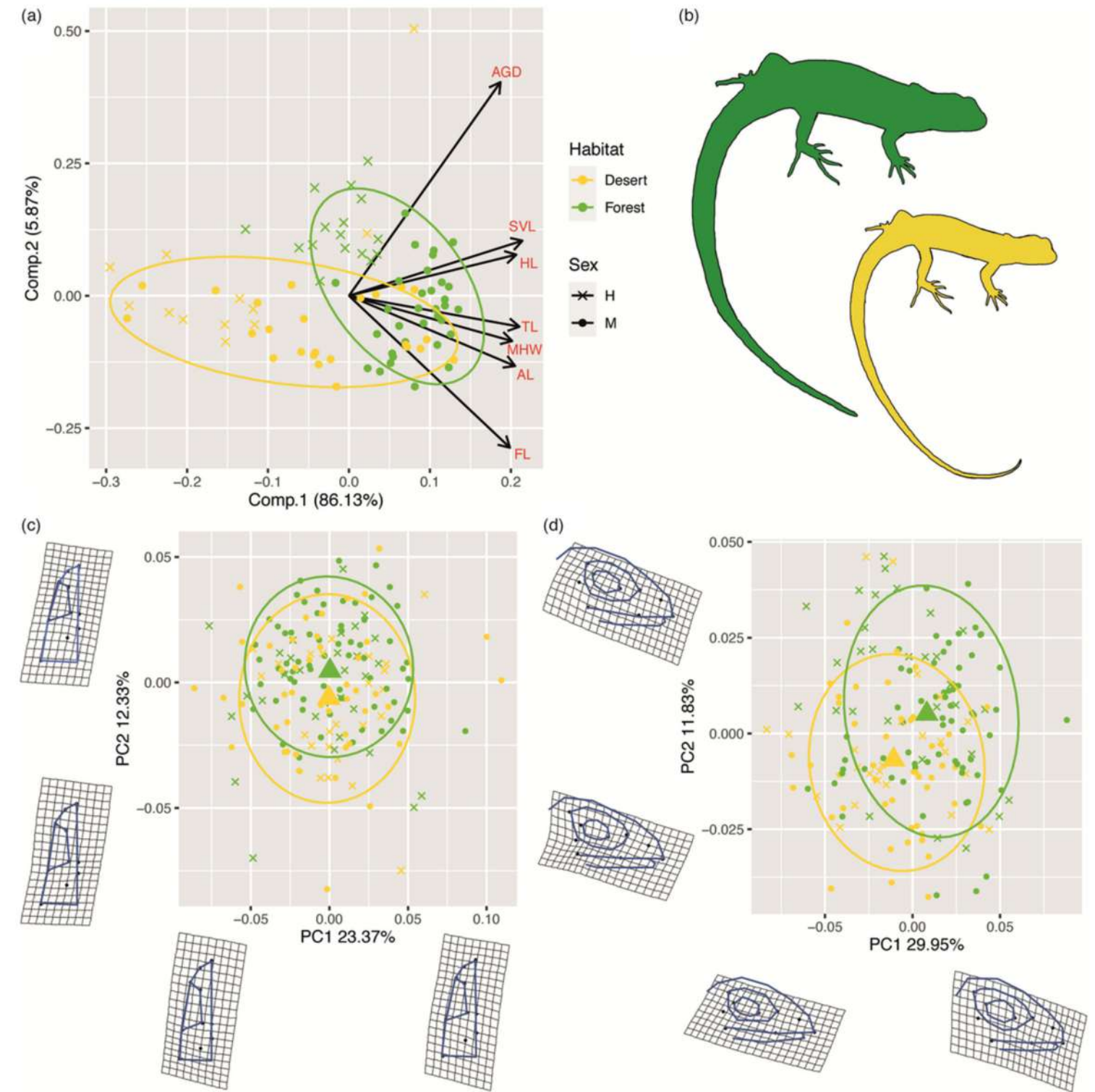
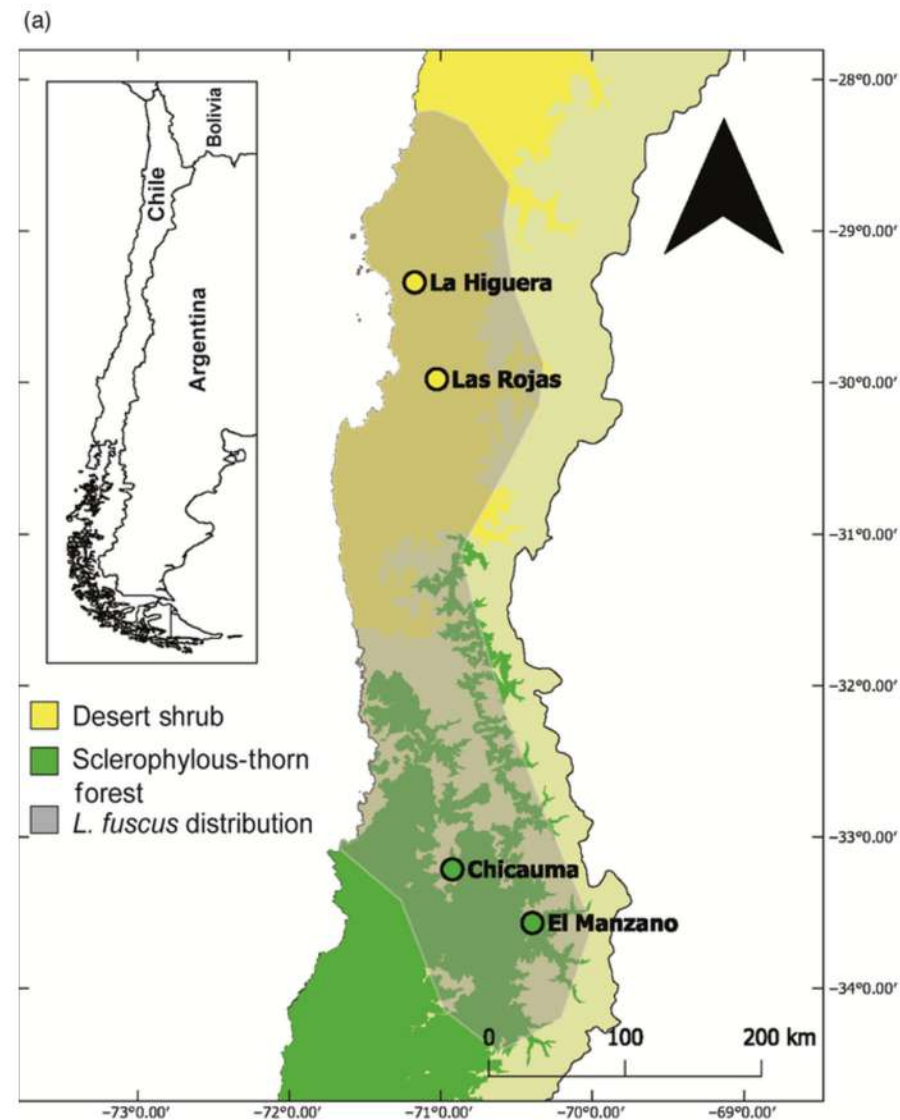
Ecomorfología



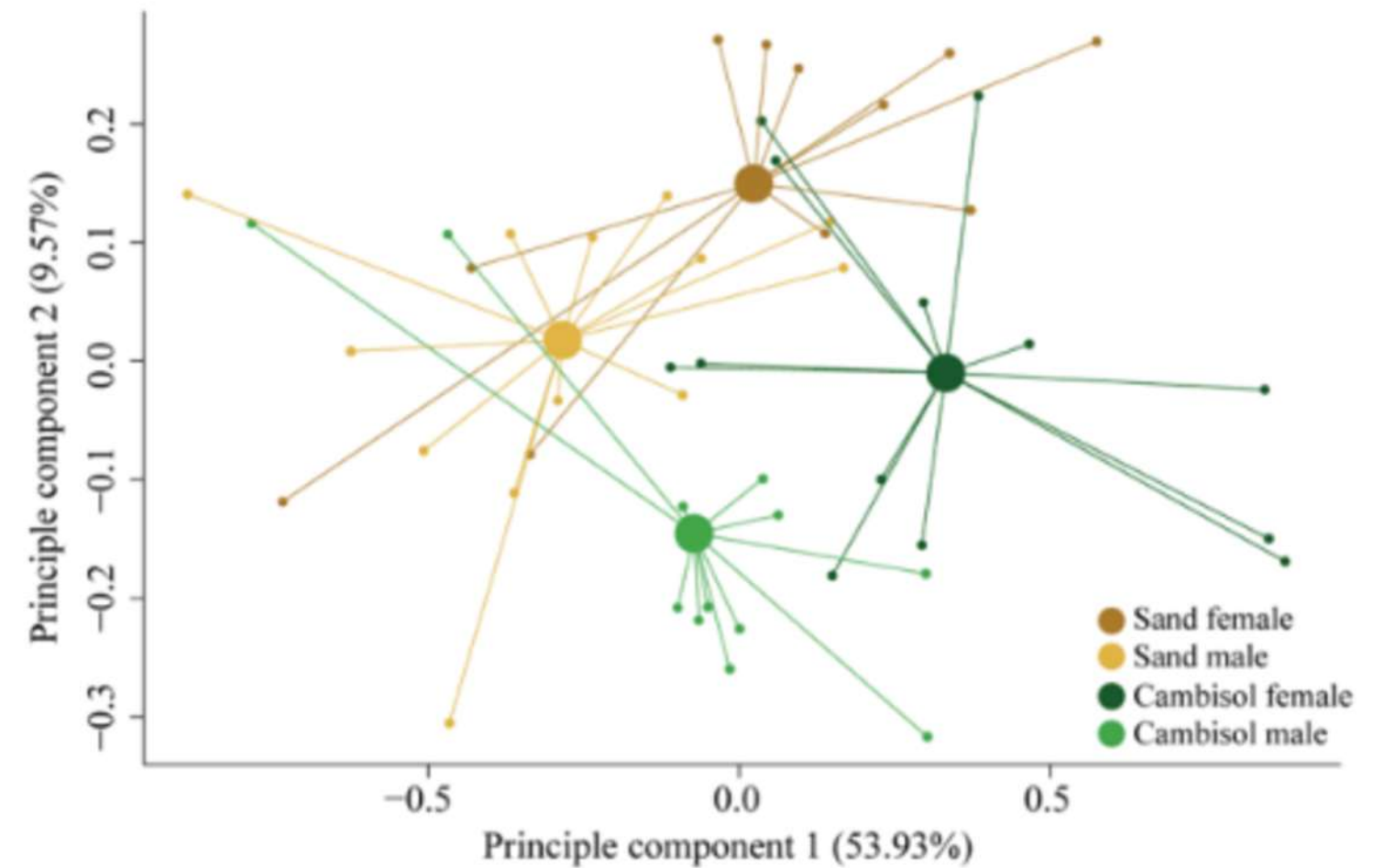
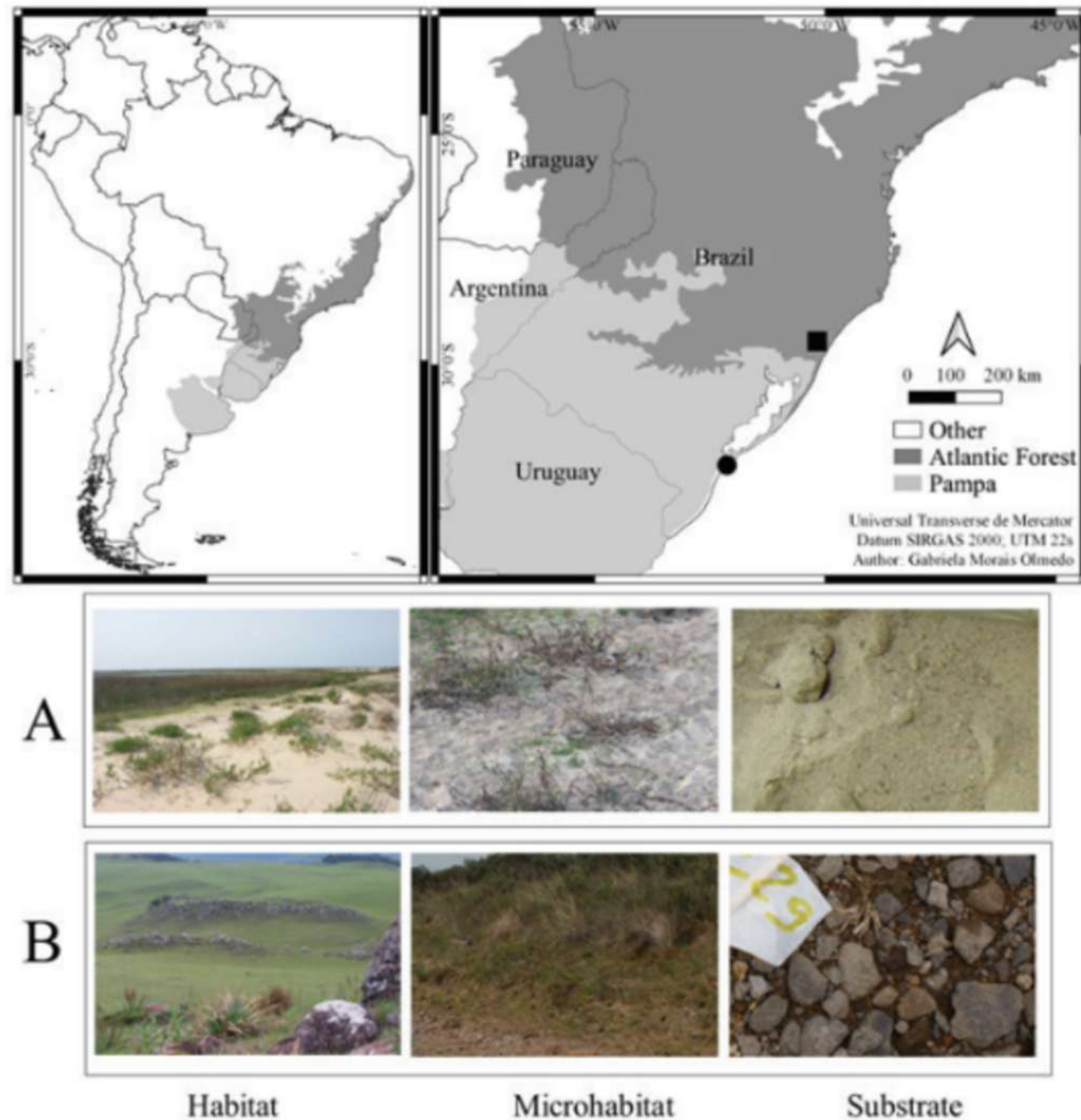
Retroalimentación
Fitness como un colador

Adaptación al desierto en una especie de lagarto

Desierto de Atacama
Liolaemus fuscus

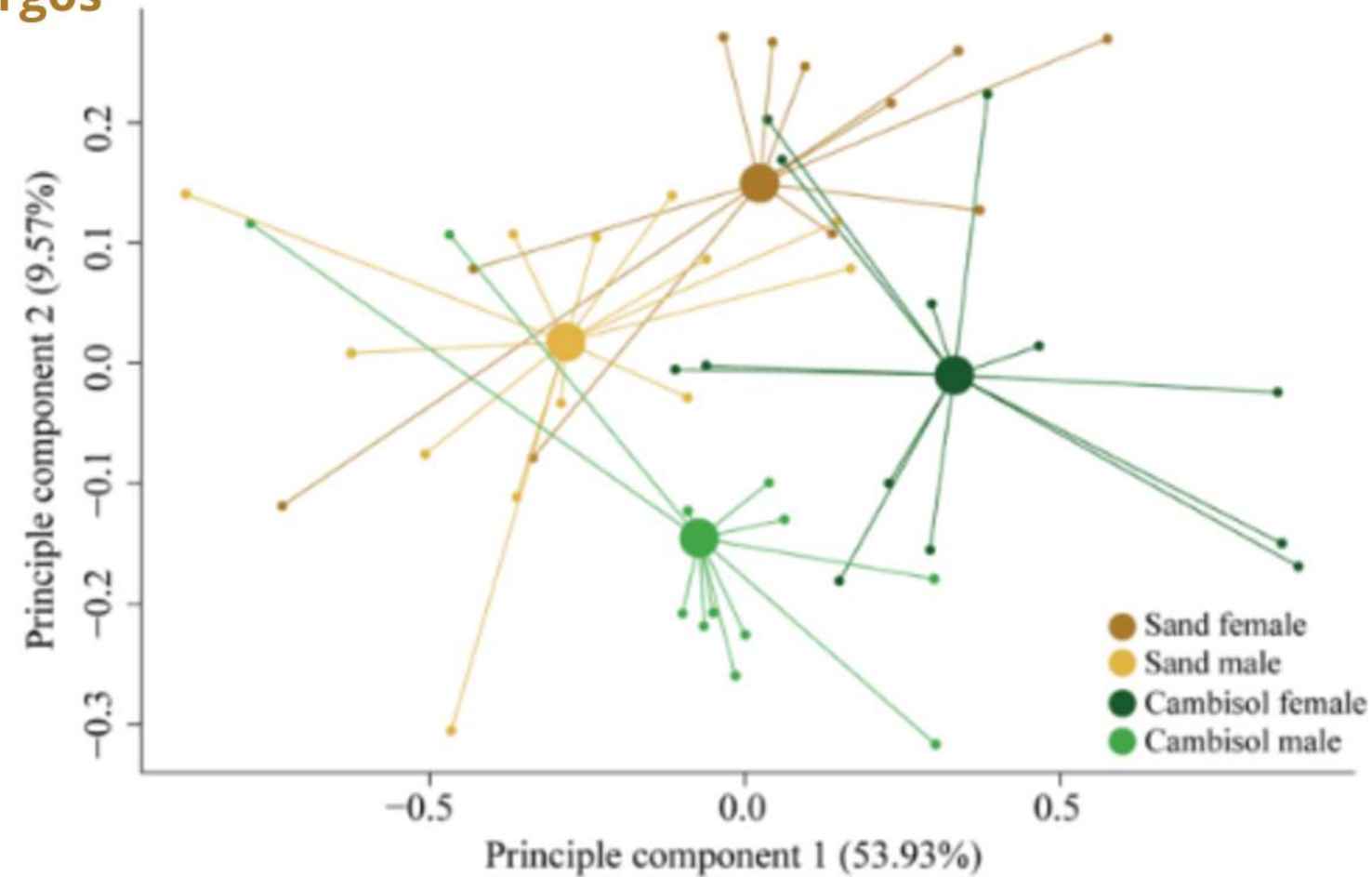


Variaciones locales en una especie de lagarto



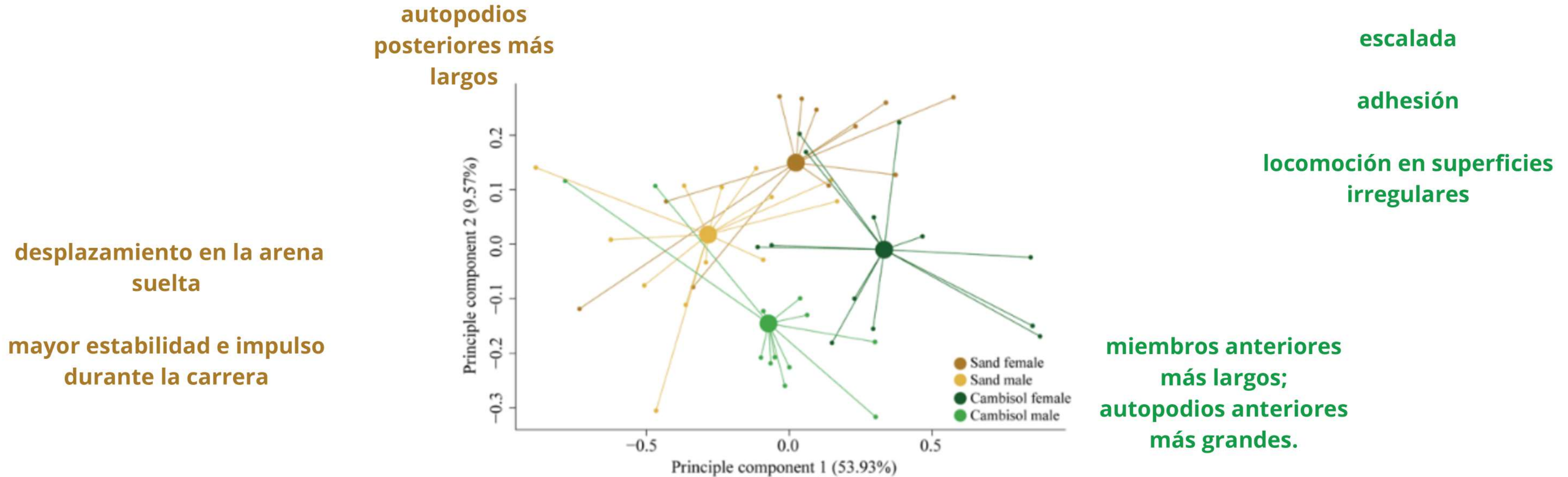
Variaciones locales en una especie de lagarto

autopodios
posteriores más
largos



miembros anteriores
más largos;
autopodios anteriores
más grandes.

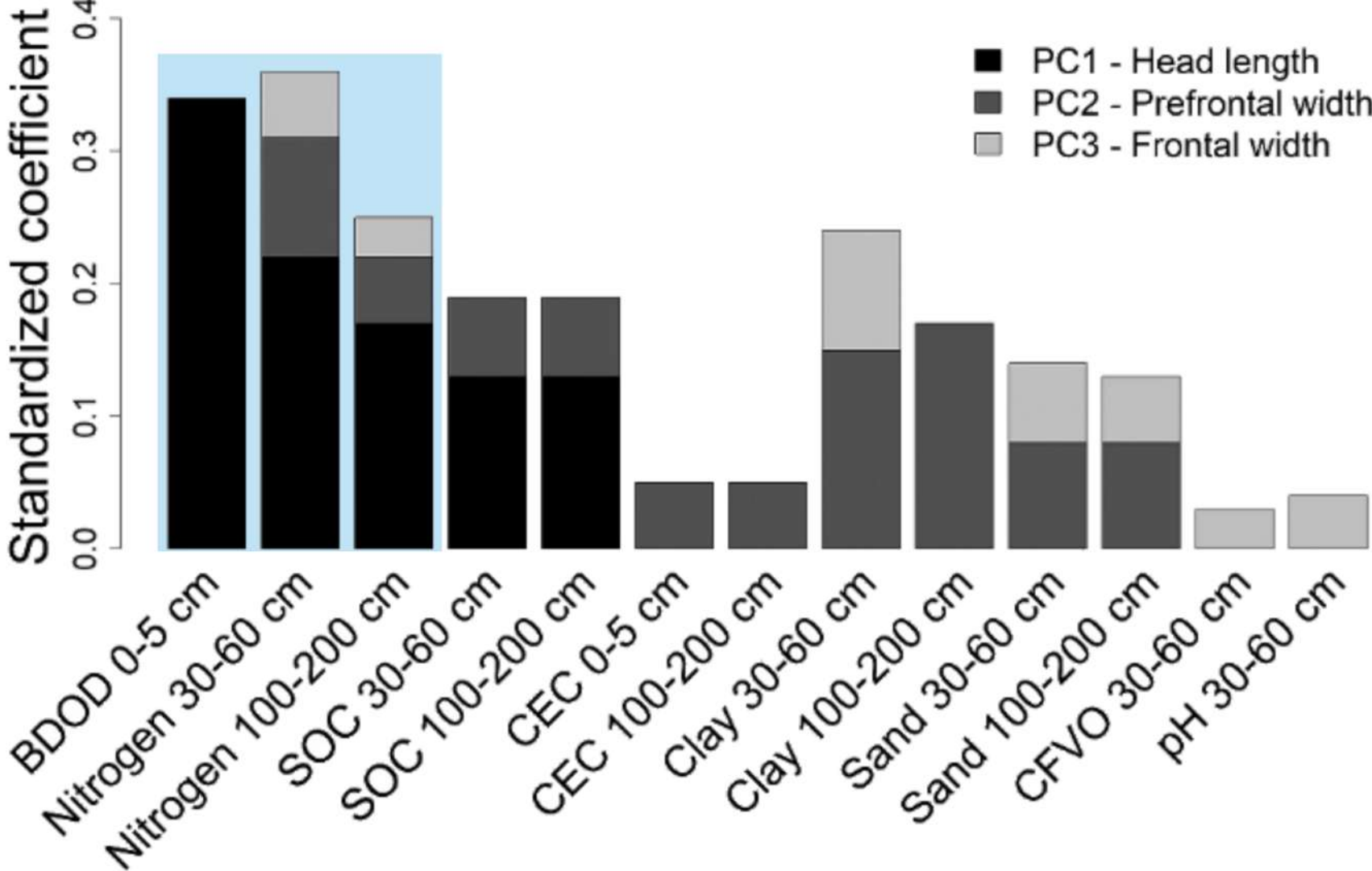
Variaciones locales en una especie de lagarto



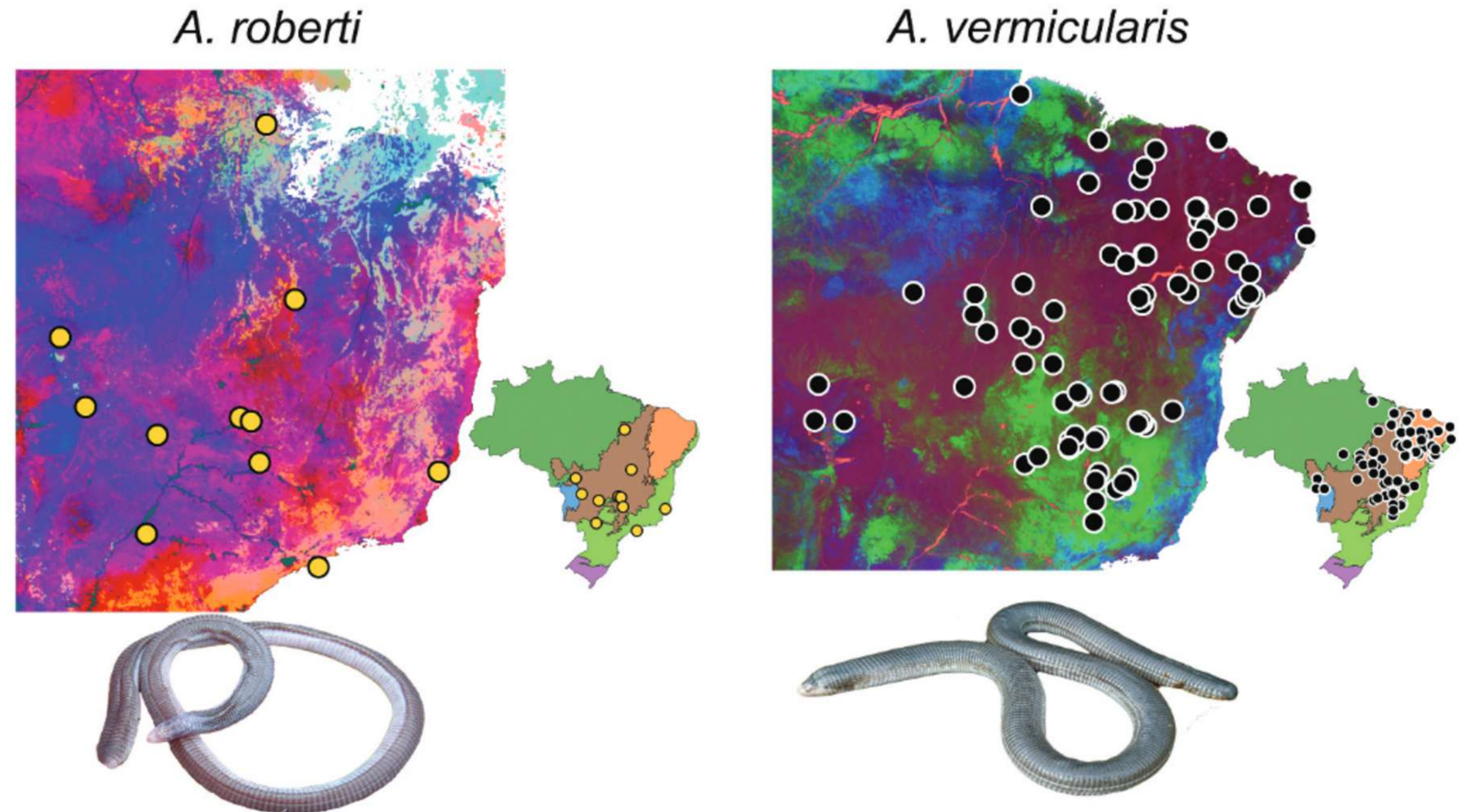
Estructura edáfica y variación morfológica



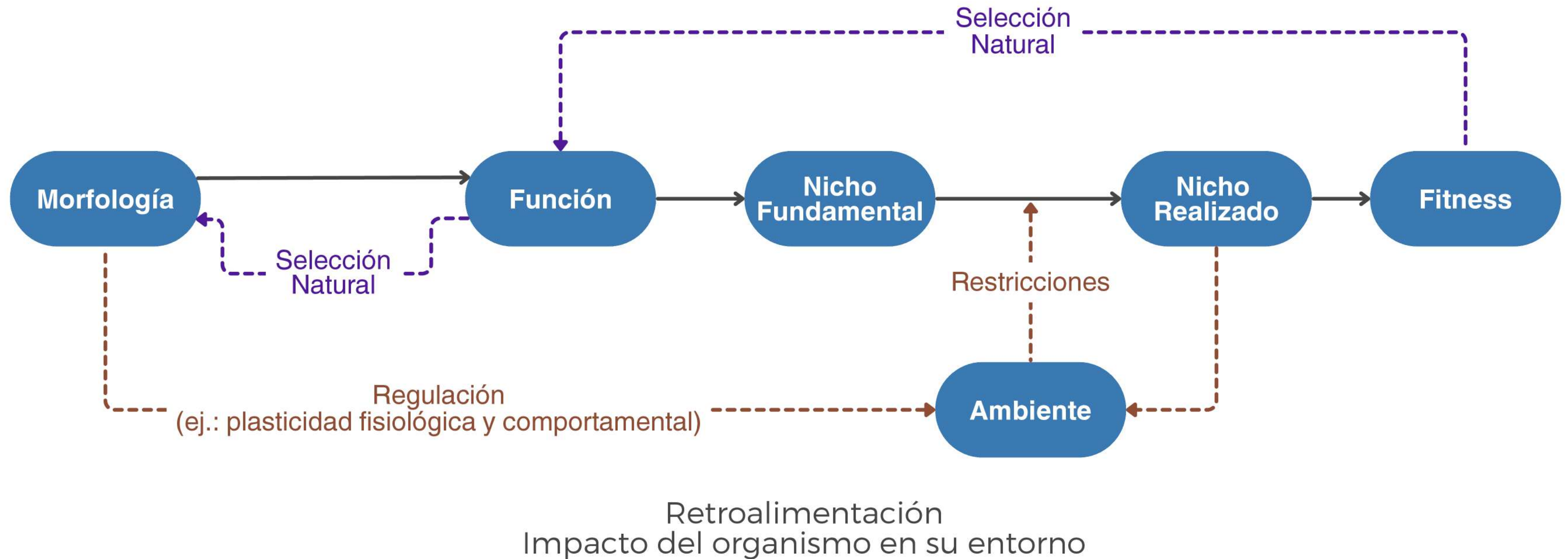
Foto: Teixeira, M.



En la capa de suelo más superficial (0–5 cm), la variación interespecífica en la longitud de la cabeza fue predicha por la estructura física del suelo cuantificada por la densidad aparente; en las capas más profundas (30–100 cm), la estructura química del suelo cuantificada por el nitrógeno y el carbono fueron los principales predictores. Predictor de la variación morfológica más importante que la distancia geográfica.



Ecomorfología



Interacciones Ecológicas



Foto: Braz, R.



Foto: Carlisle, I.



Foto: Trindade, M. R.



Foto: Borges-Martins, M.

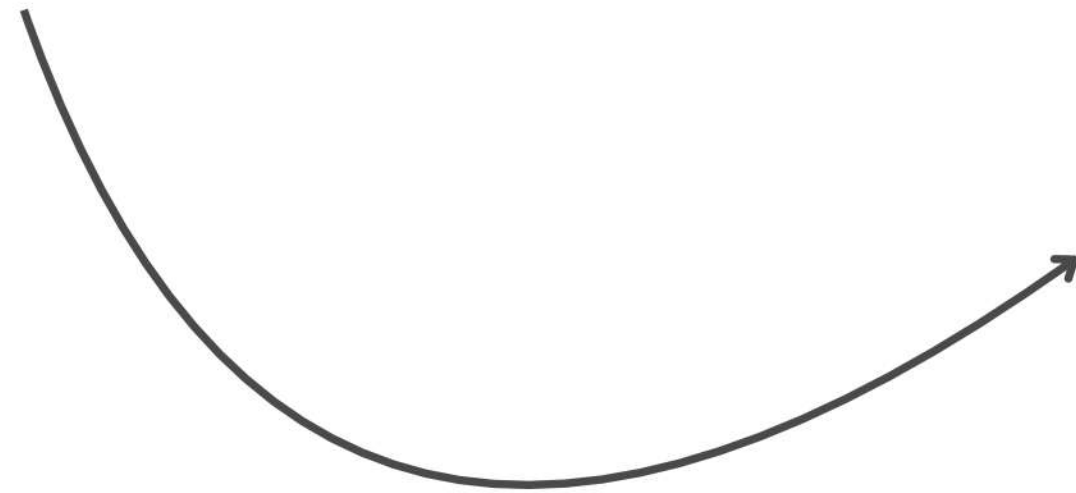


Foto: Cassel, C.



Interacciones
Ecológicas

Utilización/Partición
Recursos



Comunidad



Foto: Braz, R.



Foto: Cassel, C.



Foto: Carlisle, I.



Foto: Trindade, M. R.



Foto: Borges-Martins, M.

Recurso



Foto: Braz, R.



Foto: Cassel, C.



Foto: Carlisle, I.



Foto: Trindade, M. R.



Foto: Borges-Martins, M.

Recurso



Foto: Braz, R.



Foto: Cassel, C.



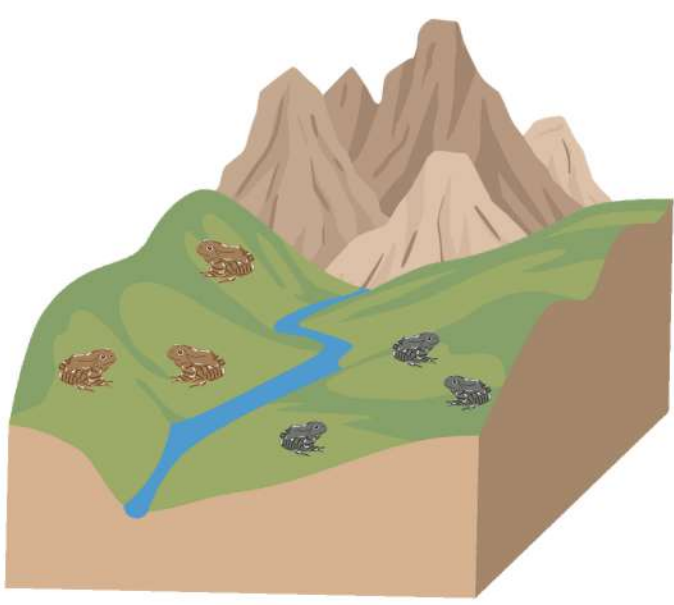
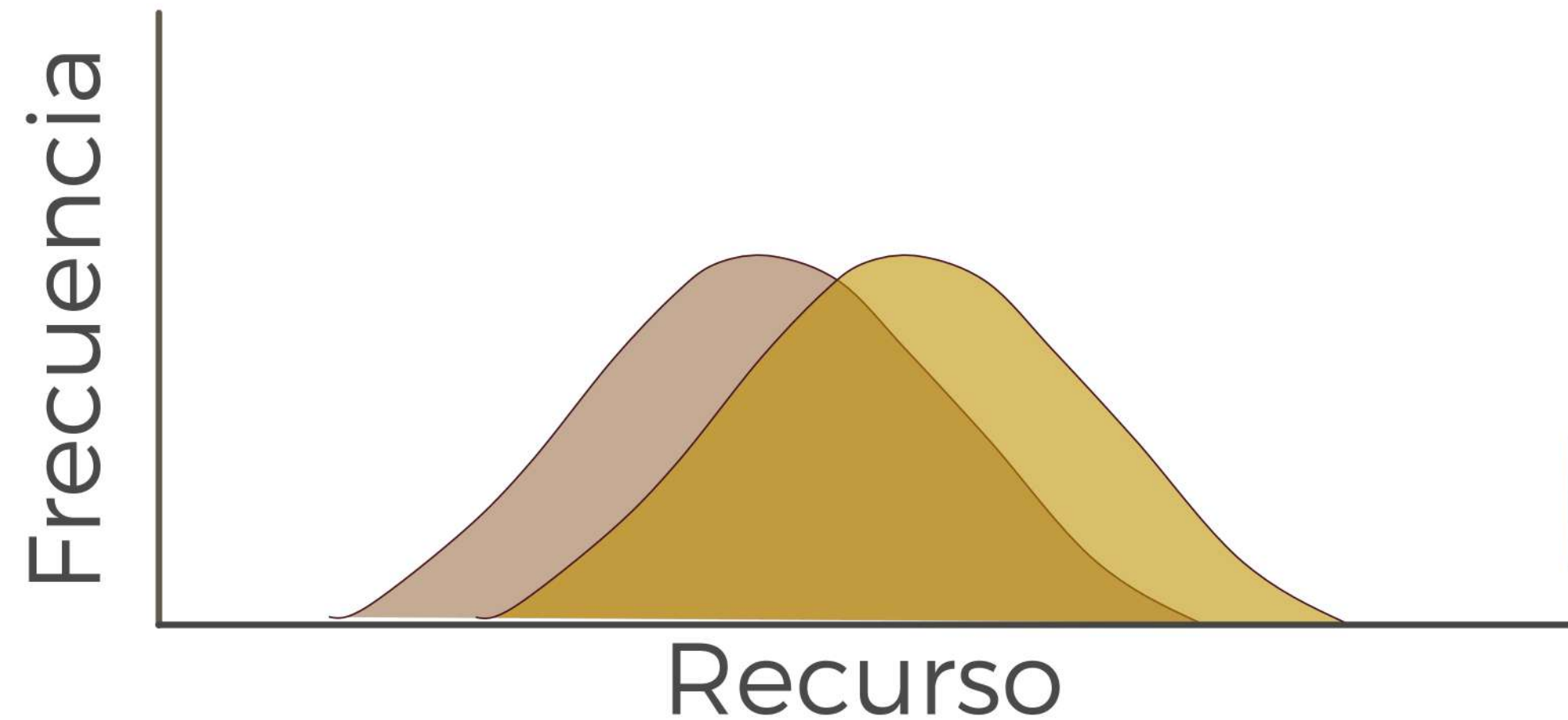
Foto: Carlisle, I.



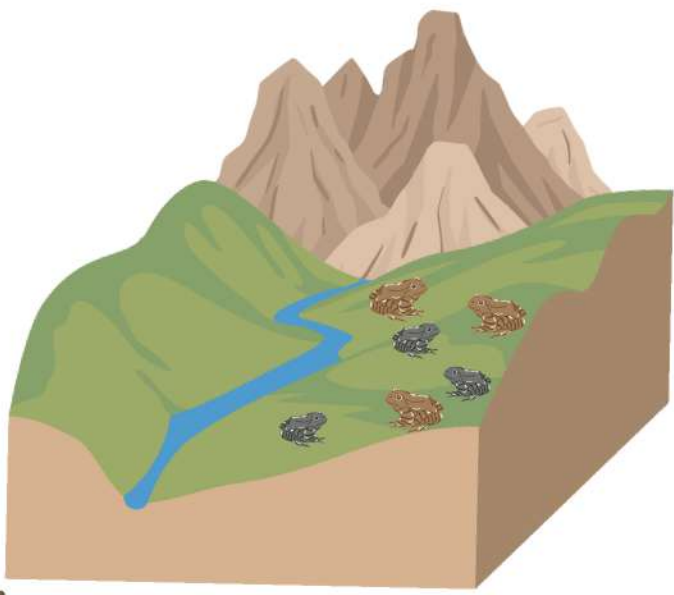
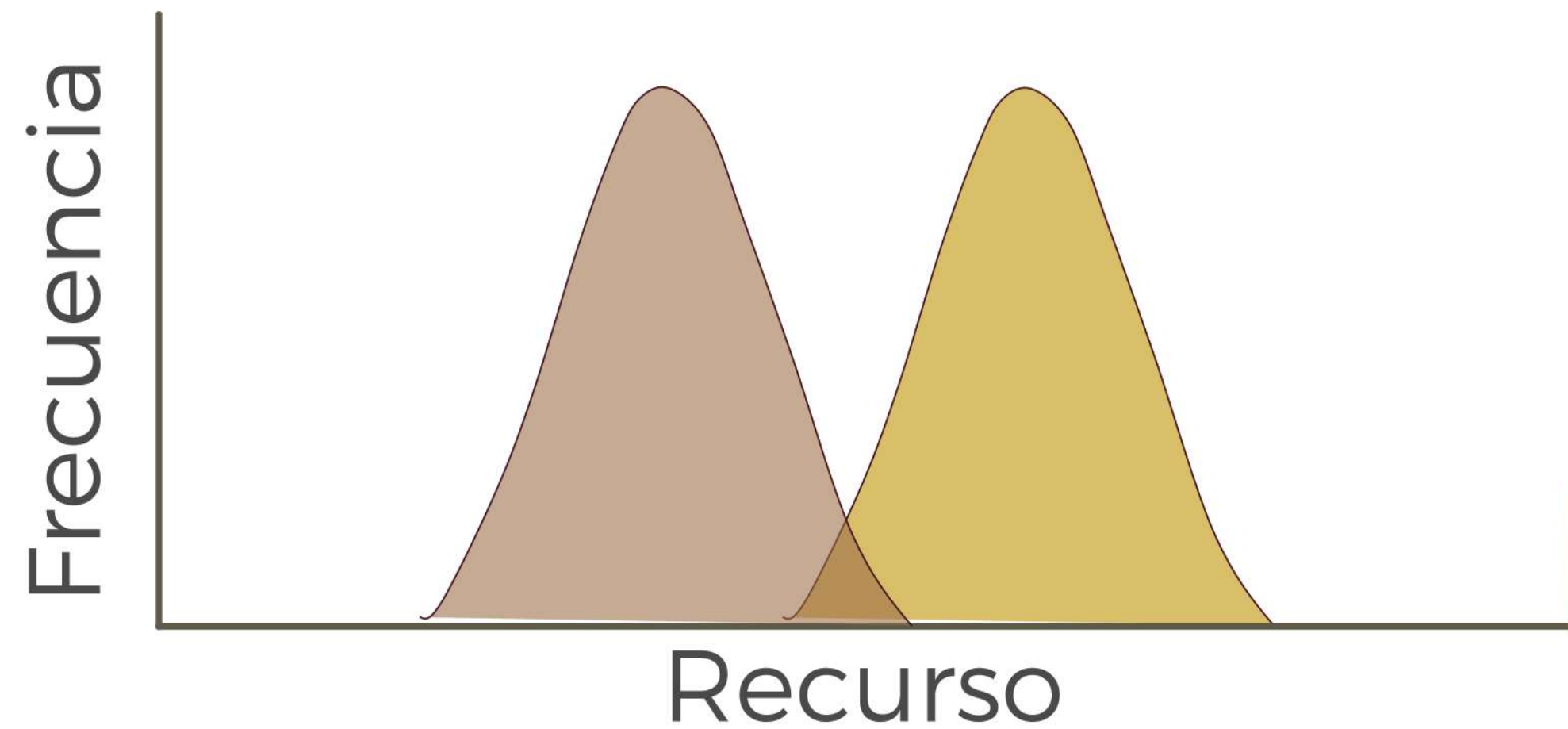
Foto: Trindade, M. R.



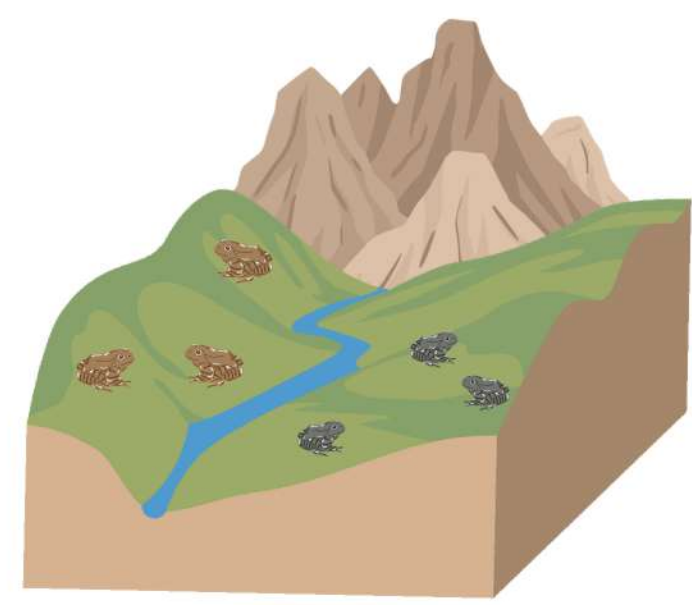
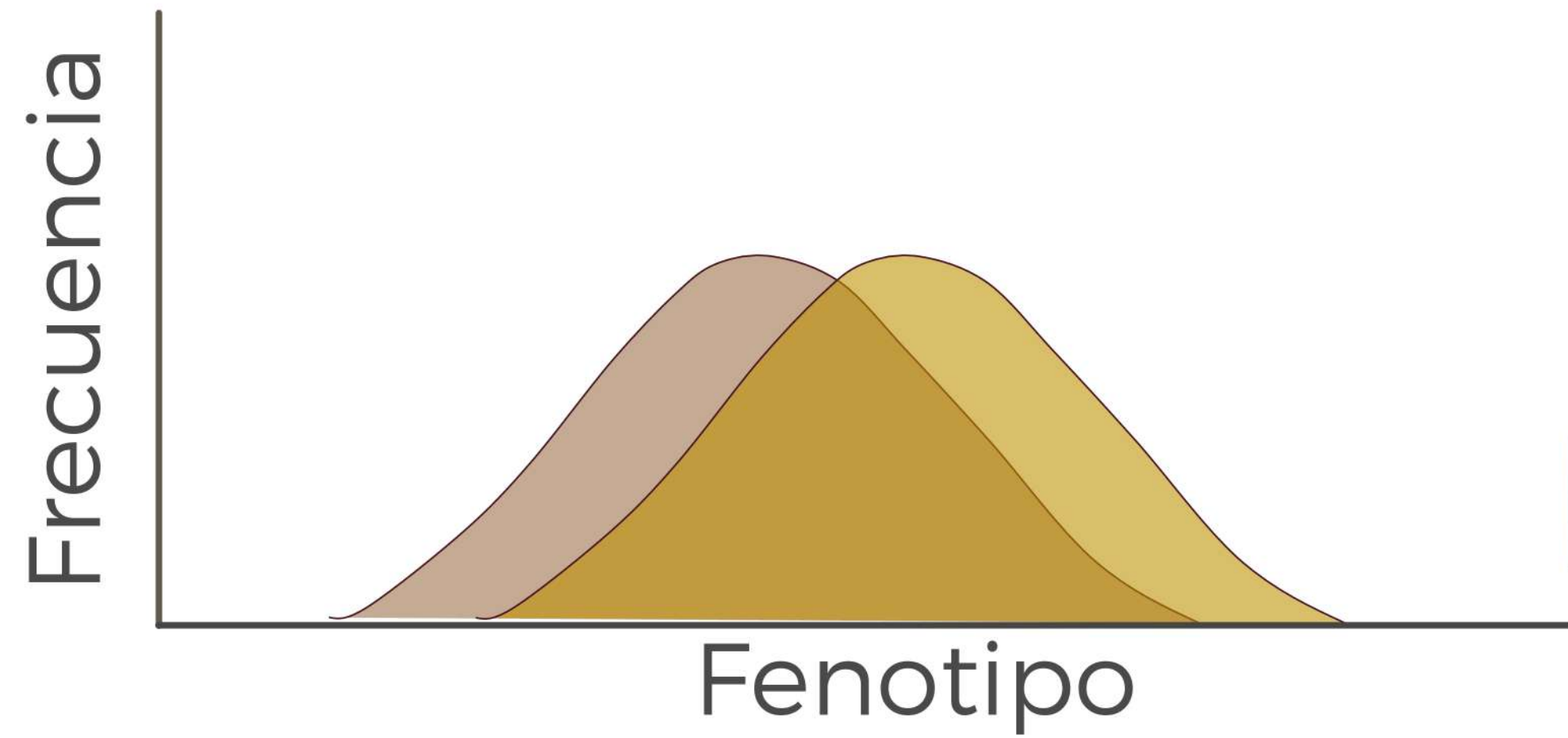
Foto: Borges-Martins, M.



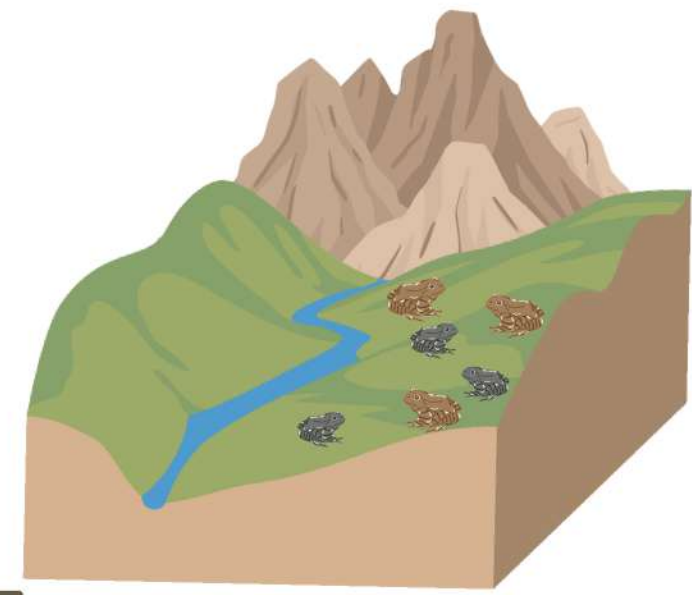
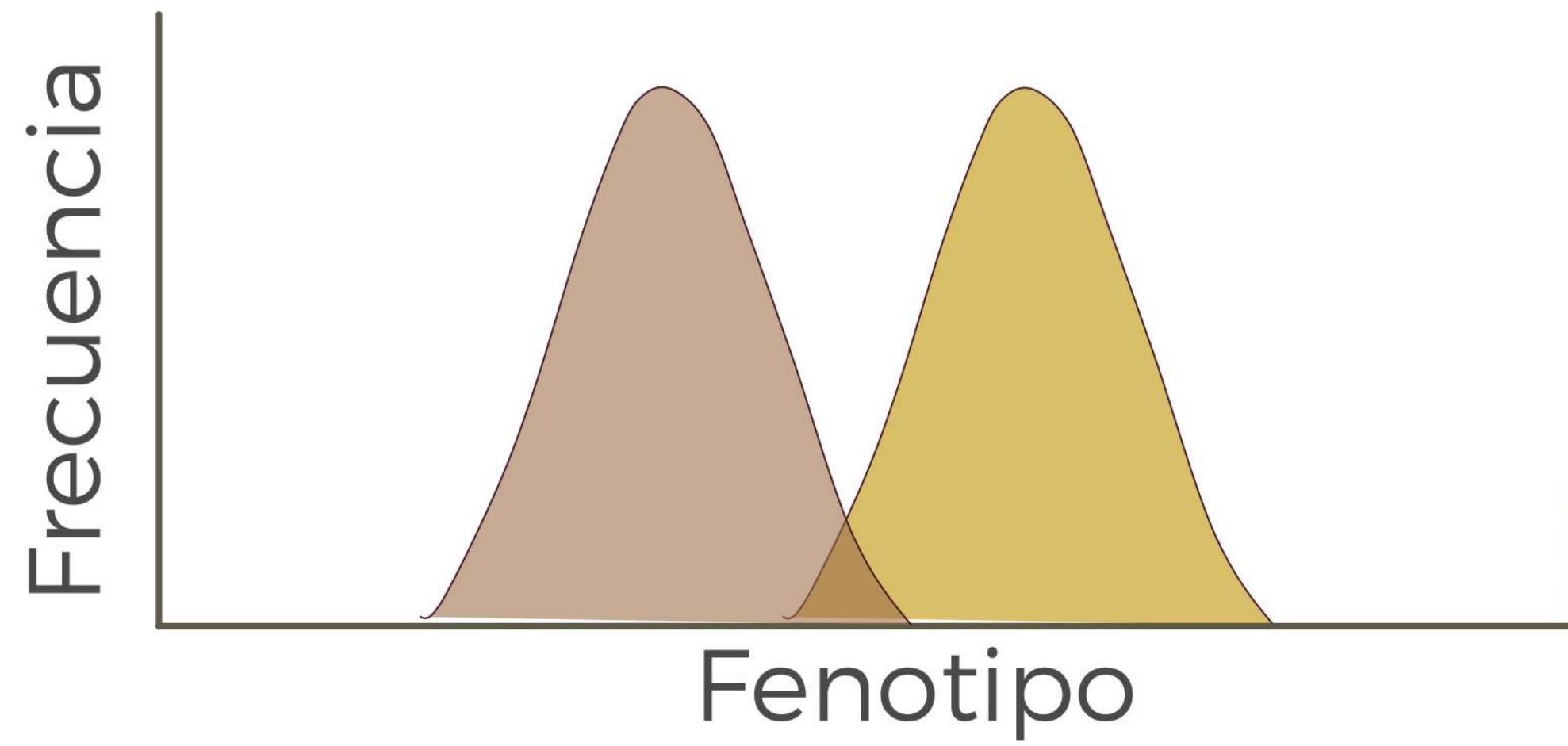
Alopatría



Simpatría

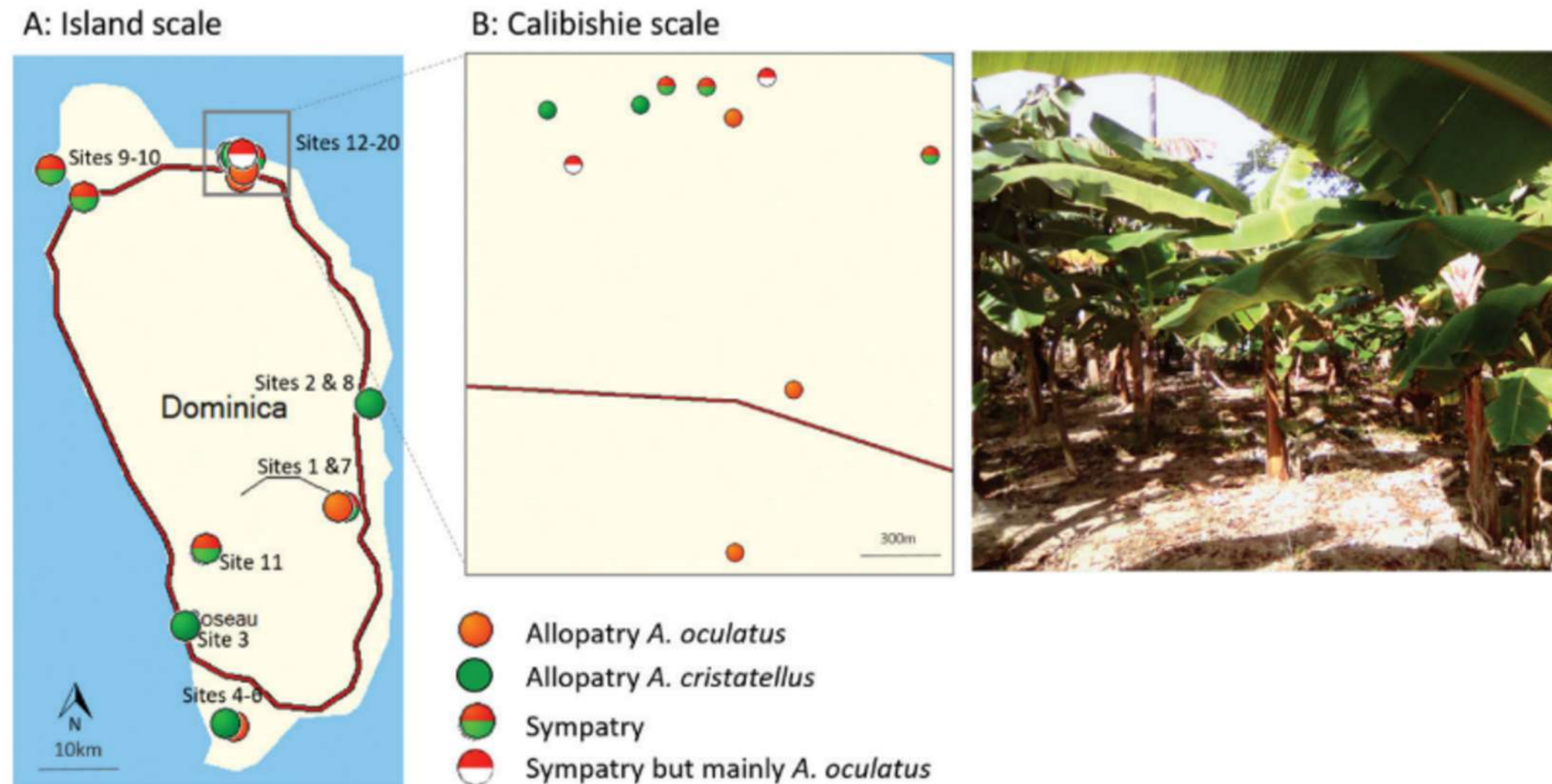


Alopatría

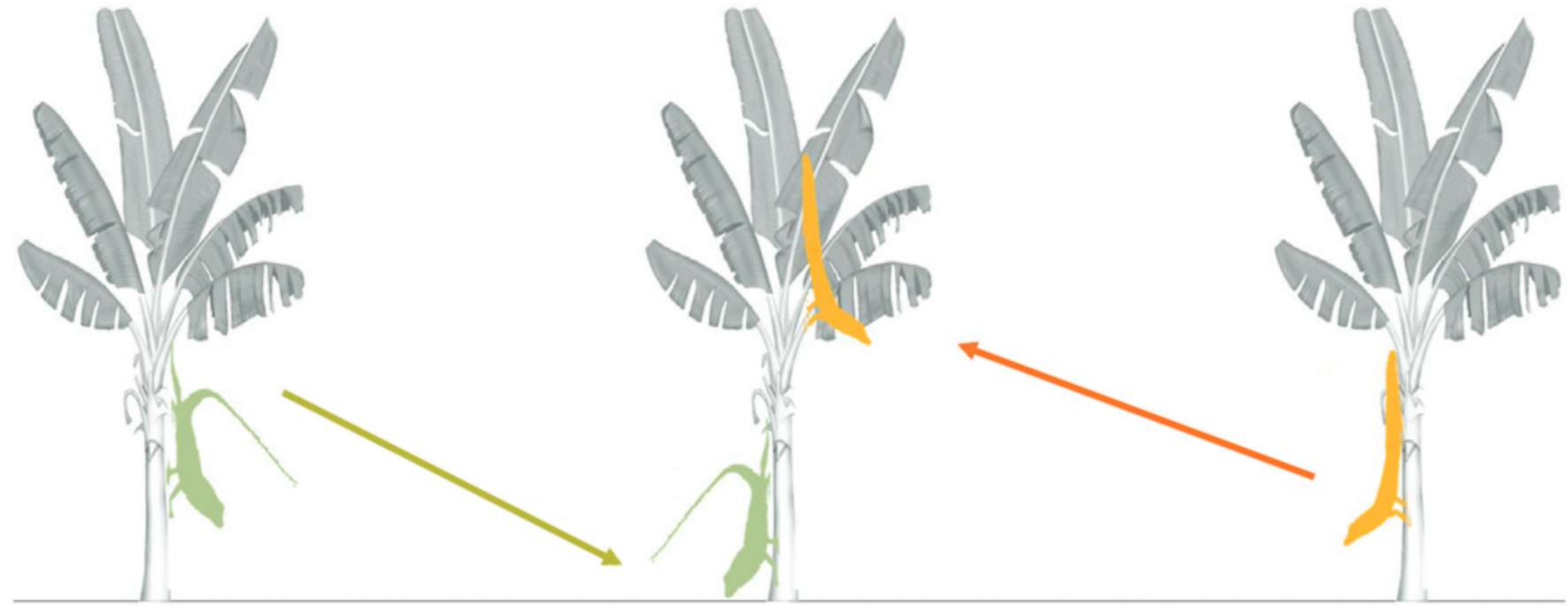
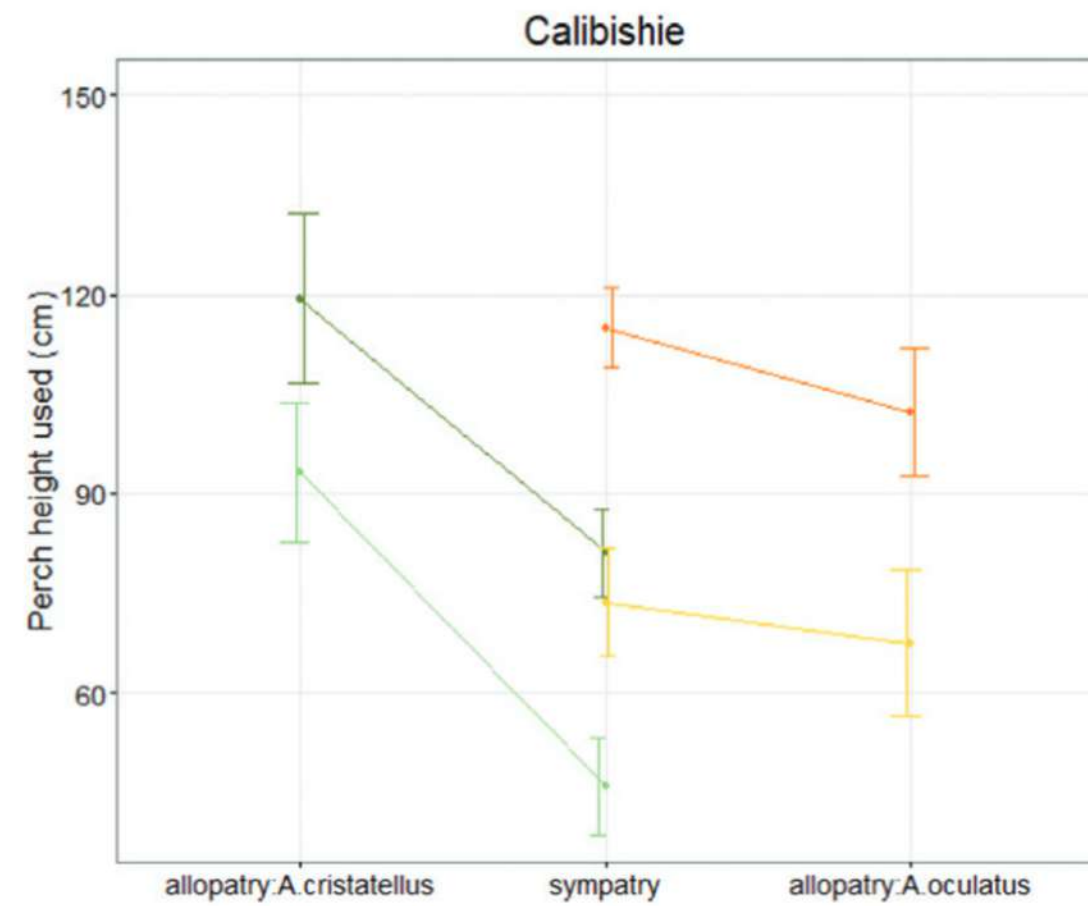
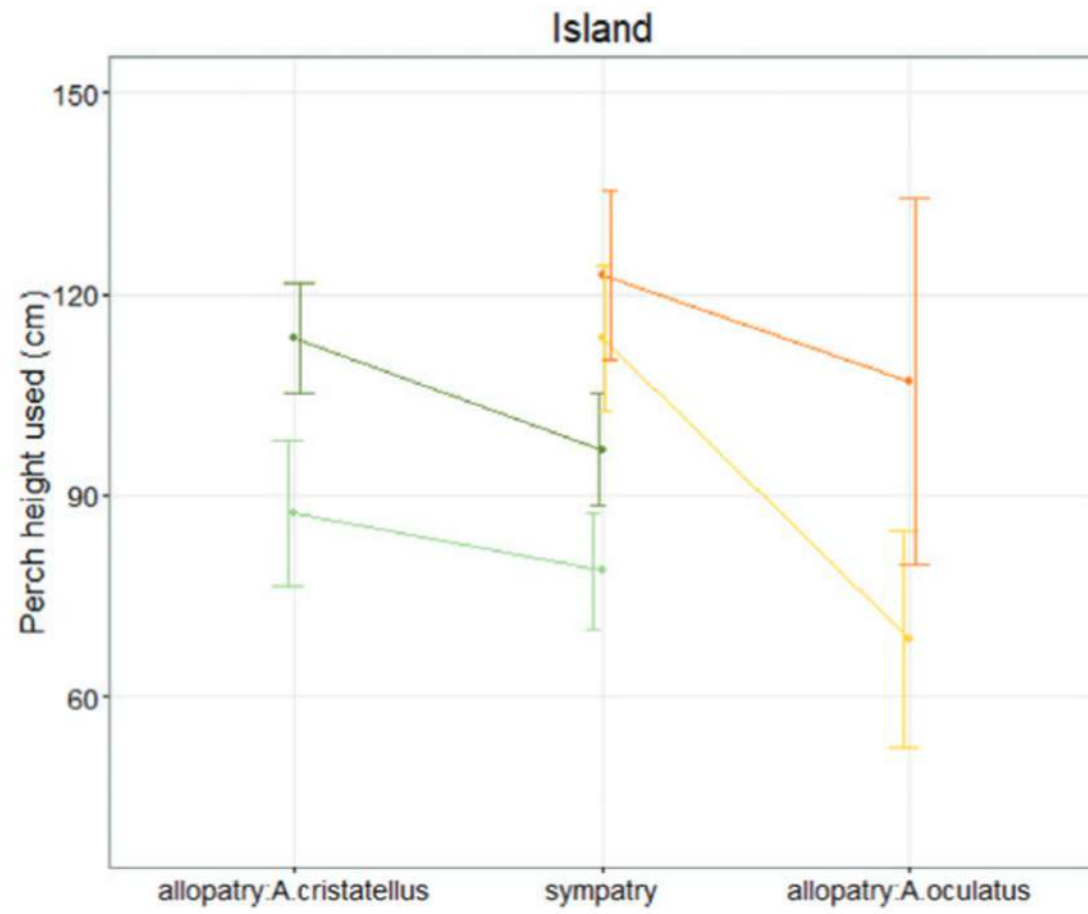


Simpatría

Desplazamiento de carácter ecológico: especie **nativa** y especie **introducida**

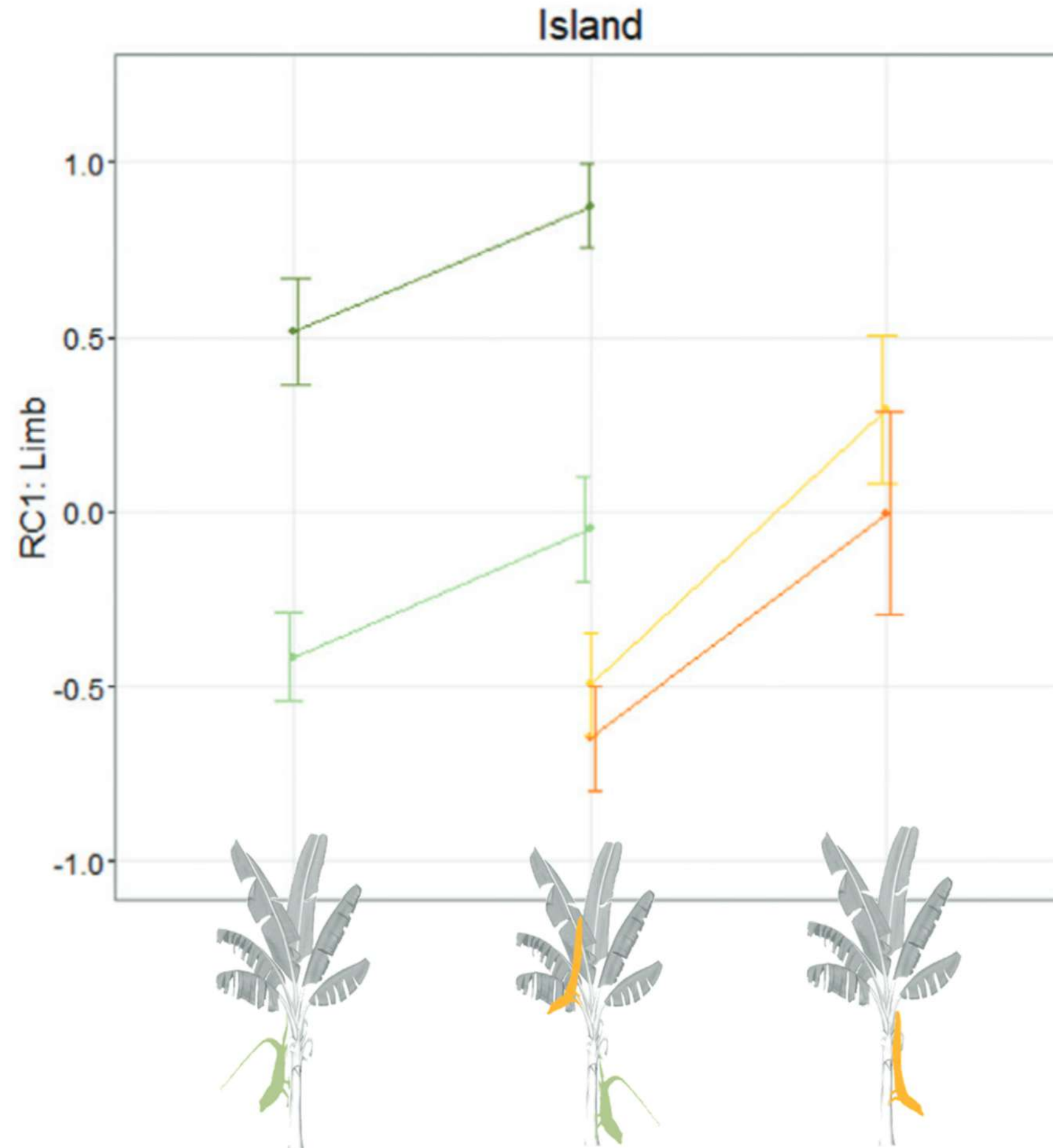


Ecología:



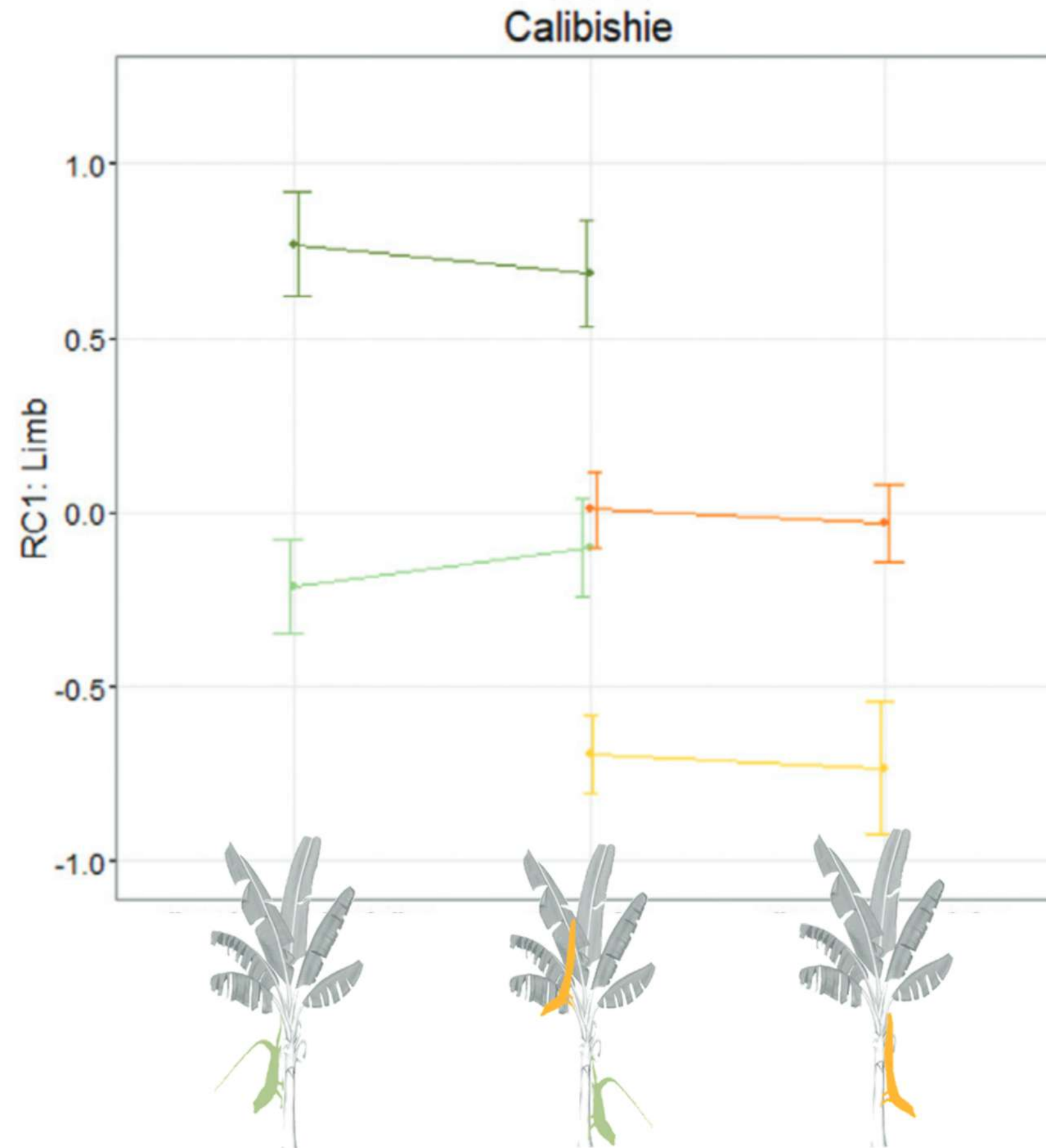
Morfología:

décadas



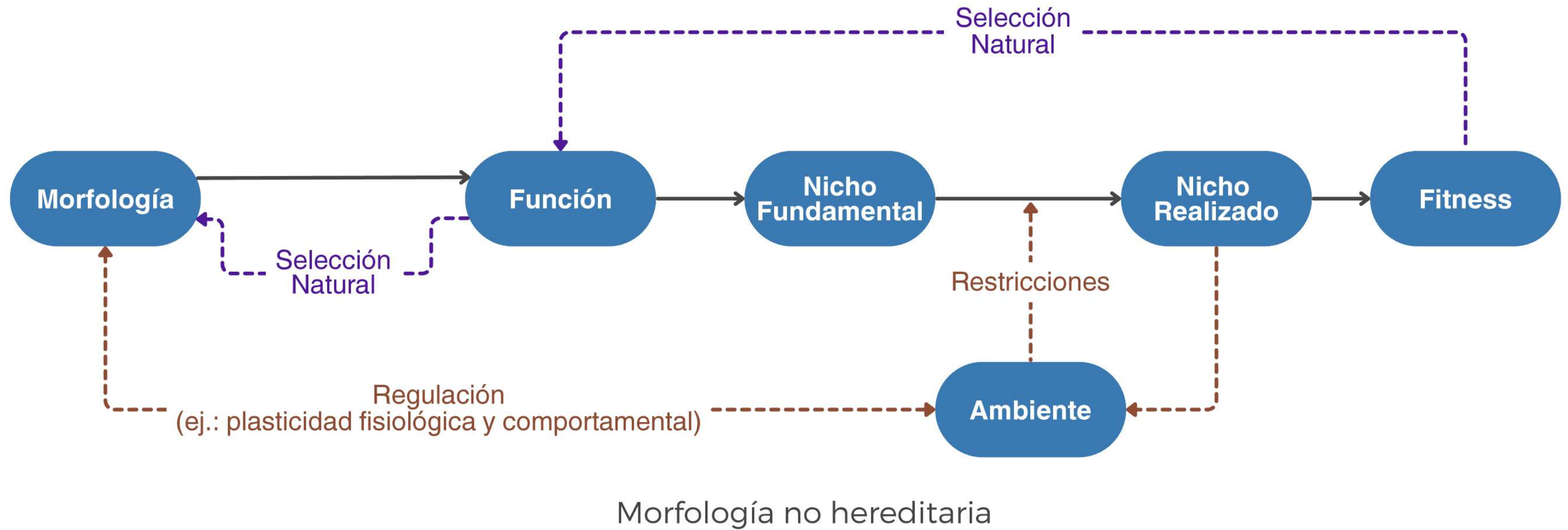
Morfología:

2
años

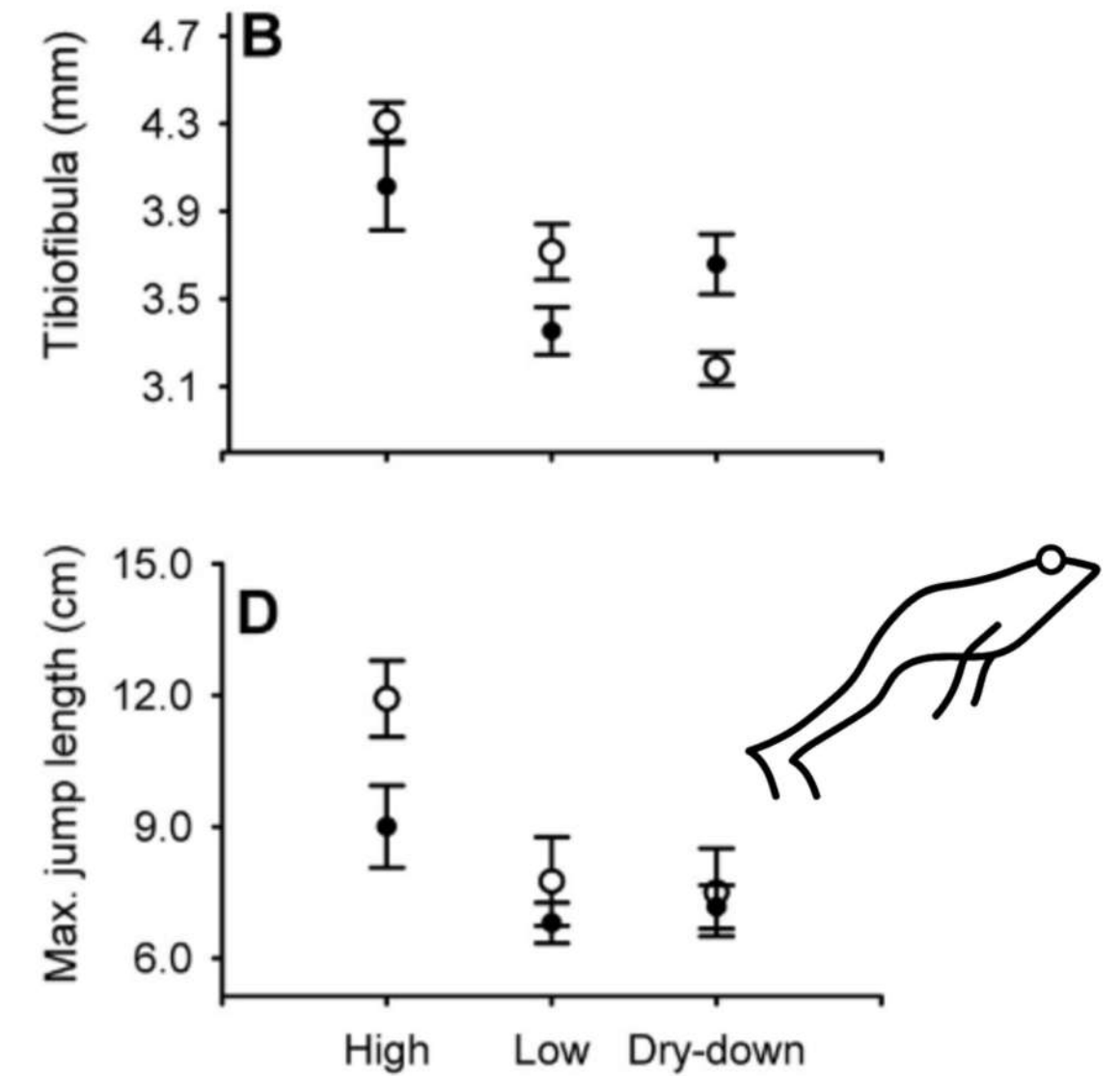
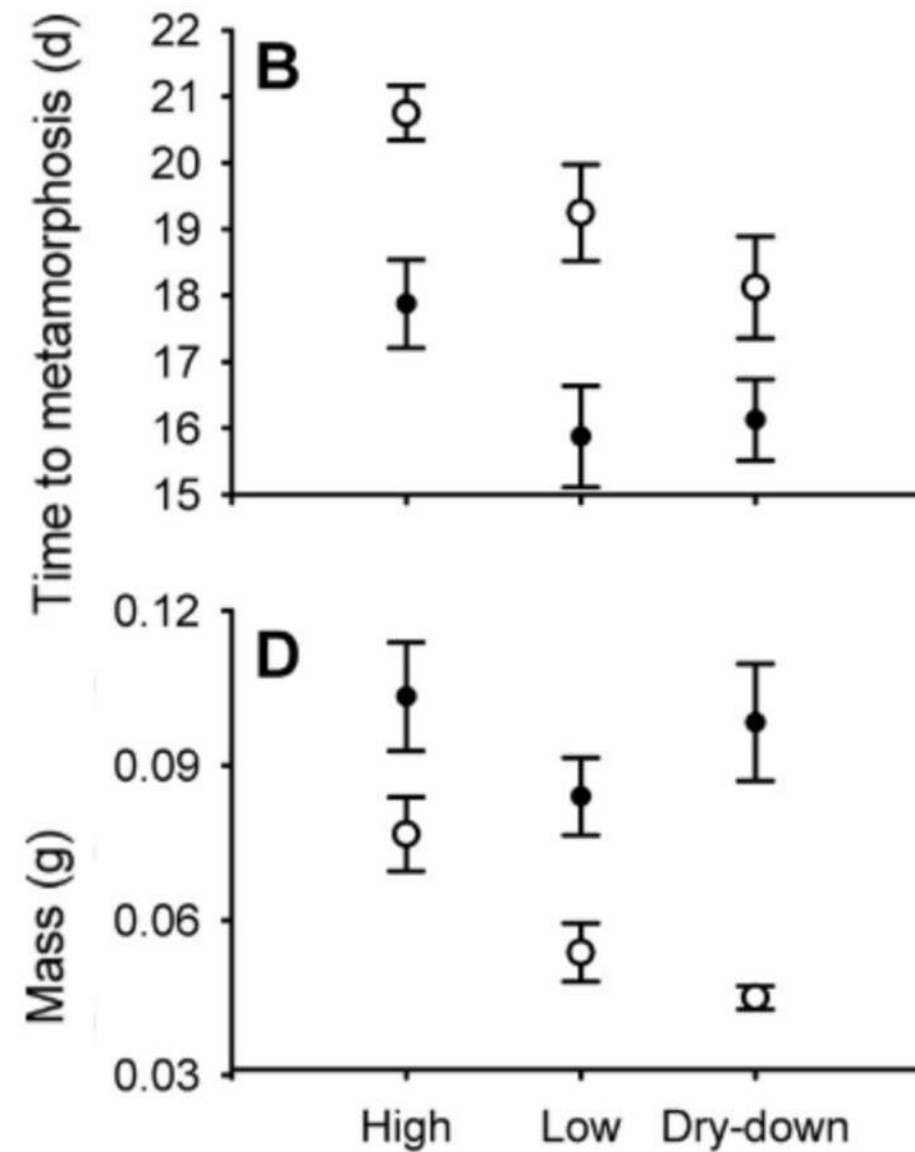
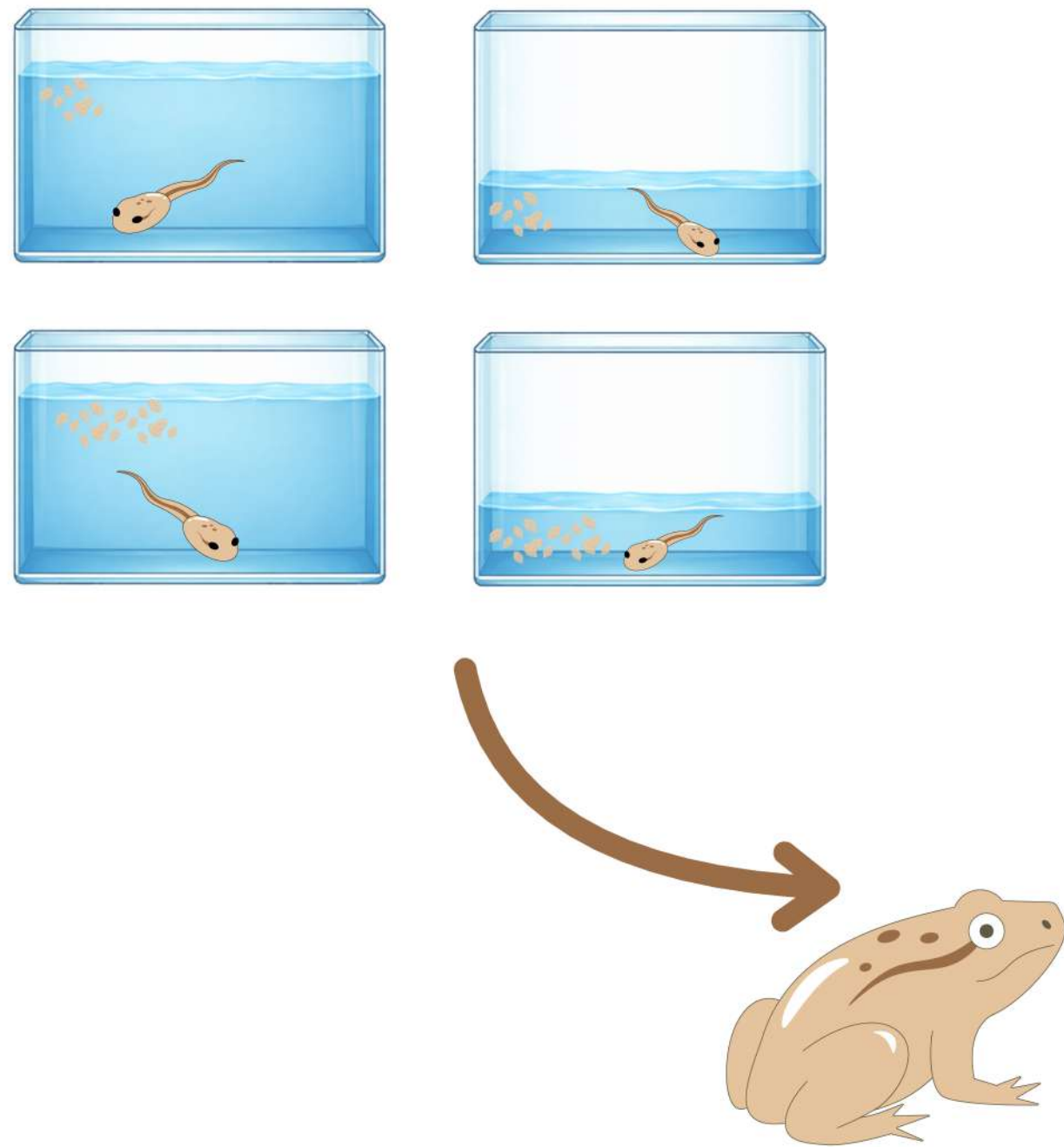


La simpatria en Calibishie es demasiado reciente para que ocurra una evolución de rasgos morfológicos.

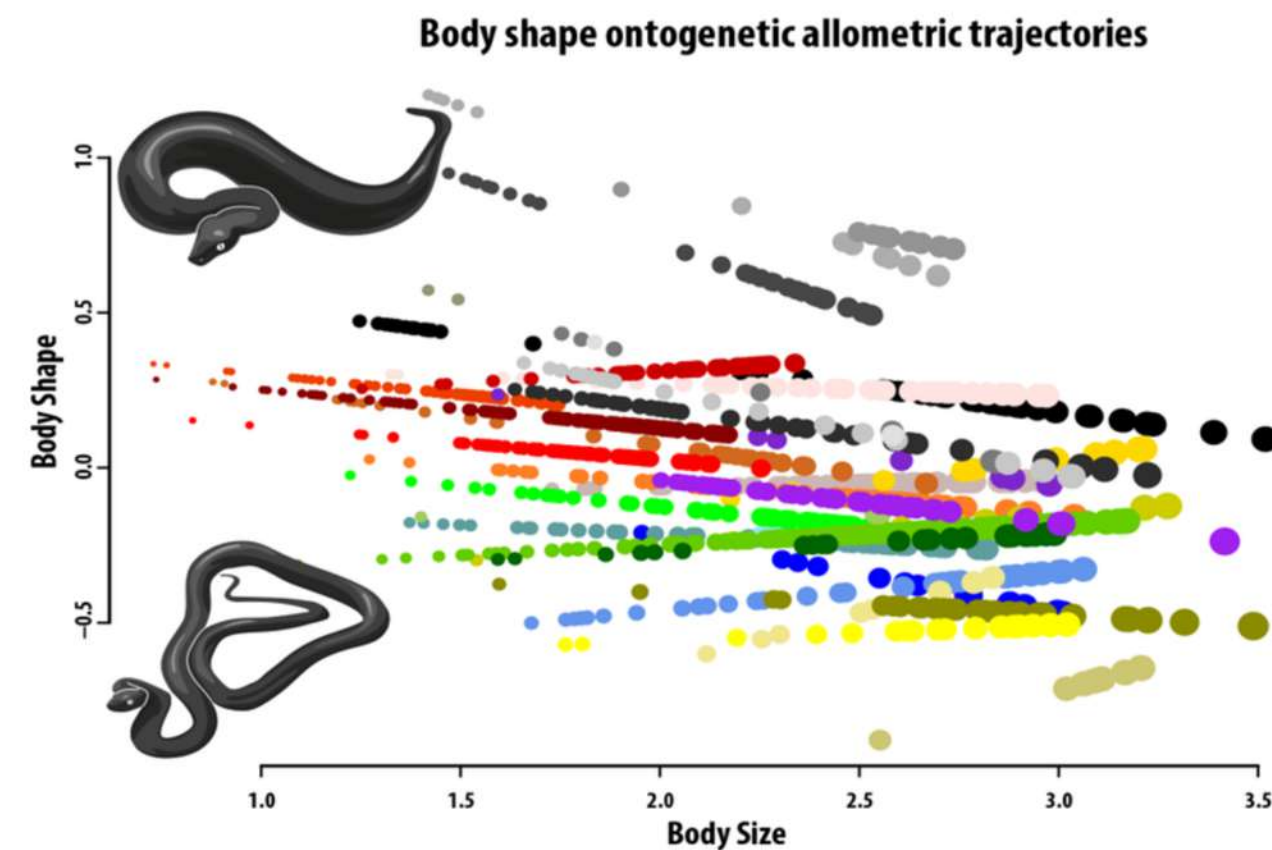
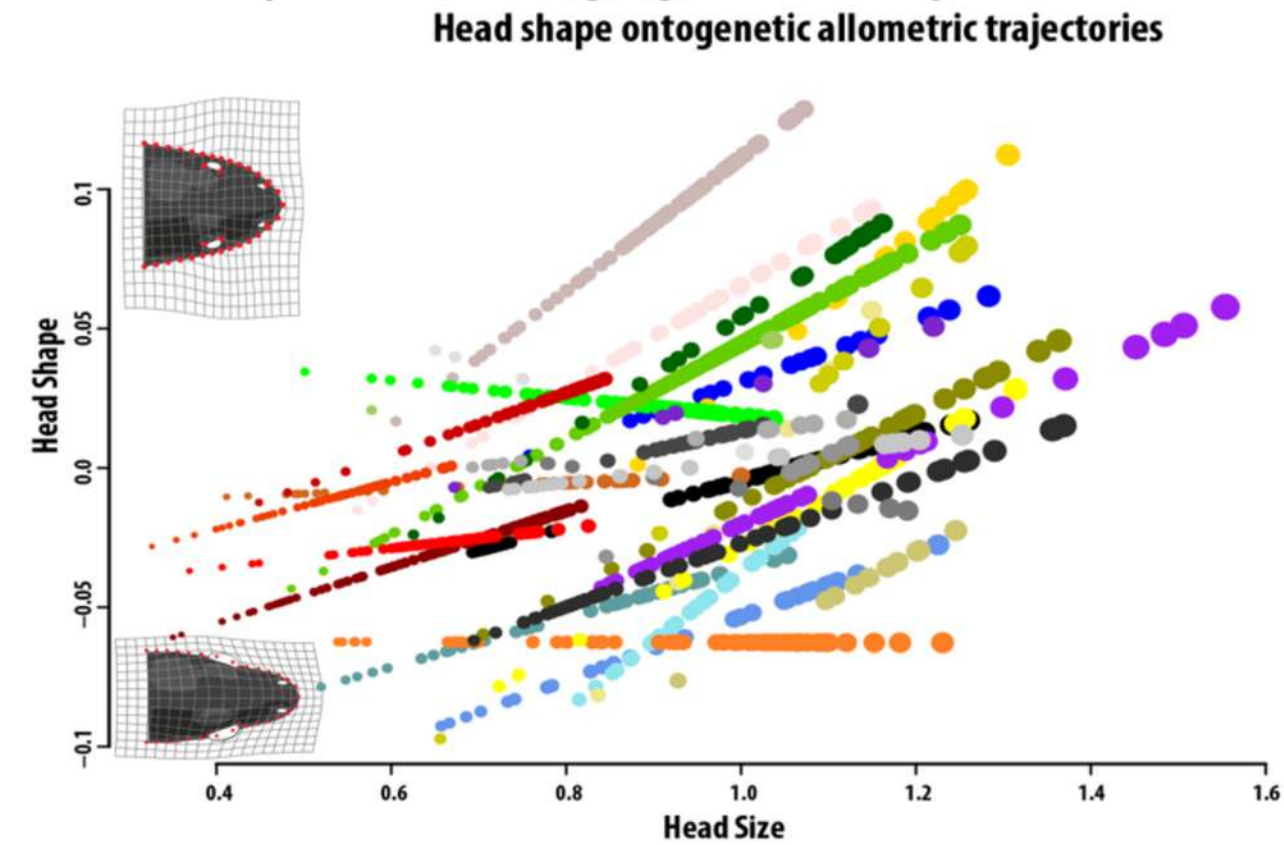
Ecomorfología



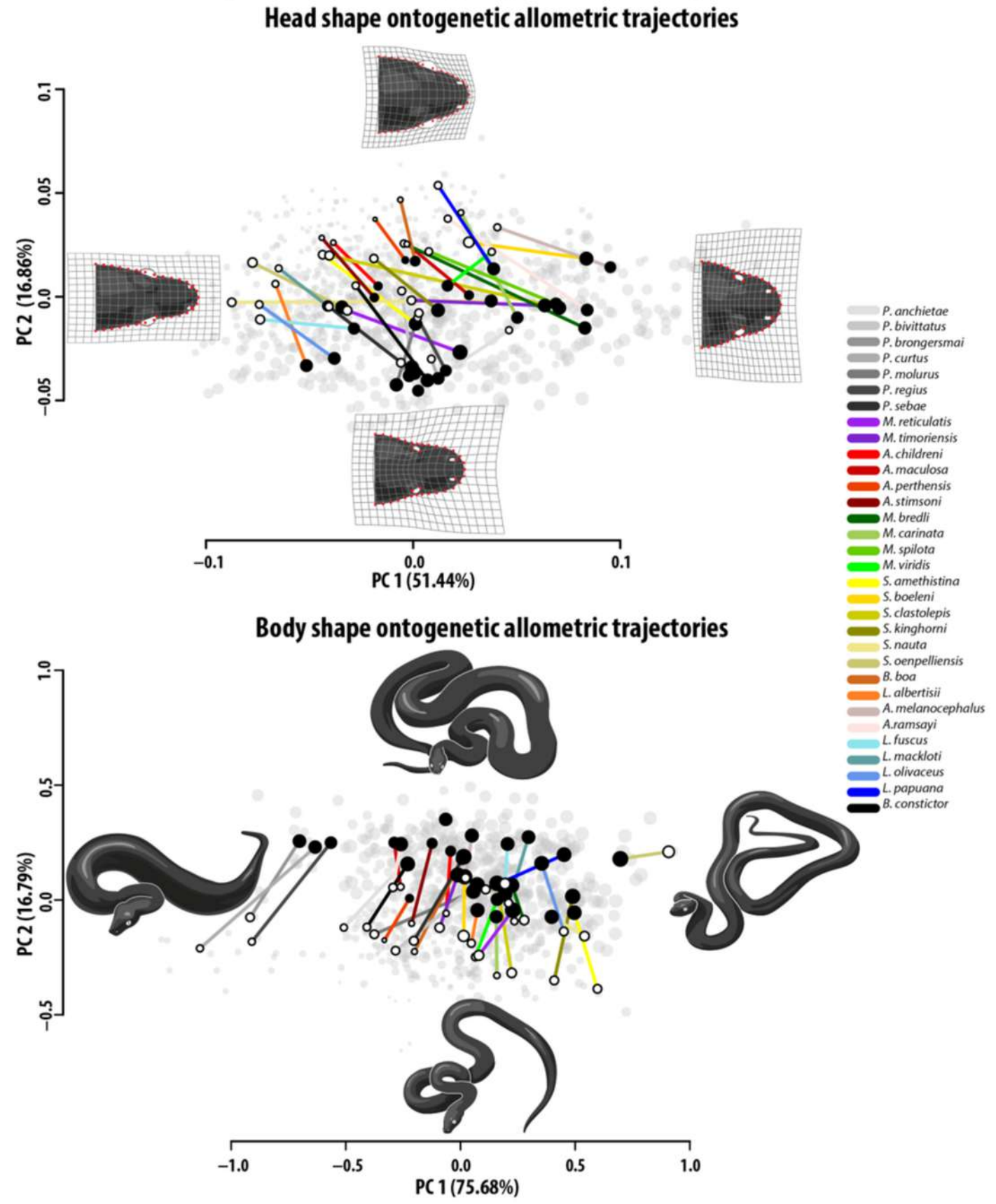
Consecuencias de la plasticidad en el punto de cambio de historia de vida sobre la morfología y la locomoción juvenil



Evolución de la diversidad **alométrica ontogenética** extrema y heterocronía en pitones, un clado de serpientes gigantes y enanas.



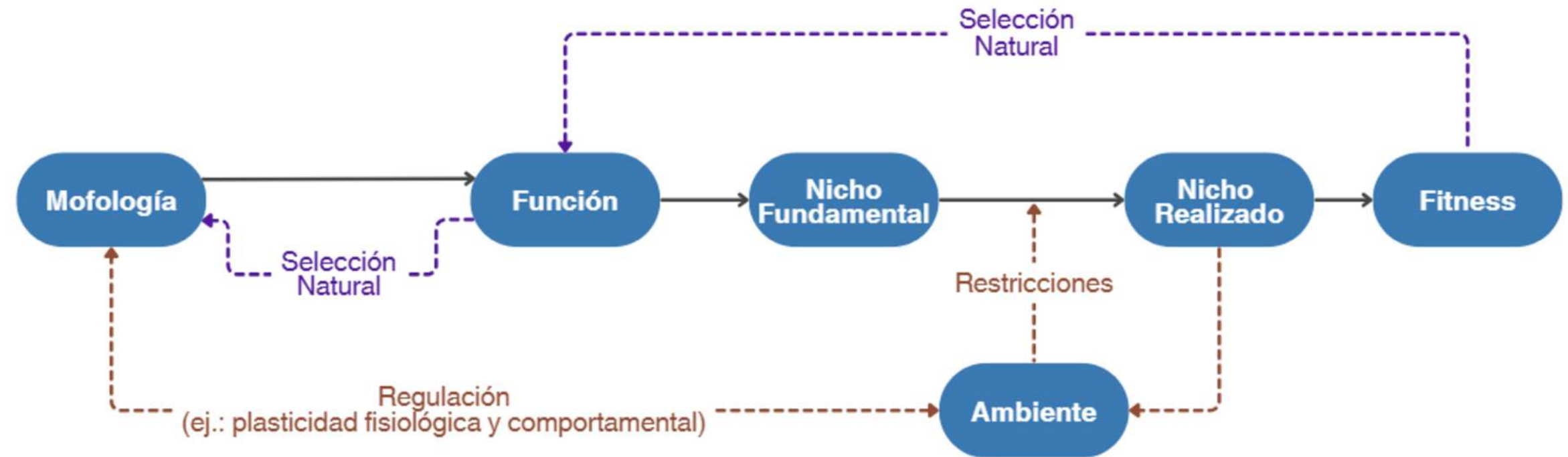
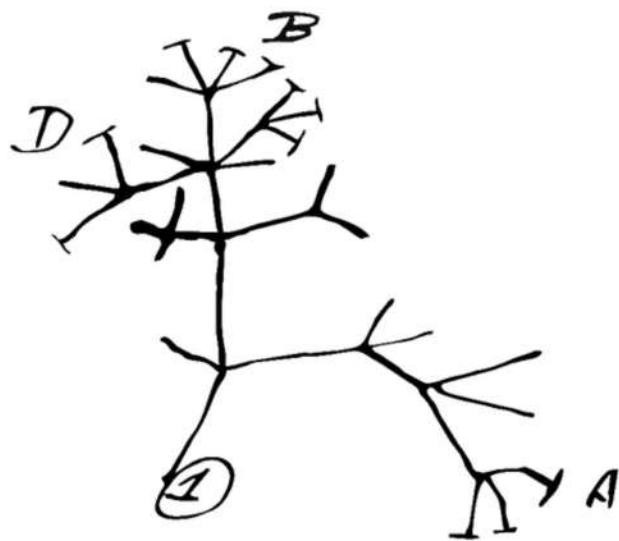
Evolución de la diversidad alométrica ontogenética extrema y heterocronía en pitones, un clado de serpientes gigantes y enanas.

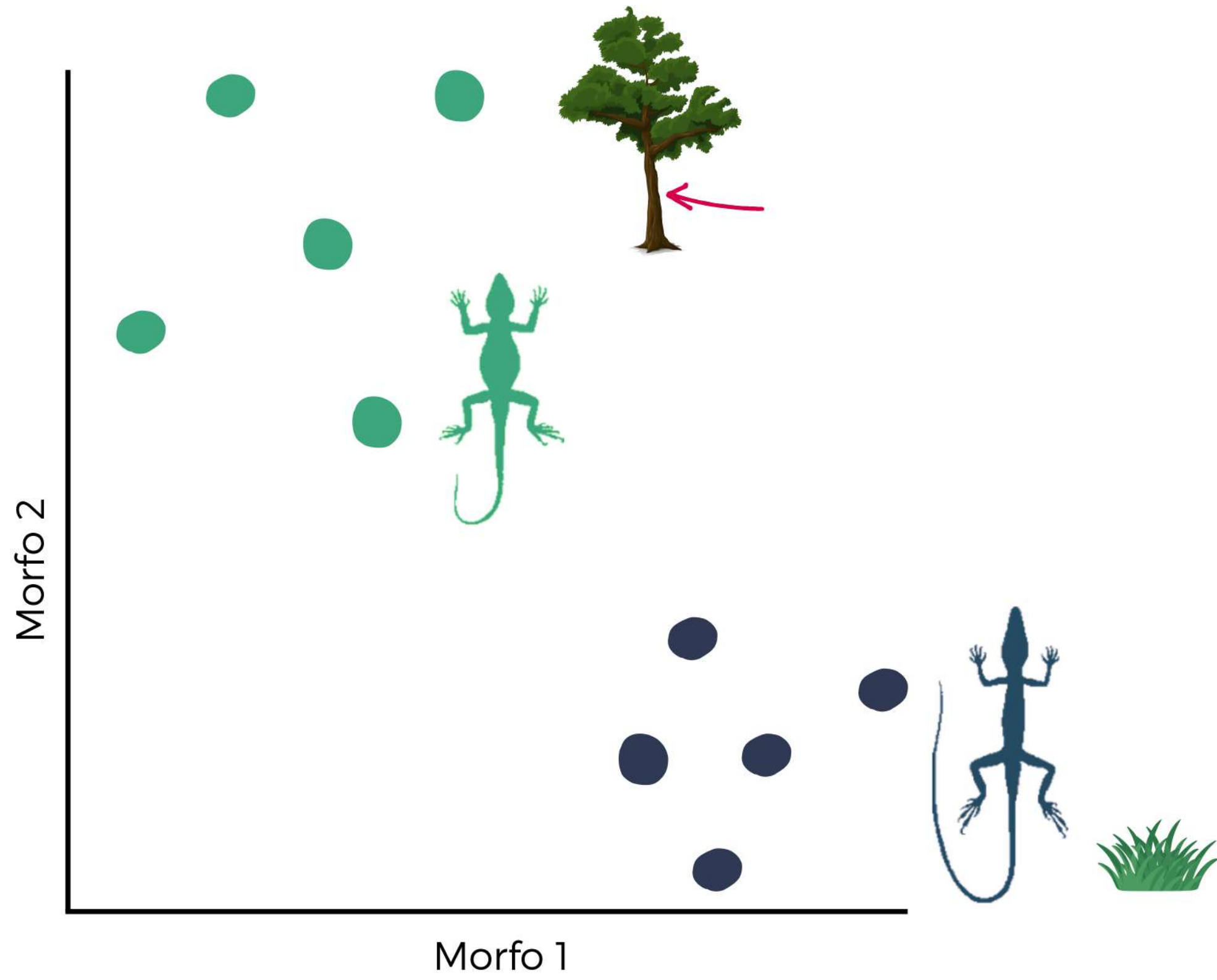


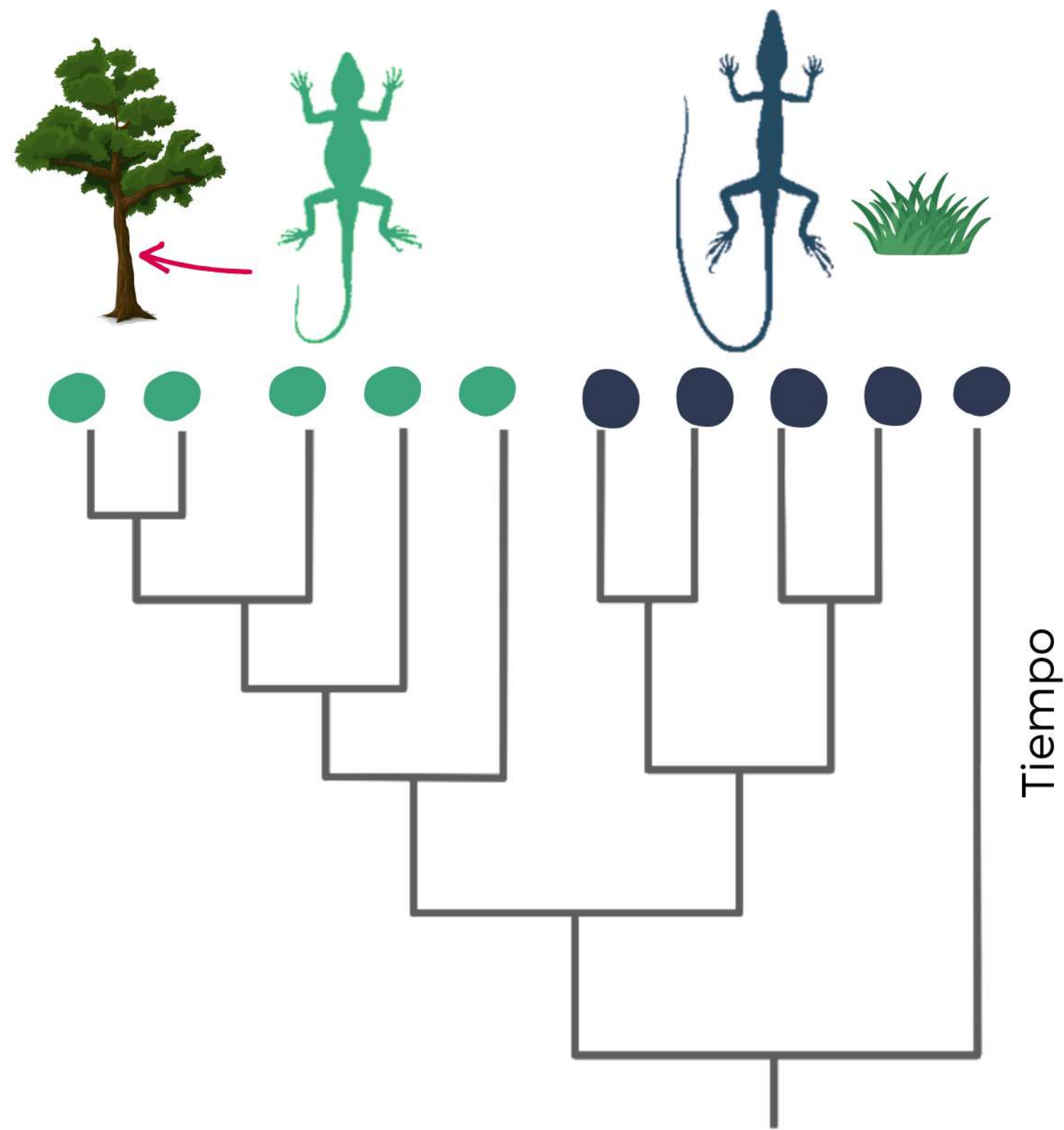
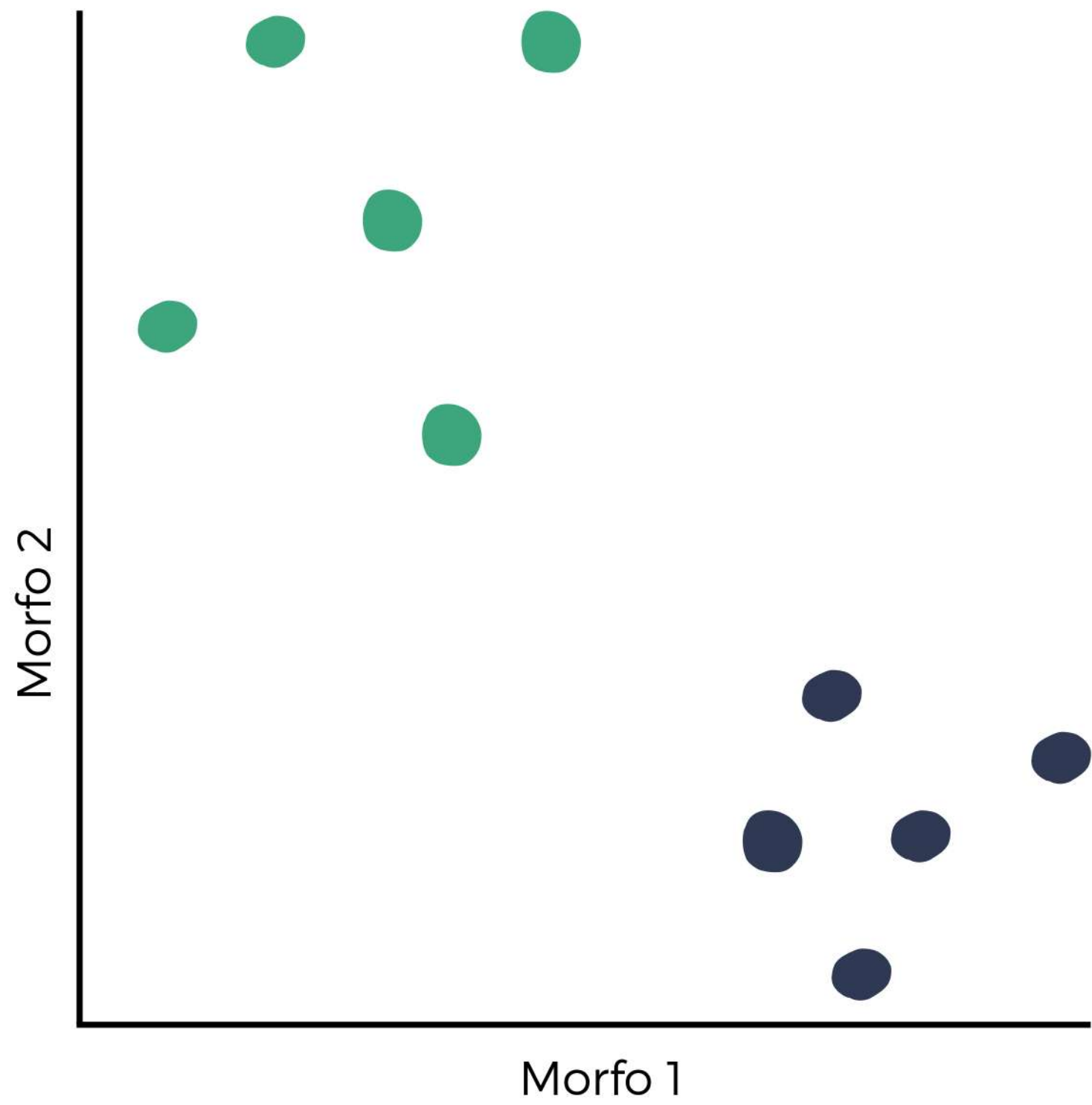
Ecomorfología

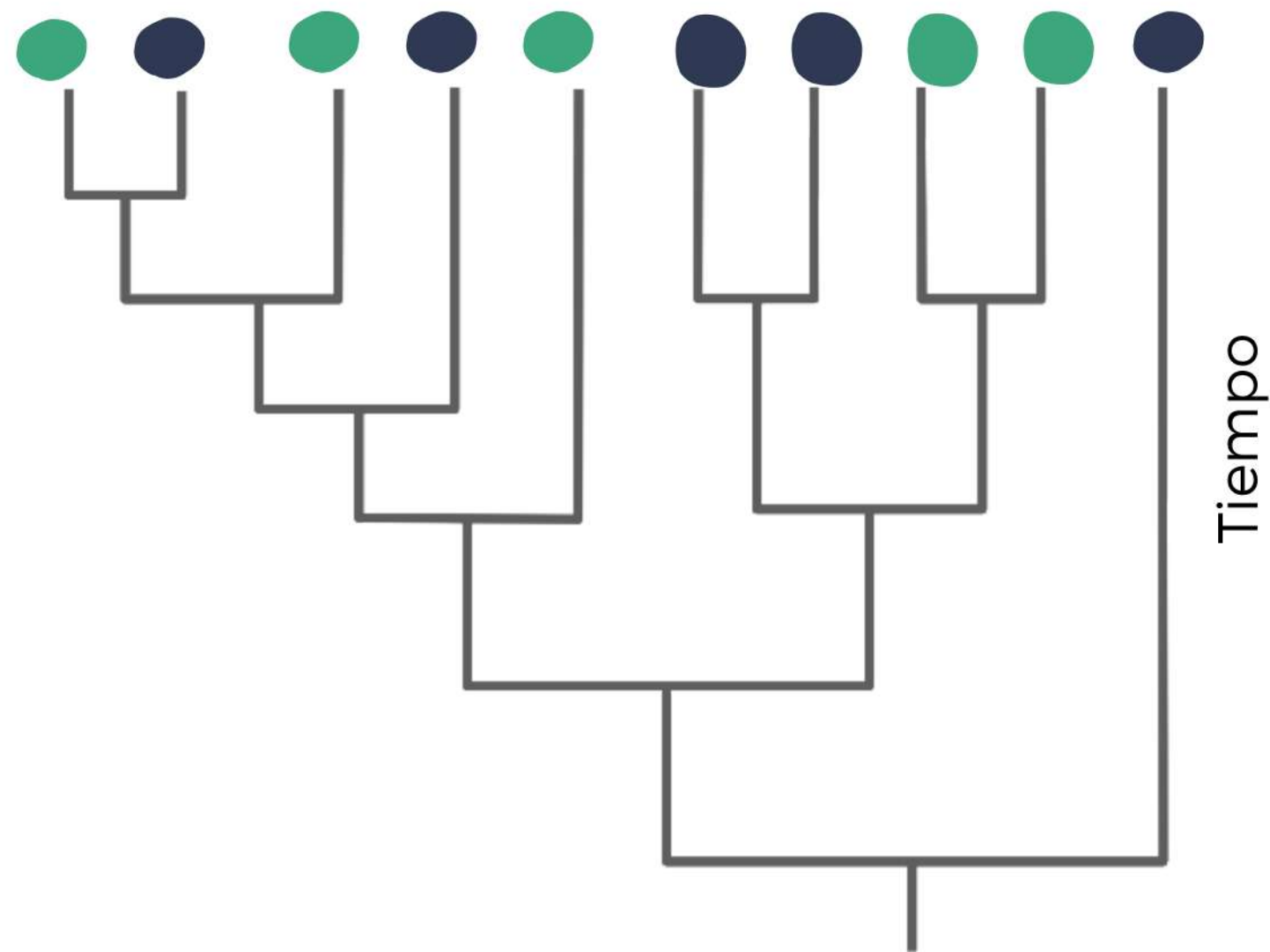
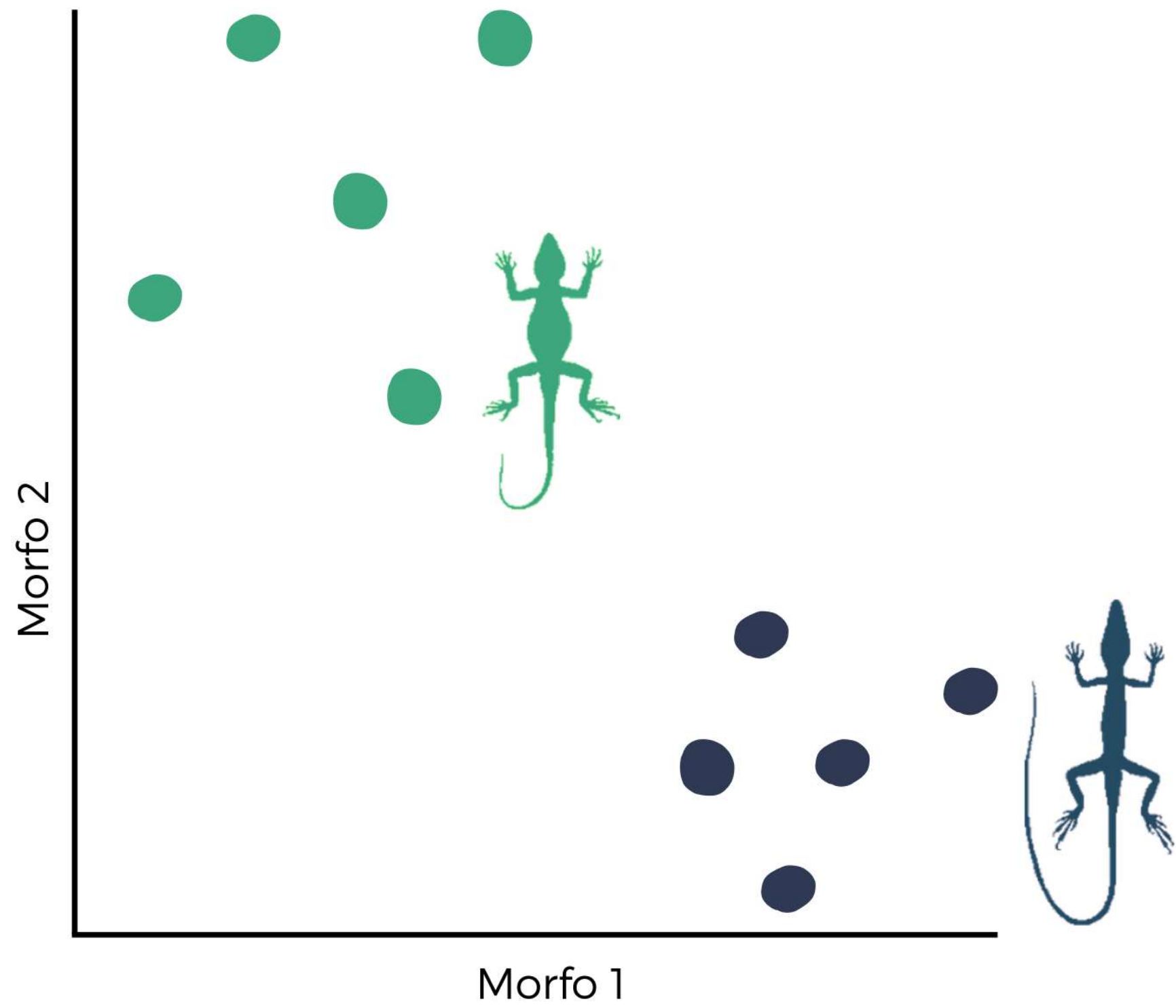
Tiempo

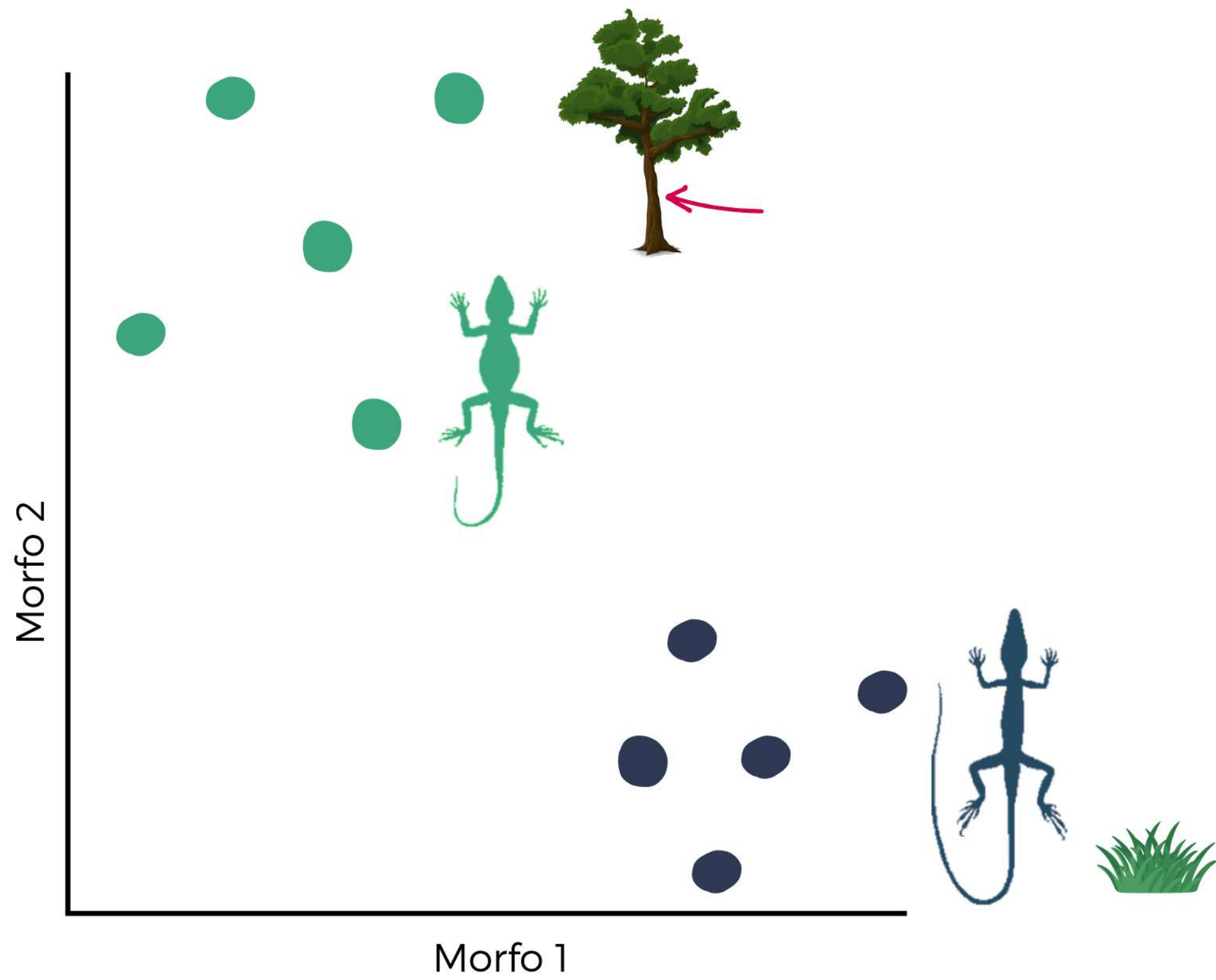
I think

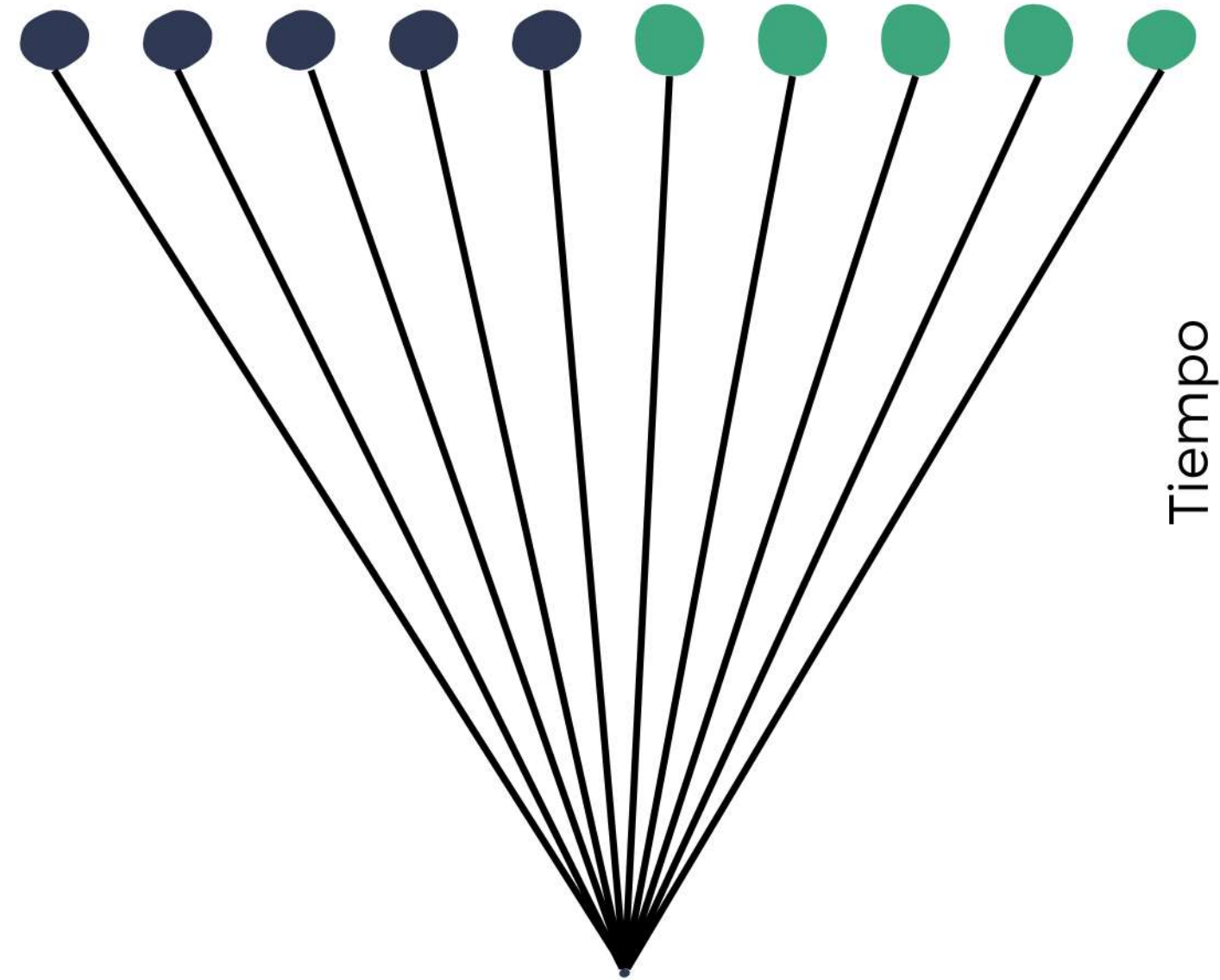
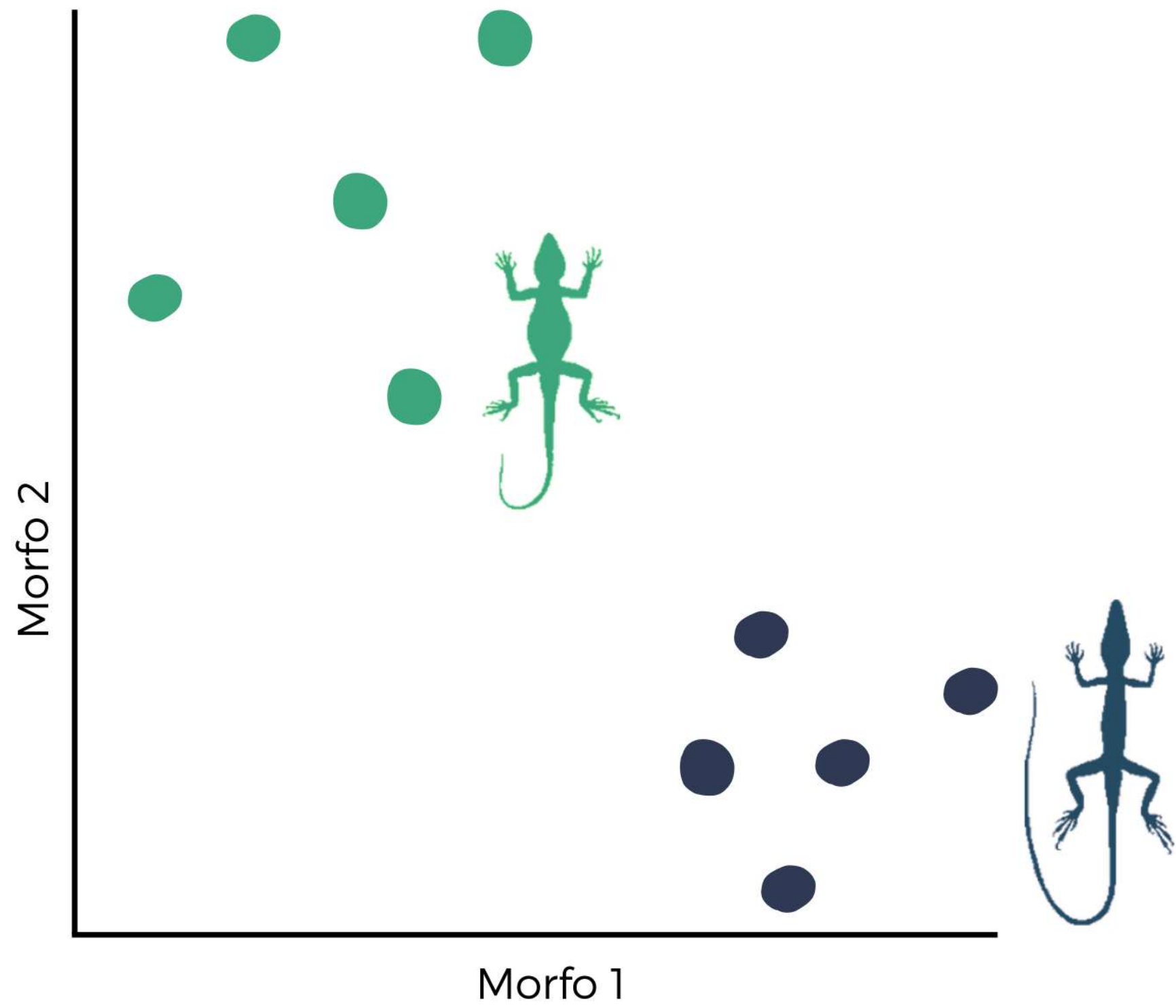




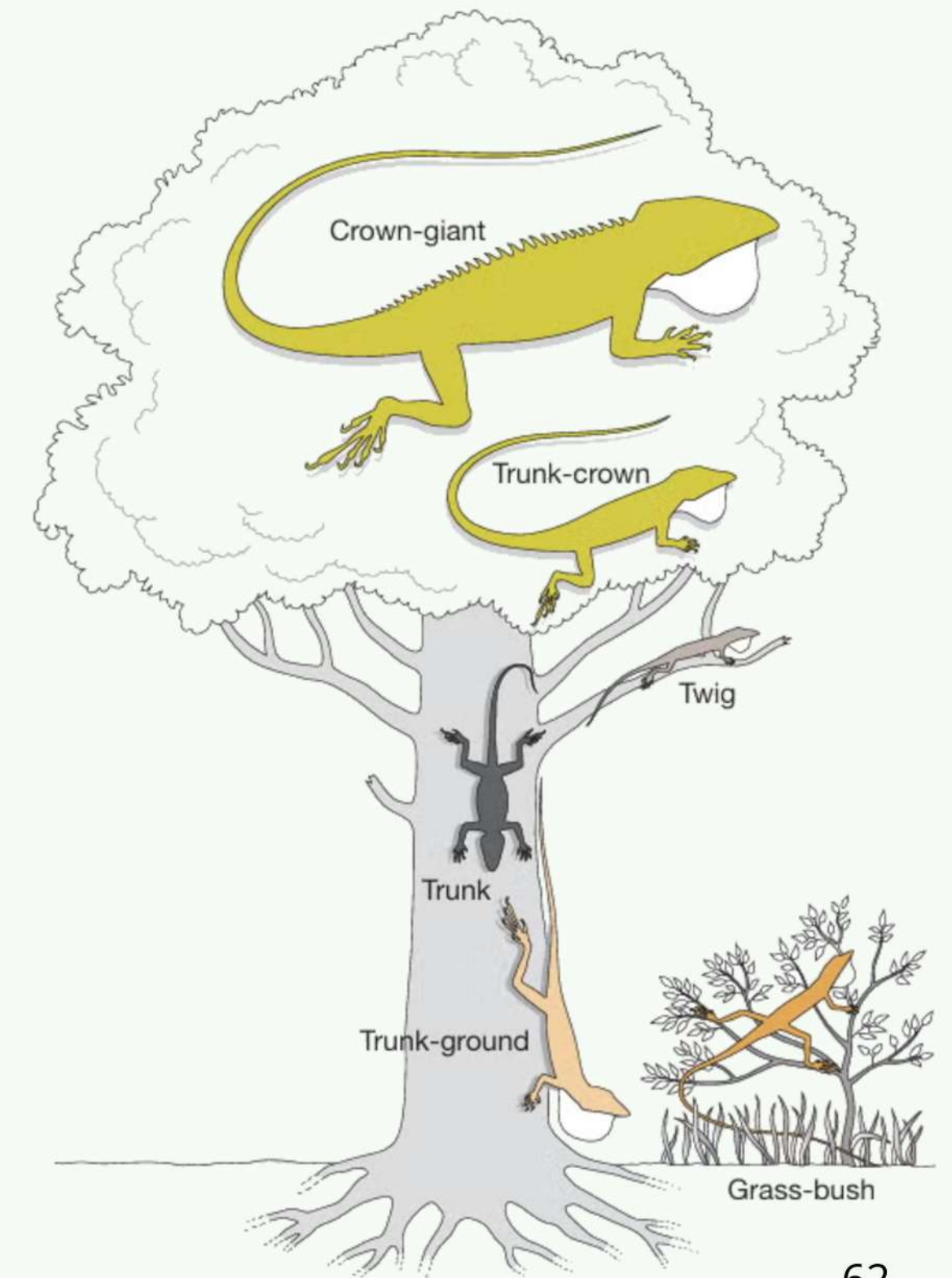
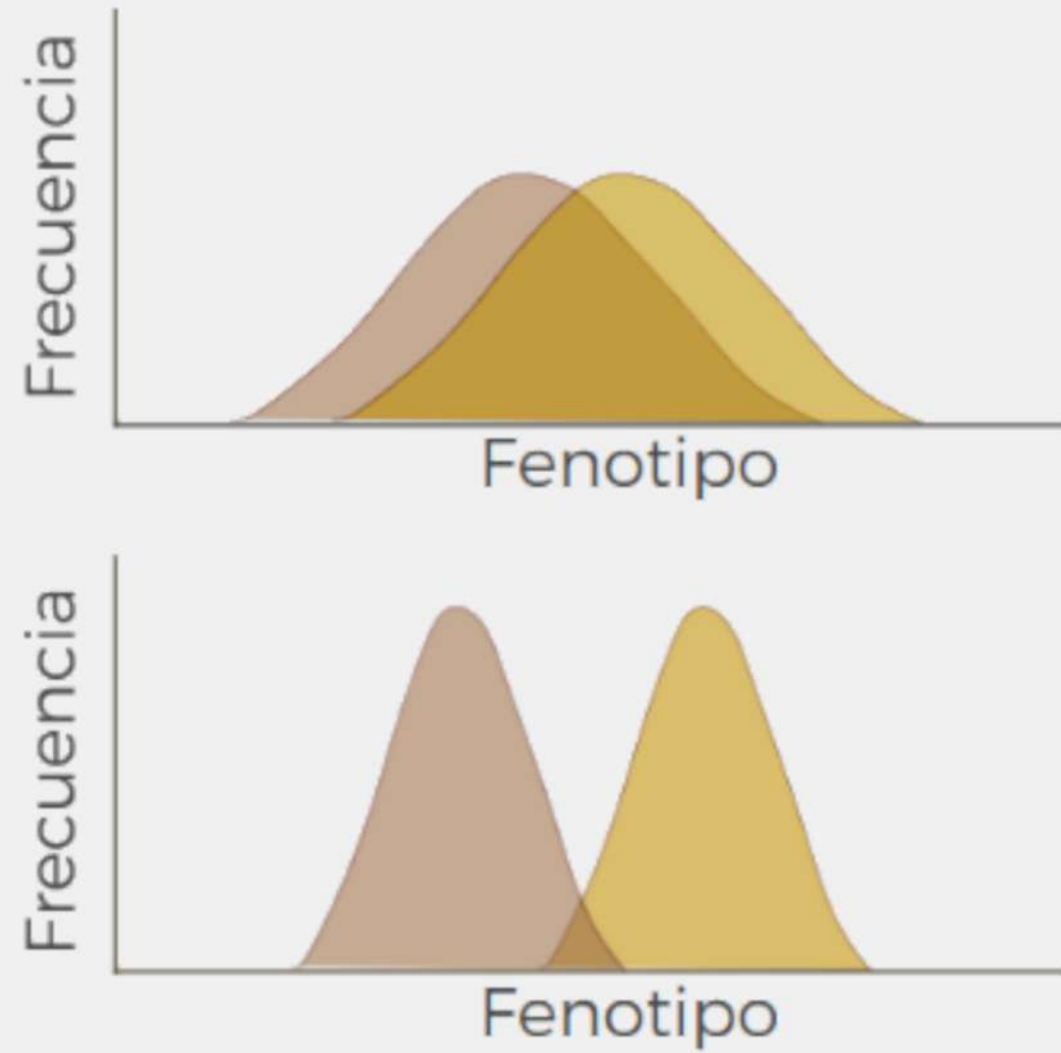




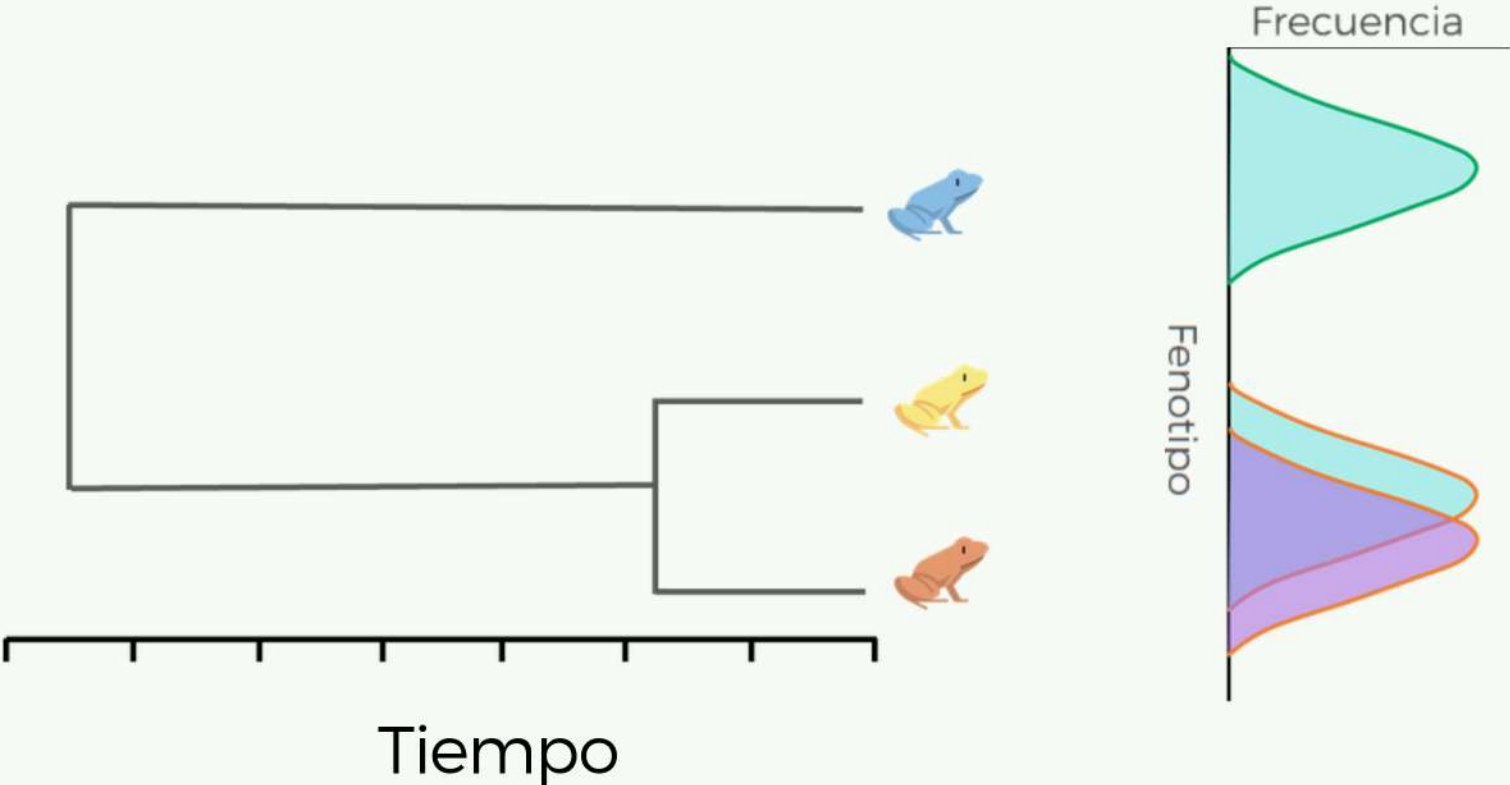
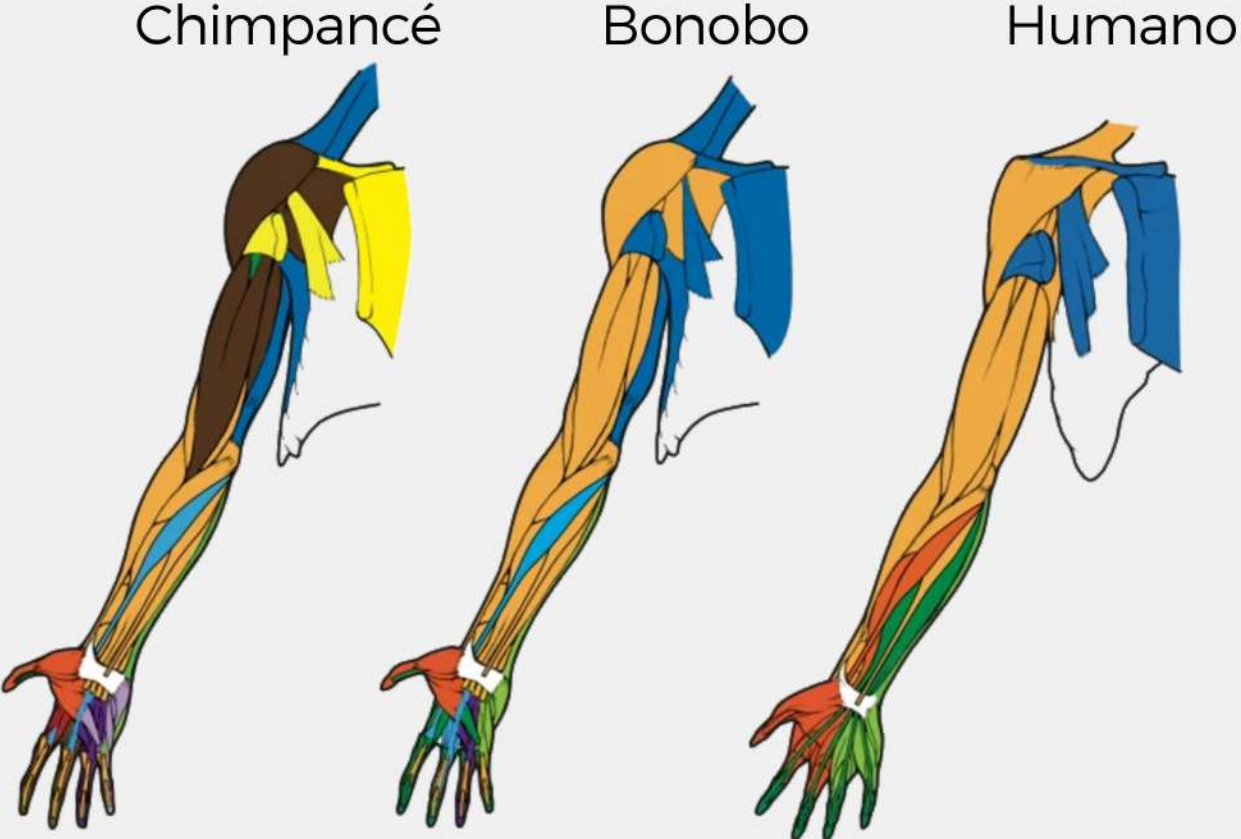




Presiones selectivas extrínsecas (Ecomorfología)

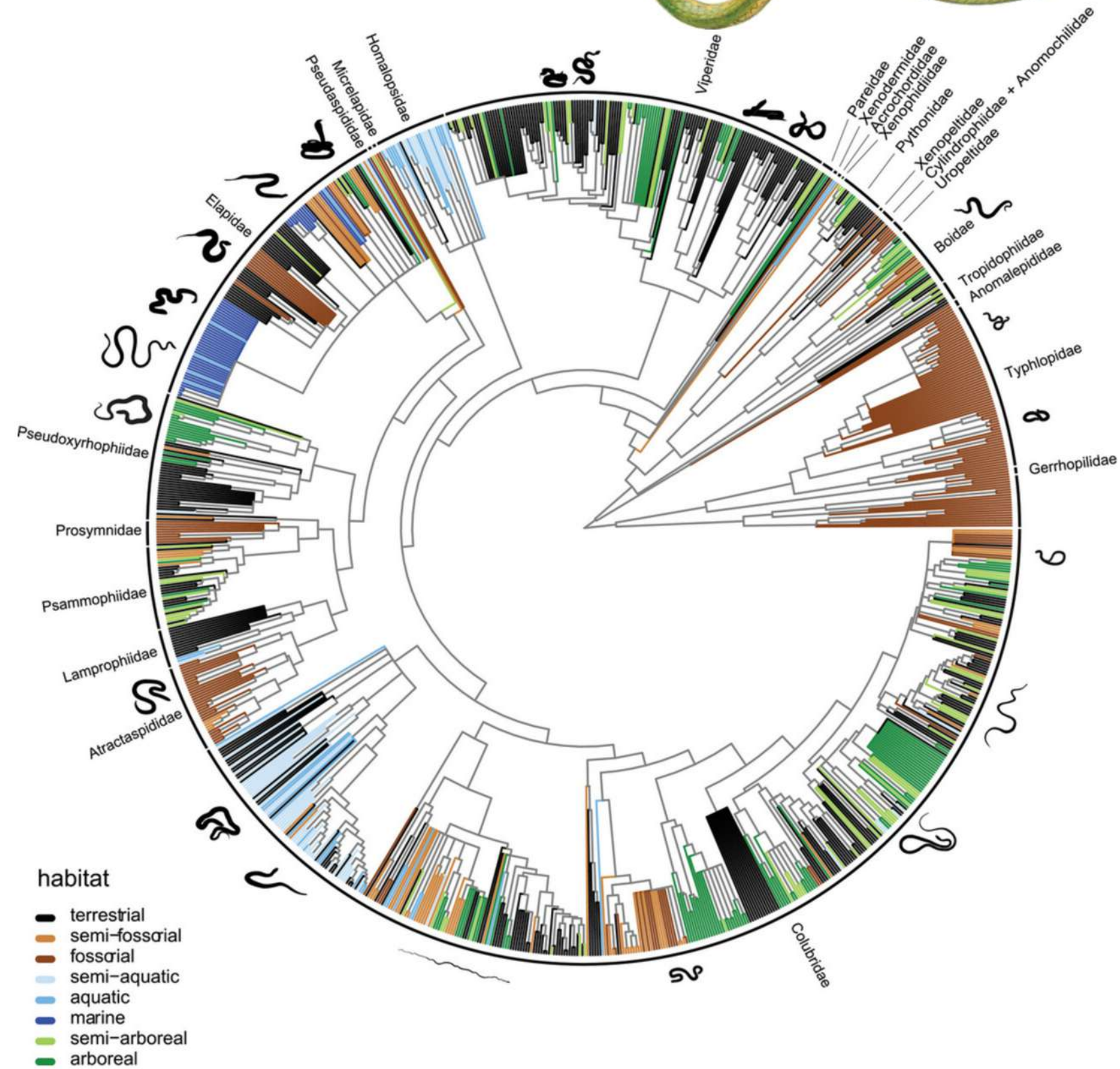


Restricciones intrínsecas (Filogenia)



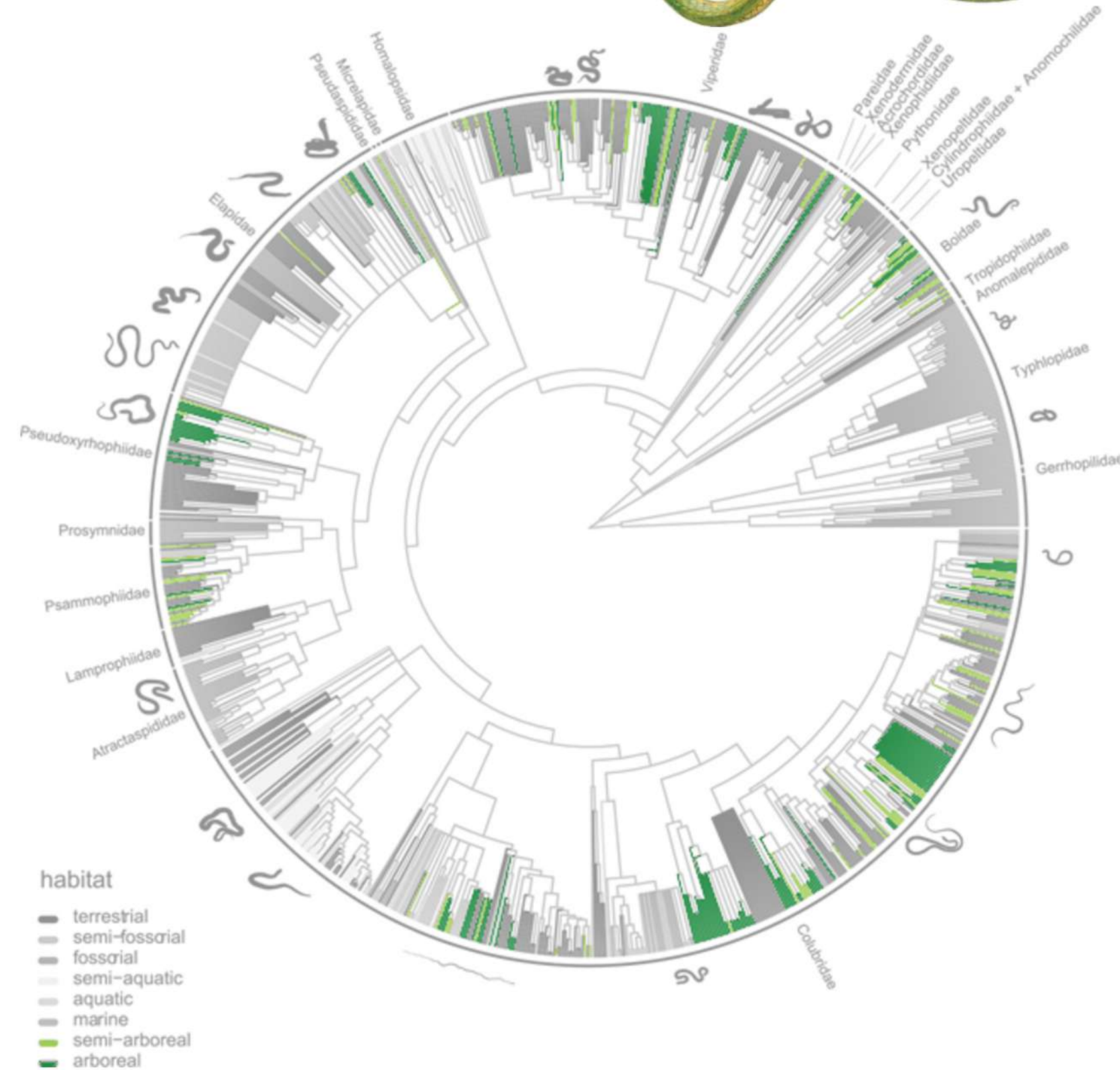
DIOGO, Rui et al. First anatomical network analysis of fore-and hindlimb musculoskeletal modularity in bonobos, common chimpanzees, and humans. Scientific Reports, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2018.

4.229 especies



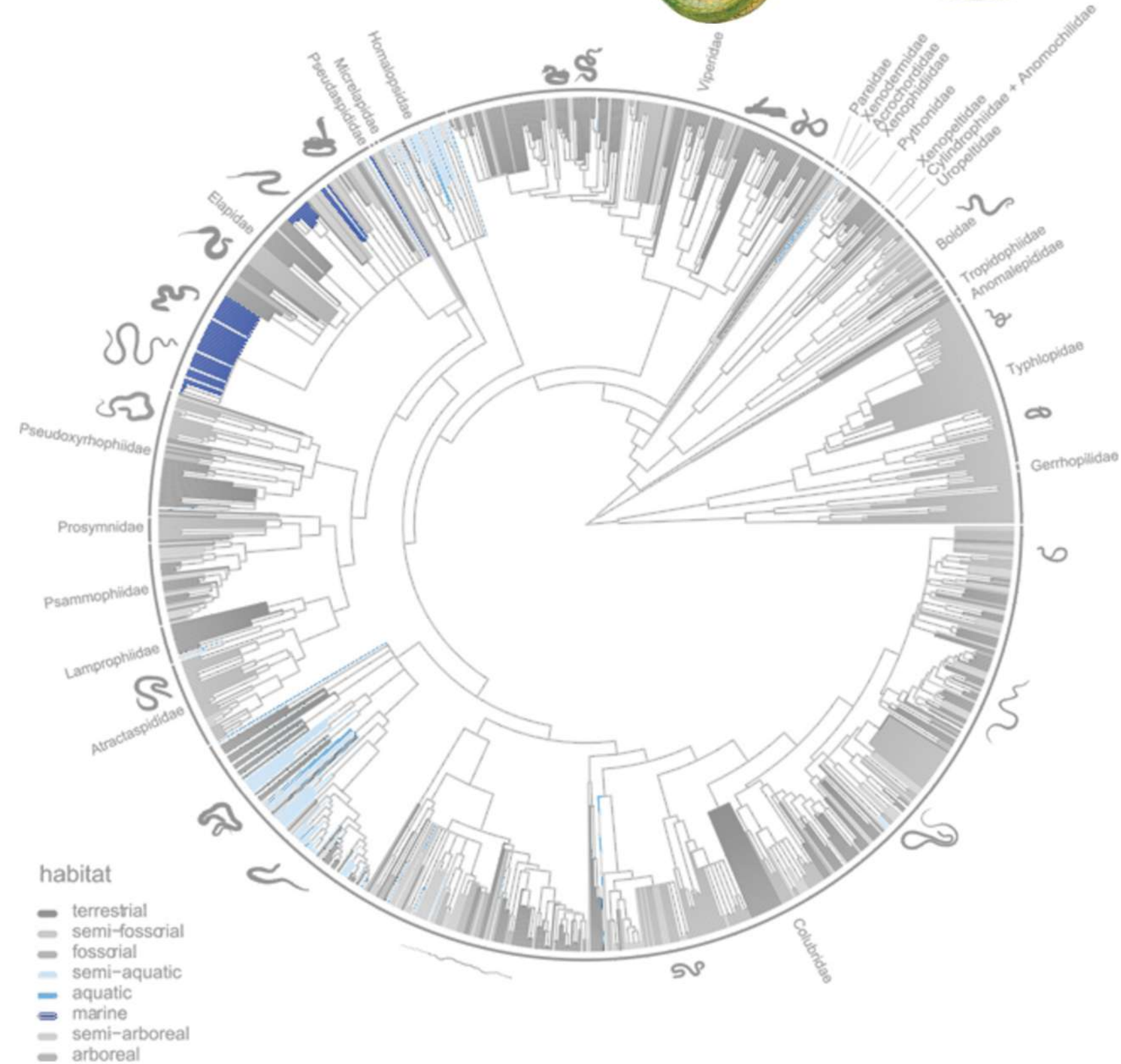
TINGLE, Jessica L.; GARNER, Kelsey L.; ASTLEY, Henry C. Functional diversity of snake locomotor behaviors: a review of the biological literature for bioinspiration. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1533, n. 1, p. 16-37, 2024. Figuras: Encyclopædia Britannica, Inc.

4.229 especies

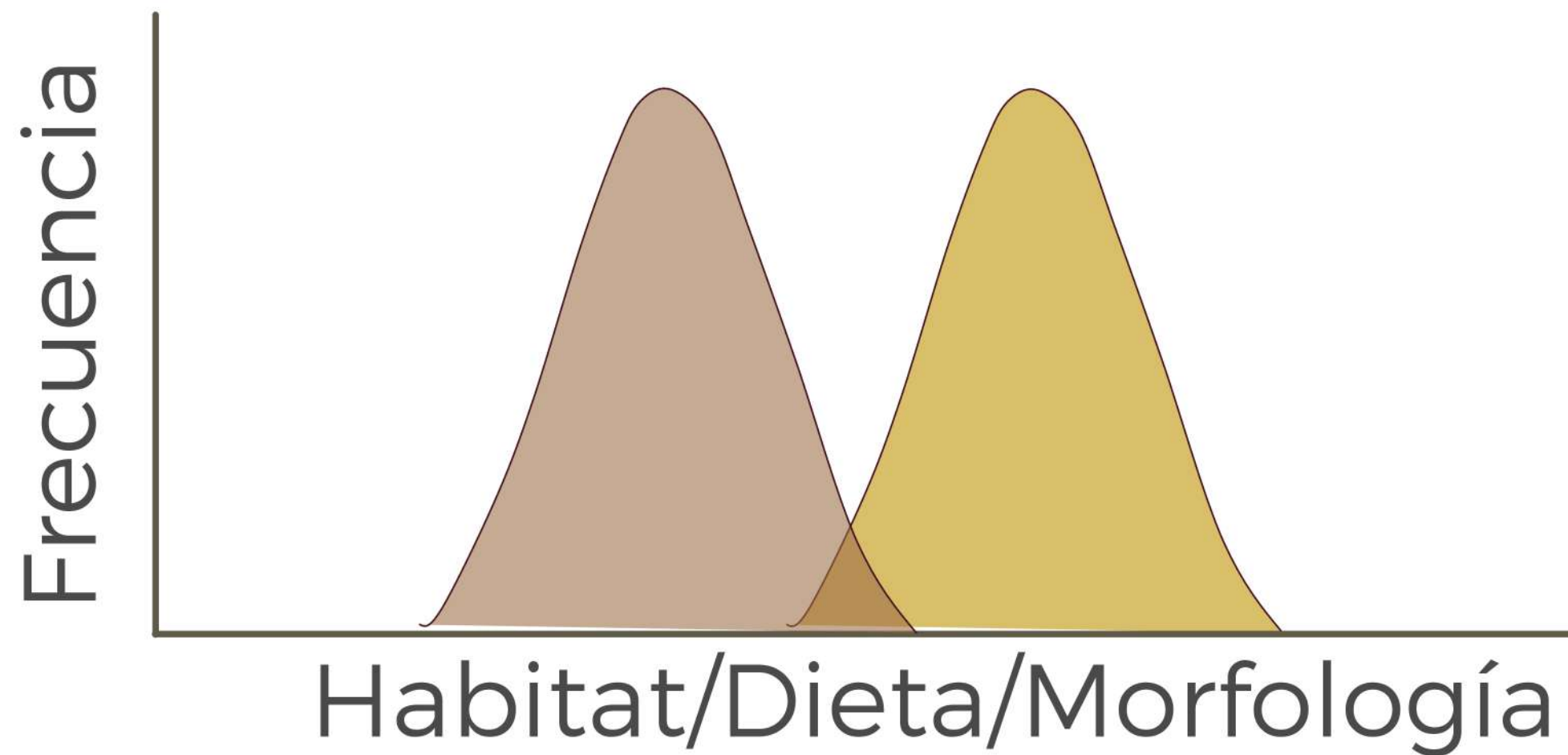
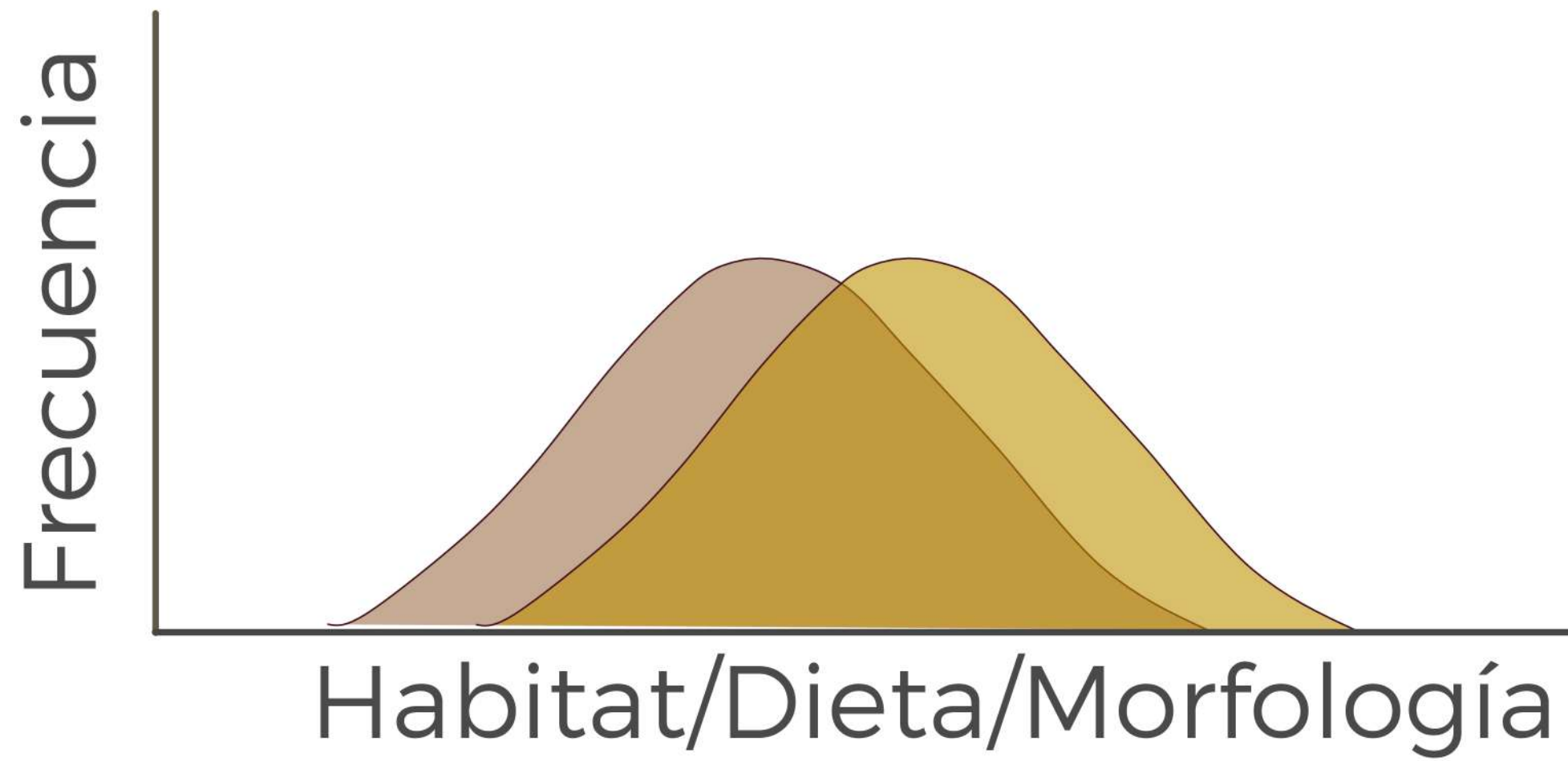


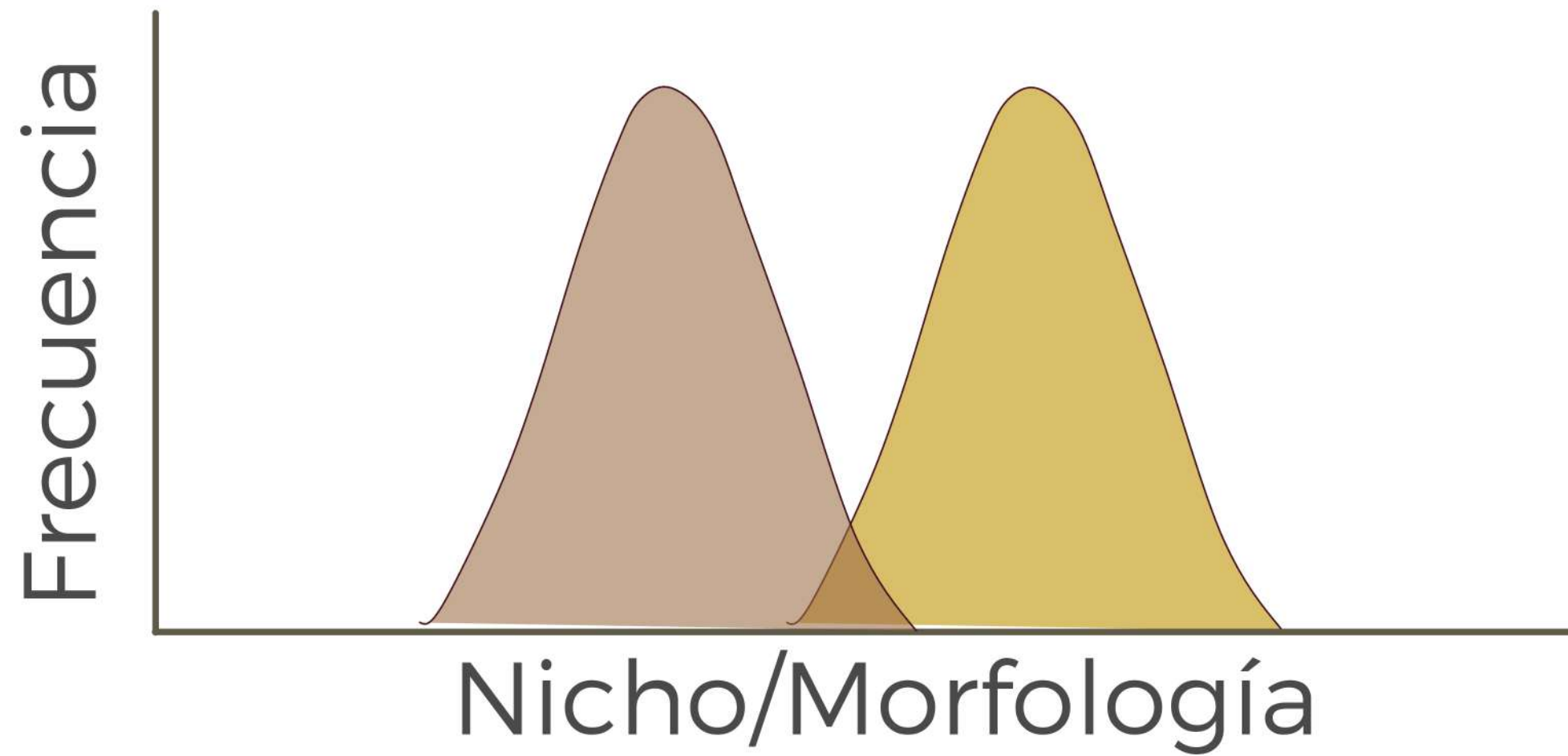
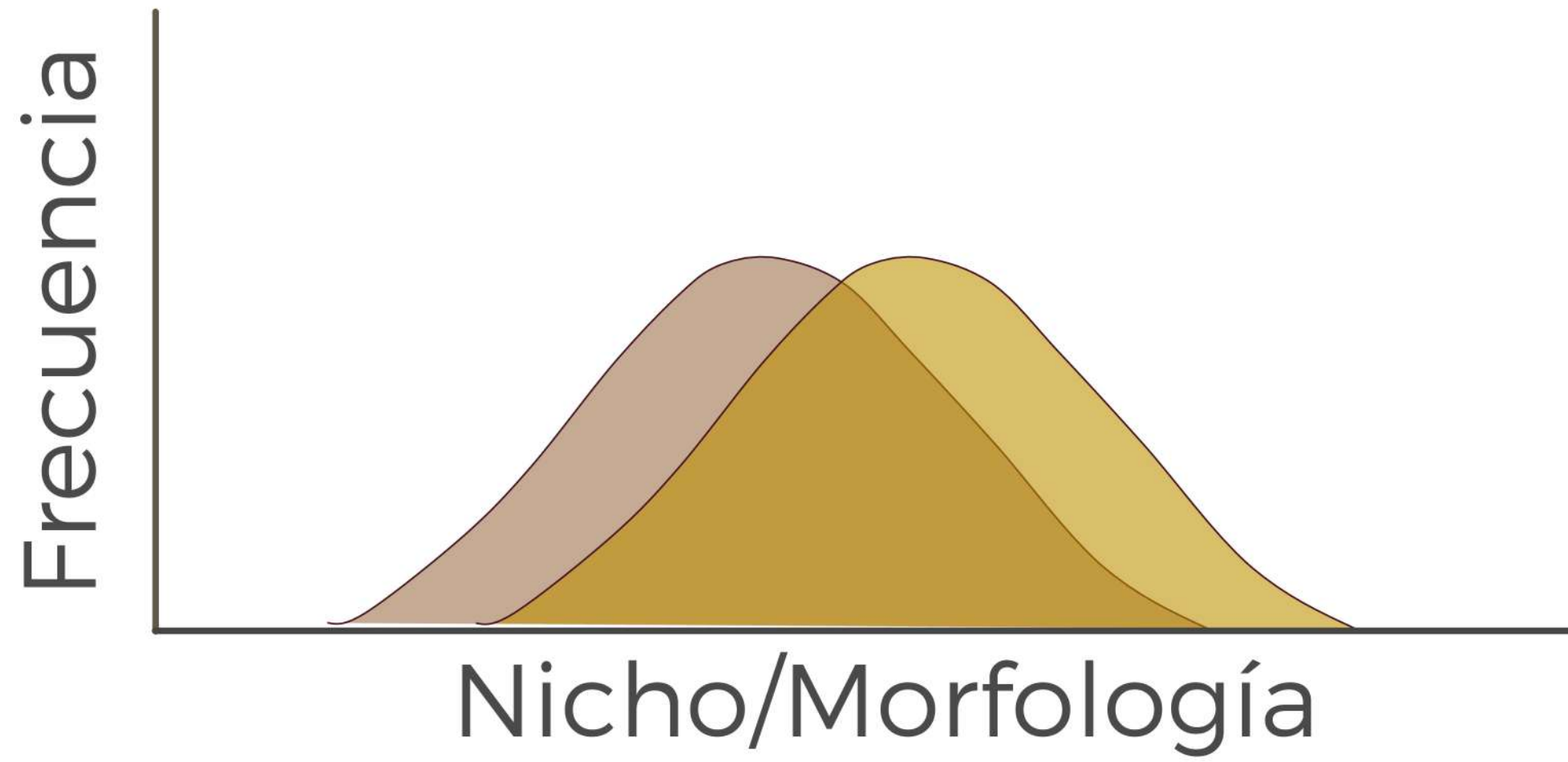
TINGLE, Jessica L.; GARNER, Kelsey L.; ASTLEY, Henry C. Functional diversity of snake locomotor behaviors: a review of the biological literature for bioinspiration. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1533, n. 1, p. 16-37, 2024. Figuras: Encyclopædia Britannica, Inc.

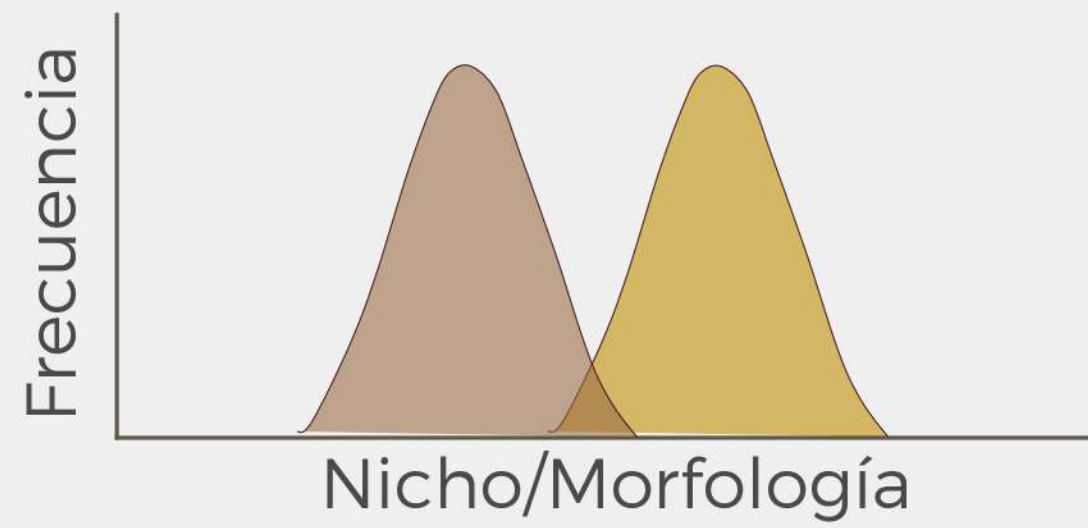
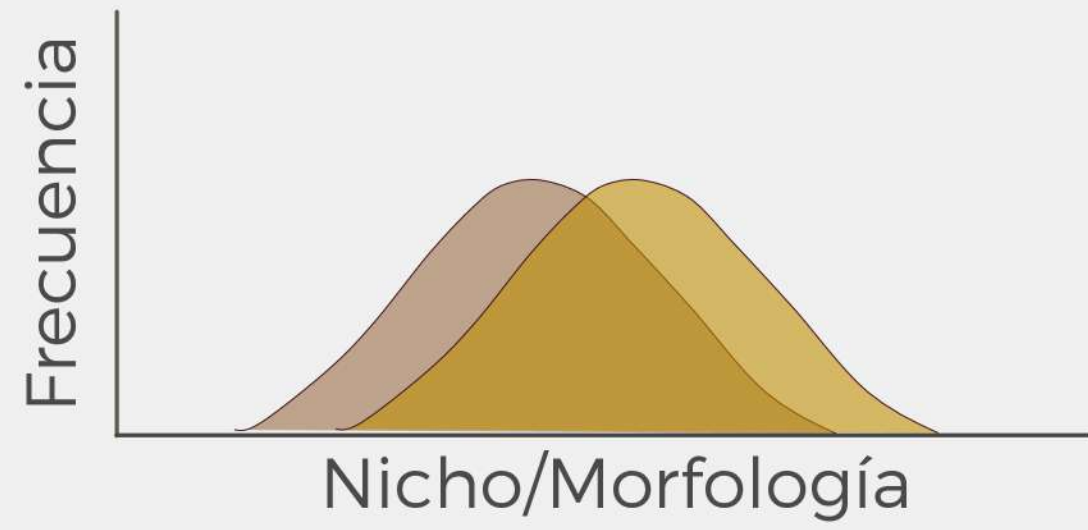
4.229 especies



TINGLE, Jessica L.; GARNER, Kelsey L.; ASTLEY, Henry C. Functional diversity of snake locomotor behaviors: a review of the biological literature for bioinspiration. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1533, n. 1, p. 16-37, 2024. Figuras: Encyclopædia Britannica, Inc.

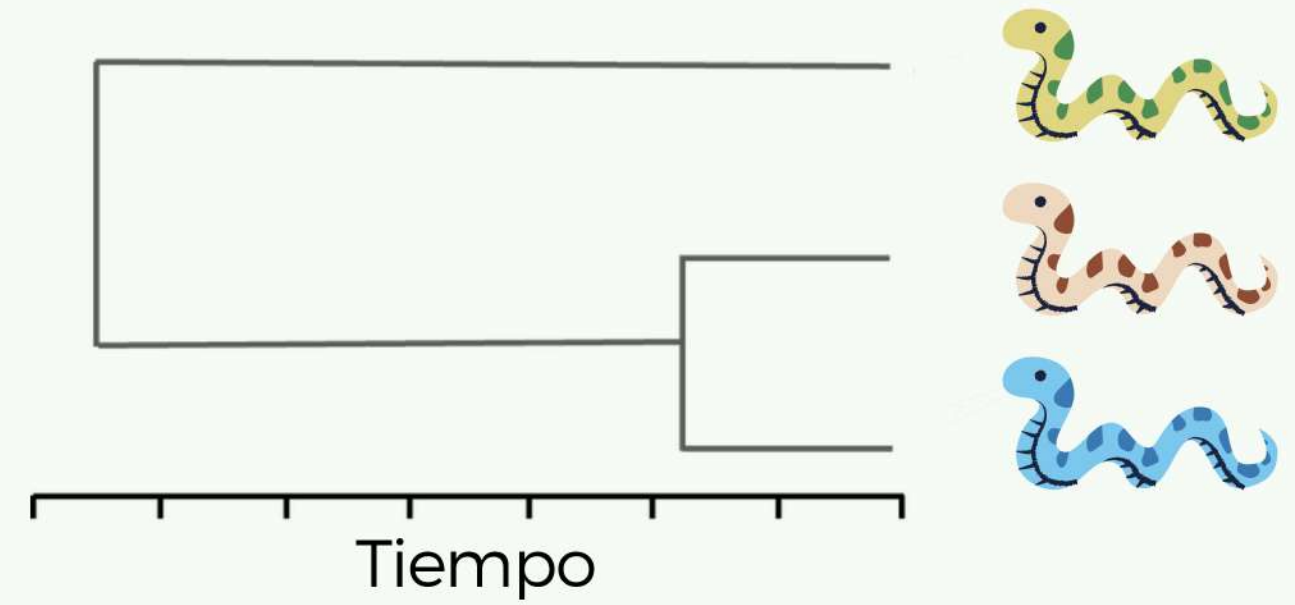






Ecomorfología

Filogenia



```
> morfo <- eco * evo
```



Orden: Squamata
Suborden: Serpentes
Familia: Elapidae
Género: *Micrurus* Wagler, 1824





Orden: Squamata
Suborden: Serpentes
Familia: Elapidae
Género: *Micrurus* Wagler, 1824



Cabeza: Pequeña, redondeada, poco diferenciada del cuello

Cola: Corta y roma

Habitos: Terrestres y fosoriales

Dieta: Principalmente ofiófagas



Adaptaciones acuáticas en una serpiente de coral Neotropical: Un estudio de convergencia morfológica

Micrurus Acuática

+

Hydrops martii
Helicops hagmanni

M. surinamensis



Foto: Ron, S.
R.

Terrestres

+

Oxyrhopus petolarius
Leptodeira annulata

M. lemniscatus

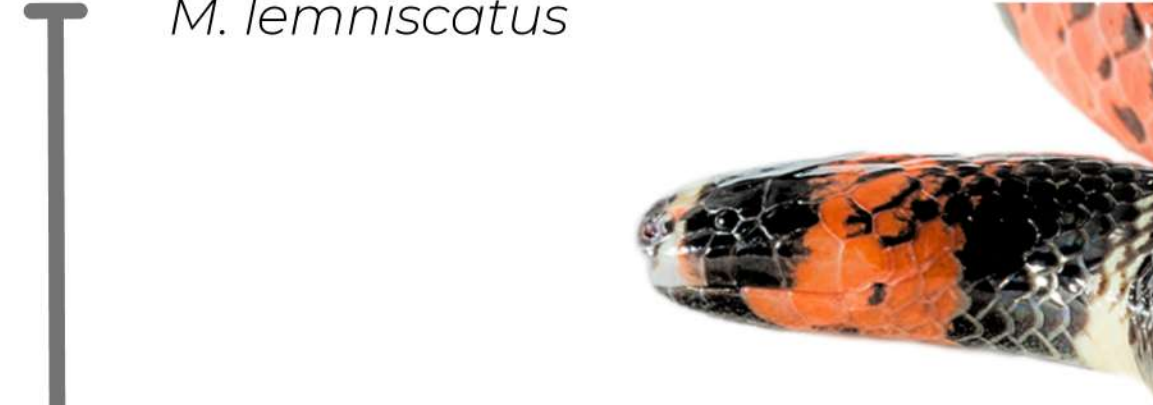
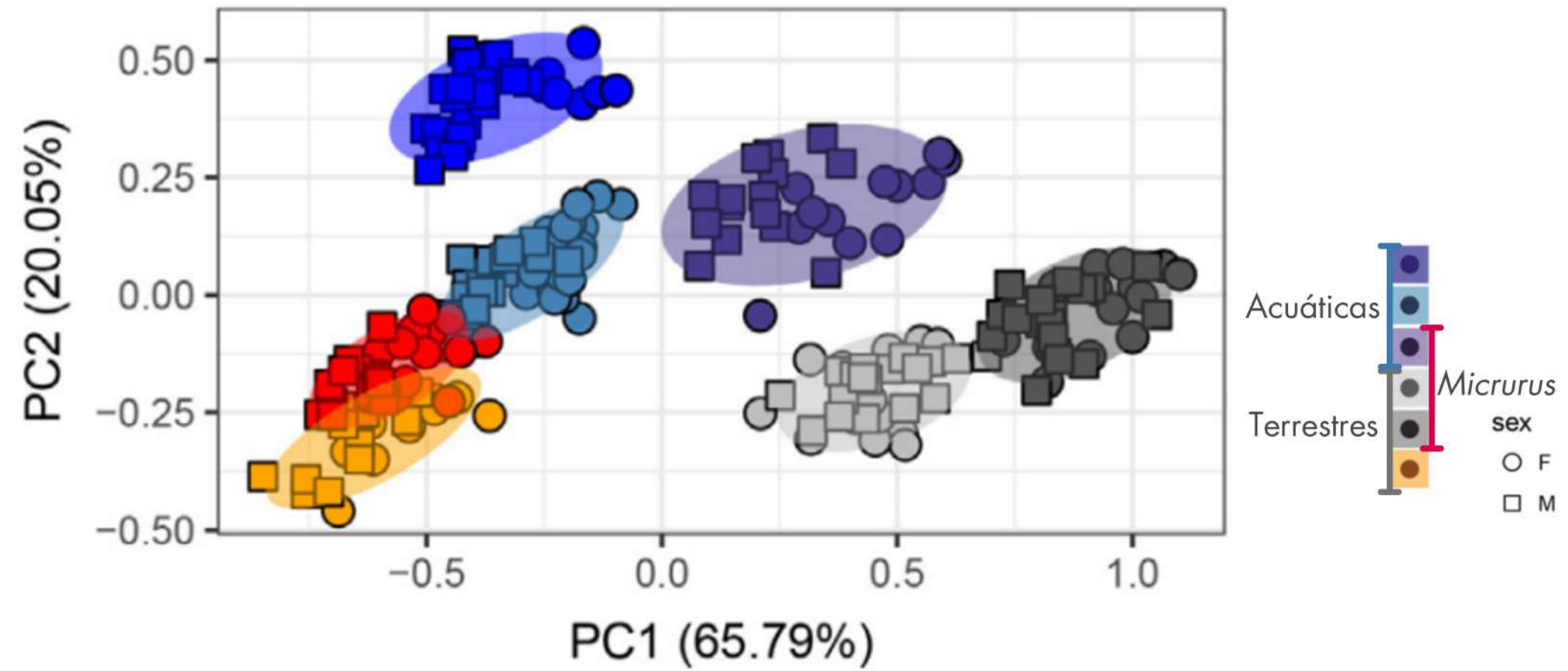
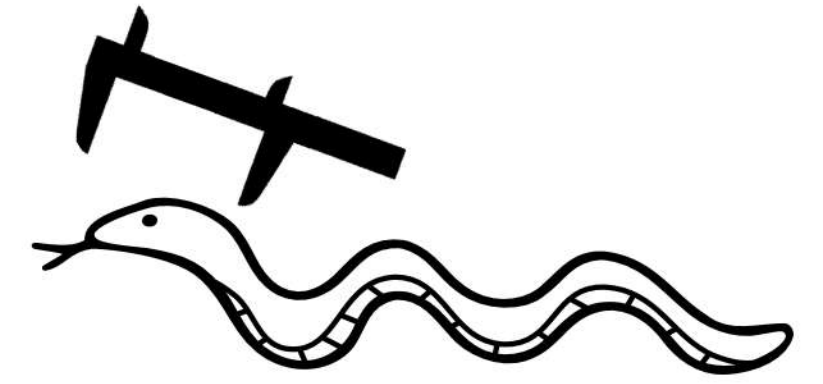


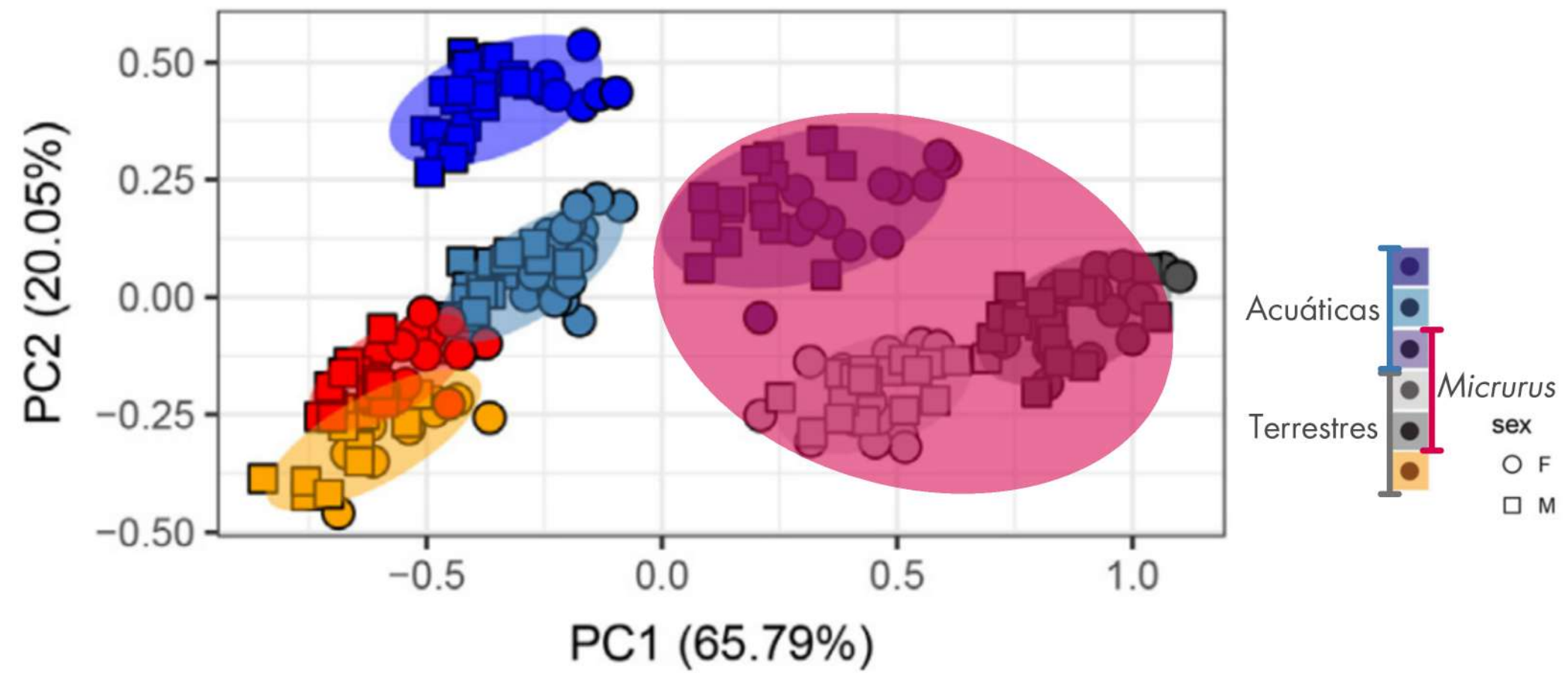
Foto: Quiroz, M.
J.

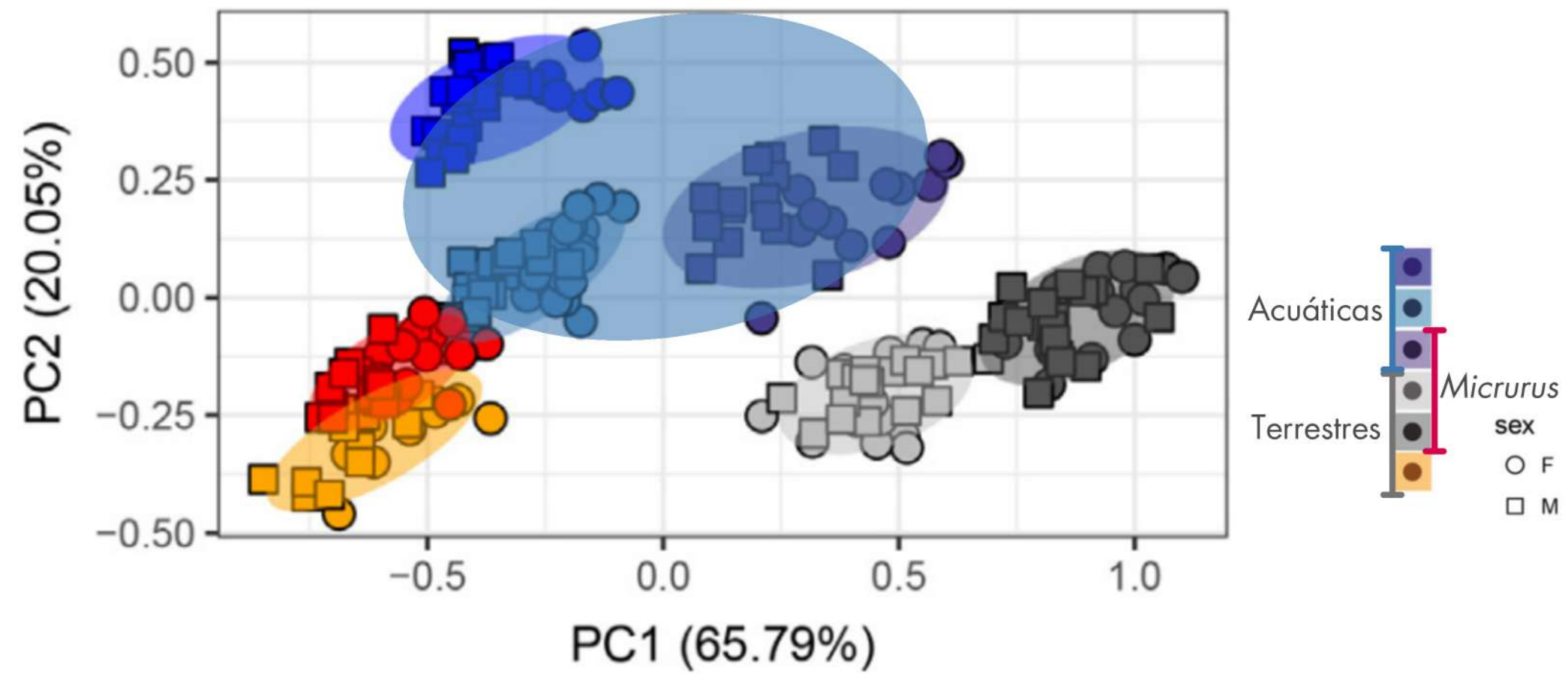
M. spixii



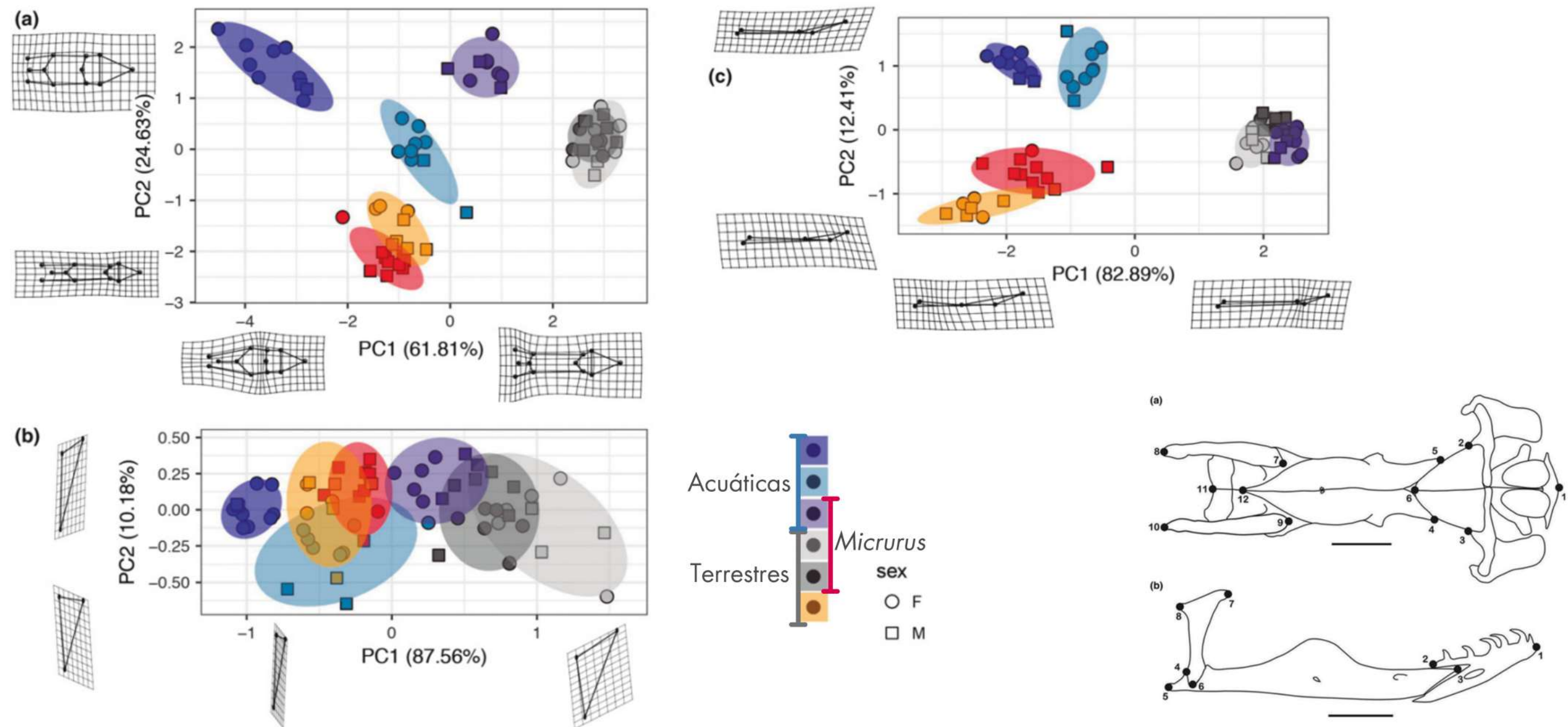
Foto: Valencia, J.
H







Un cráneo más cinético combinado con una mayor apertura bucal permitiría a *M. surinamensis* alimentarse de peces, que representan presas más grandes y anchas, en contraste con las presas alargadas que componen la dieta principal de las especies del género *Micrurus*



Los miembros de los anuros reflejan el microhábitat y los huesos distales, de desarrollo más tardío, son evolutivamente más lábiles.



Anuran limbs reflect microhabitat and distal, later-developing bones are more evolutionarily labile

Natasha Stepanova^{1,2}  and Molly C. Womack^{3,4} 

¹*Museum of Vertebrate Zoology, University of California at Berkeley, 3101 Valley Life Sciences Building, Berkeley, California 94720*

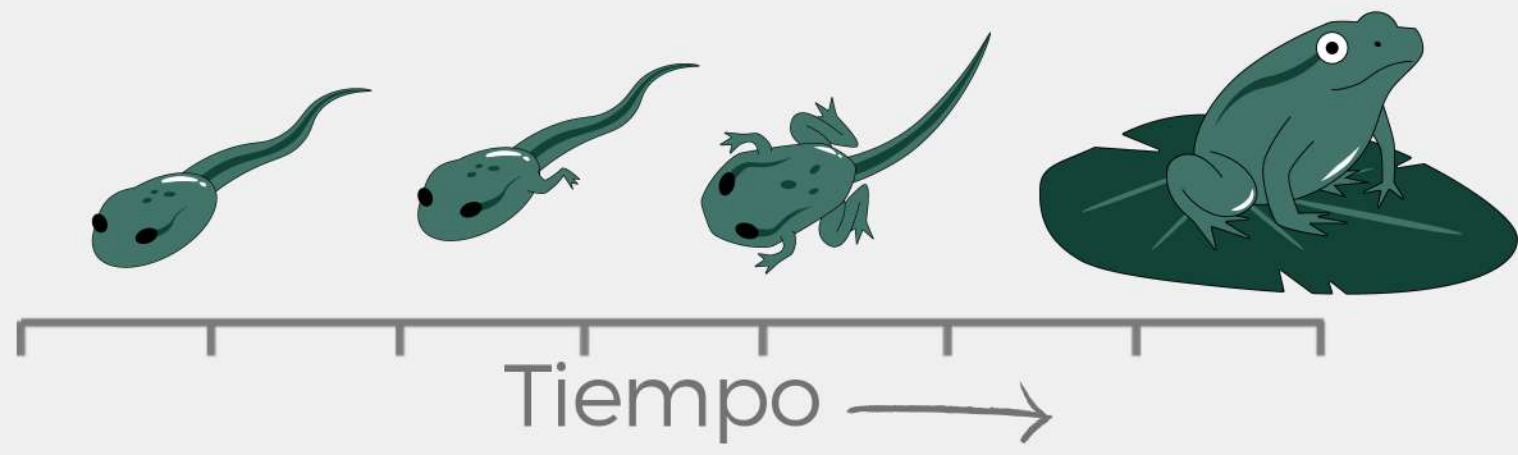
²*Present Address: Department of Biology, Villanova University, 800 Lancaster Avenue, Villanova, Pennsylvania 19085*

³*Department of Vertebrate Zoology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, 1000 Constitution Avenue NW, Washington, DC 20560*

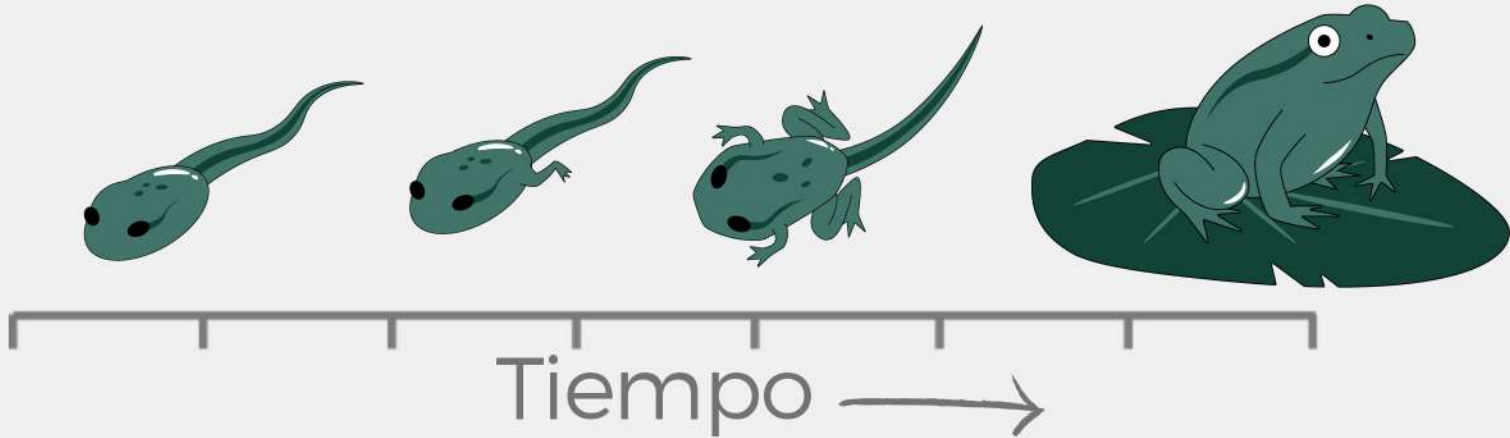
⁴*E-mail: molly.womack@usu.edu*

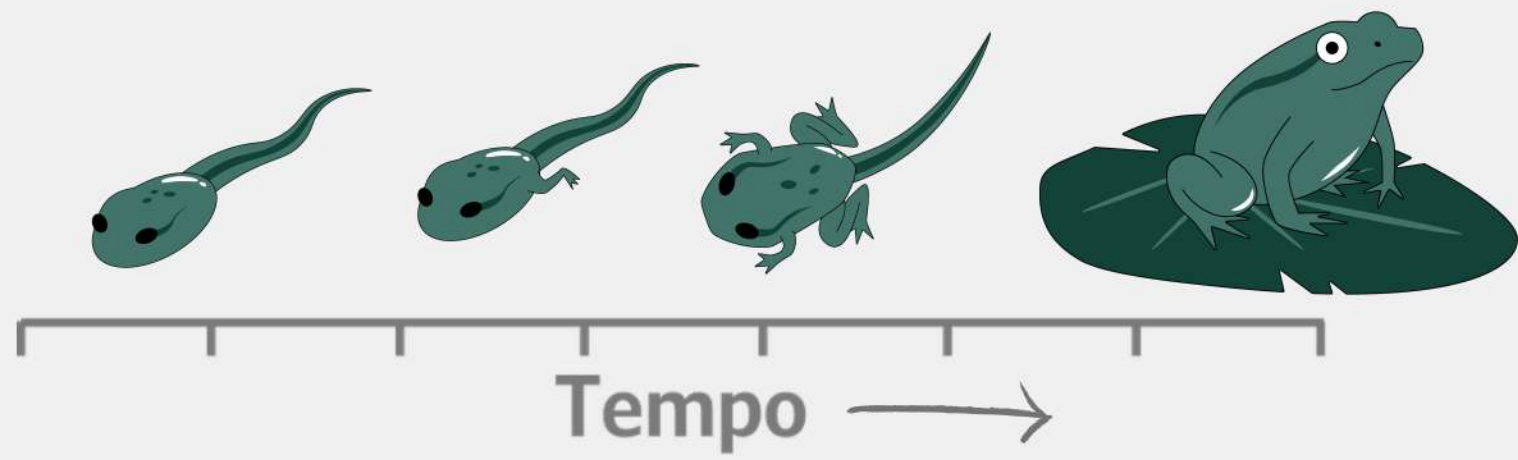


Restricciones intrínsecas (Desarrollo)

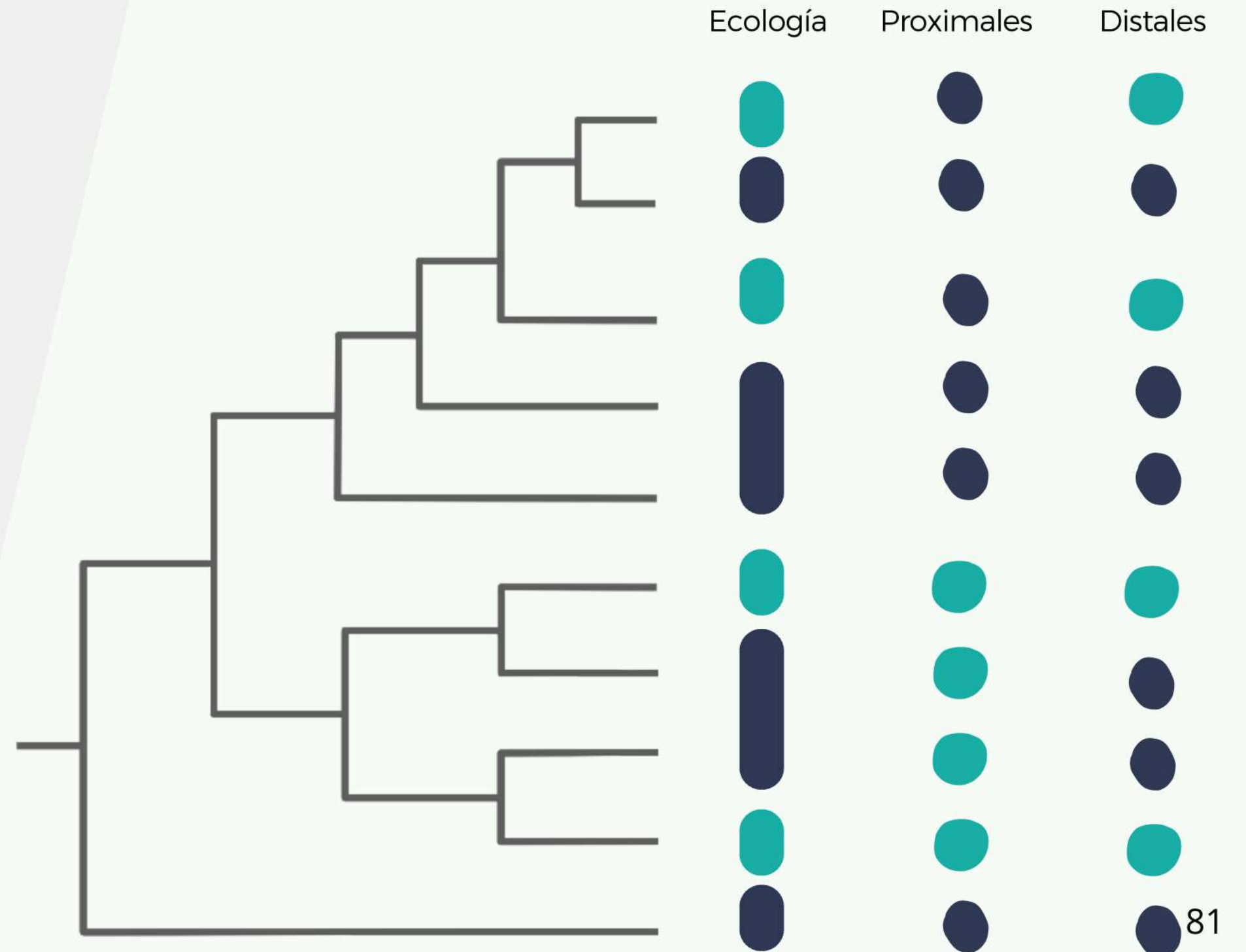


Restricciones intrínsecas (Desarrollo)





Restricciones intrínsecas (Desarrollo)



Hábitos -> Forma

Comparten la morfología general

Variación en el tamaño

Transiciones evolutivas hacia nuevos microhábitats

Modelo de estudio
(Anfibios anuros)



Preguntas:

1 ¿Cómo evolucionaron los miembros en asociación con el microhábitat, el tamaño y la filogenia?

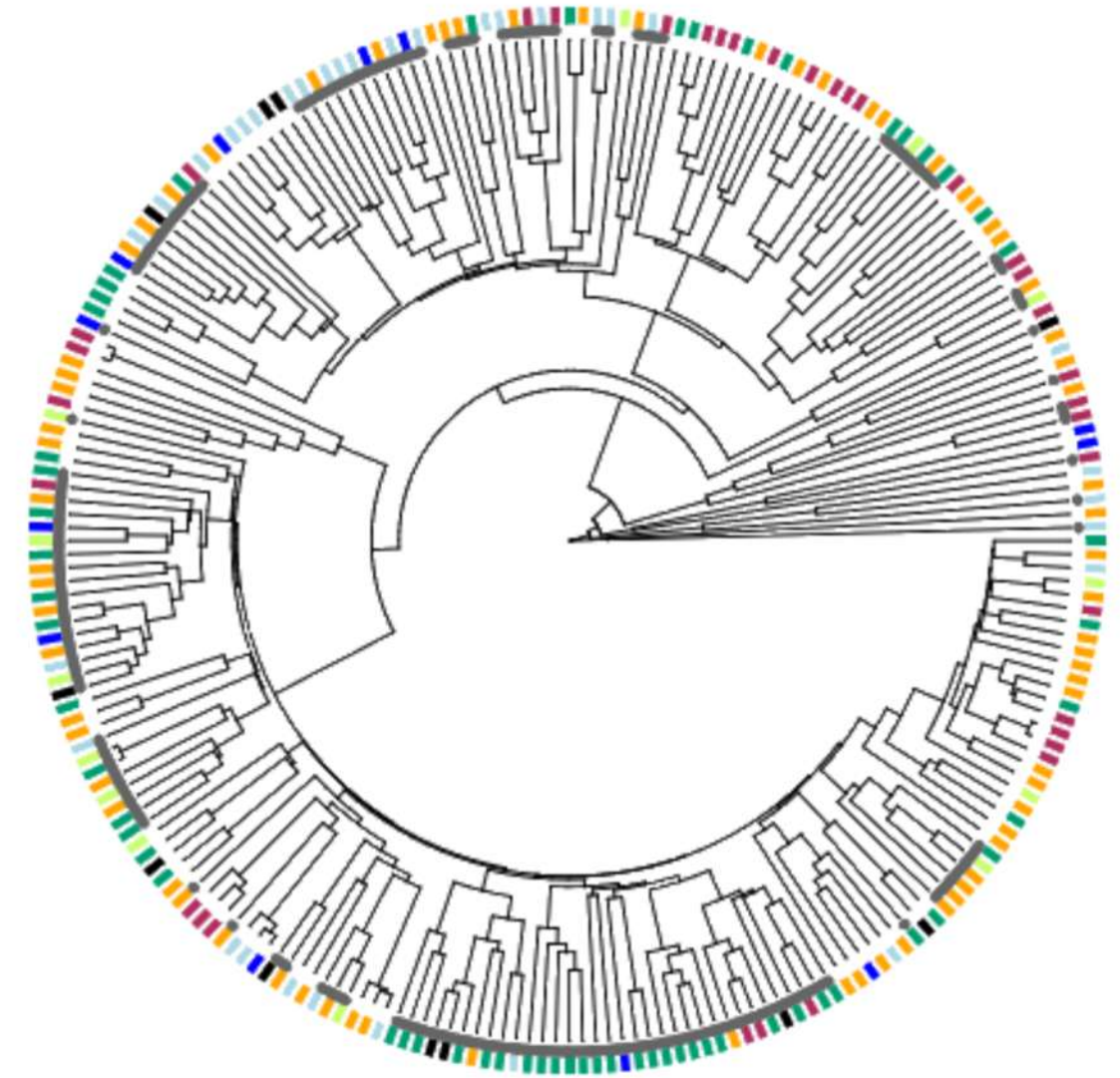
2 ¿Los miembros anteriores y posteriores presentan patrones evolutivos similares?

3 ¿Los huesos distales están menos conservados que los huesos proximales?



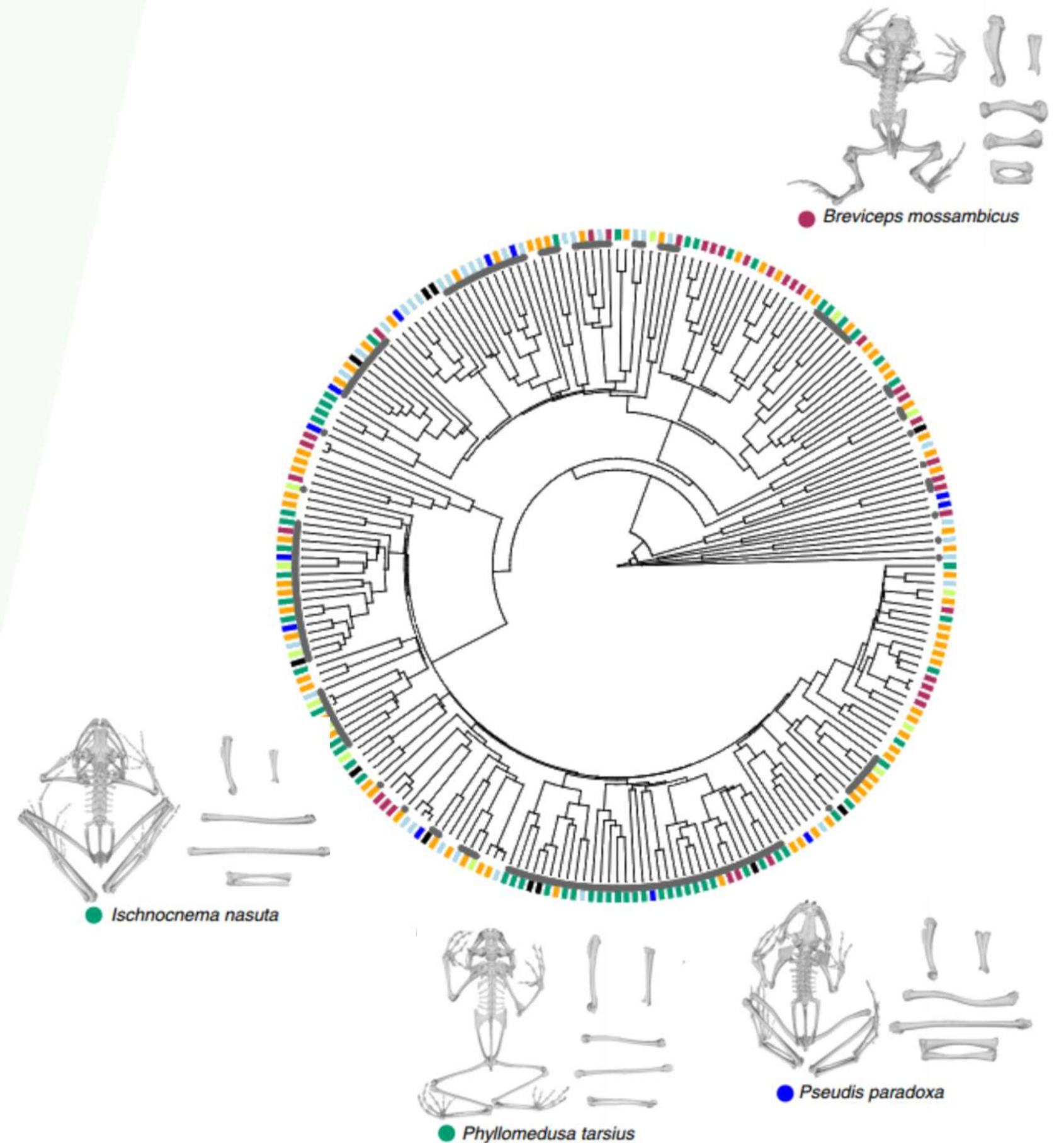
Hábitos / Forma

- Acuático 12
- Arborícola 60
- Excavador 35
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- Corredoras 11



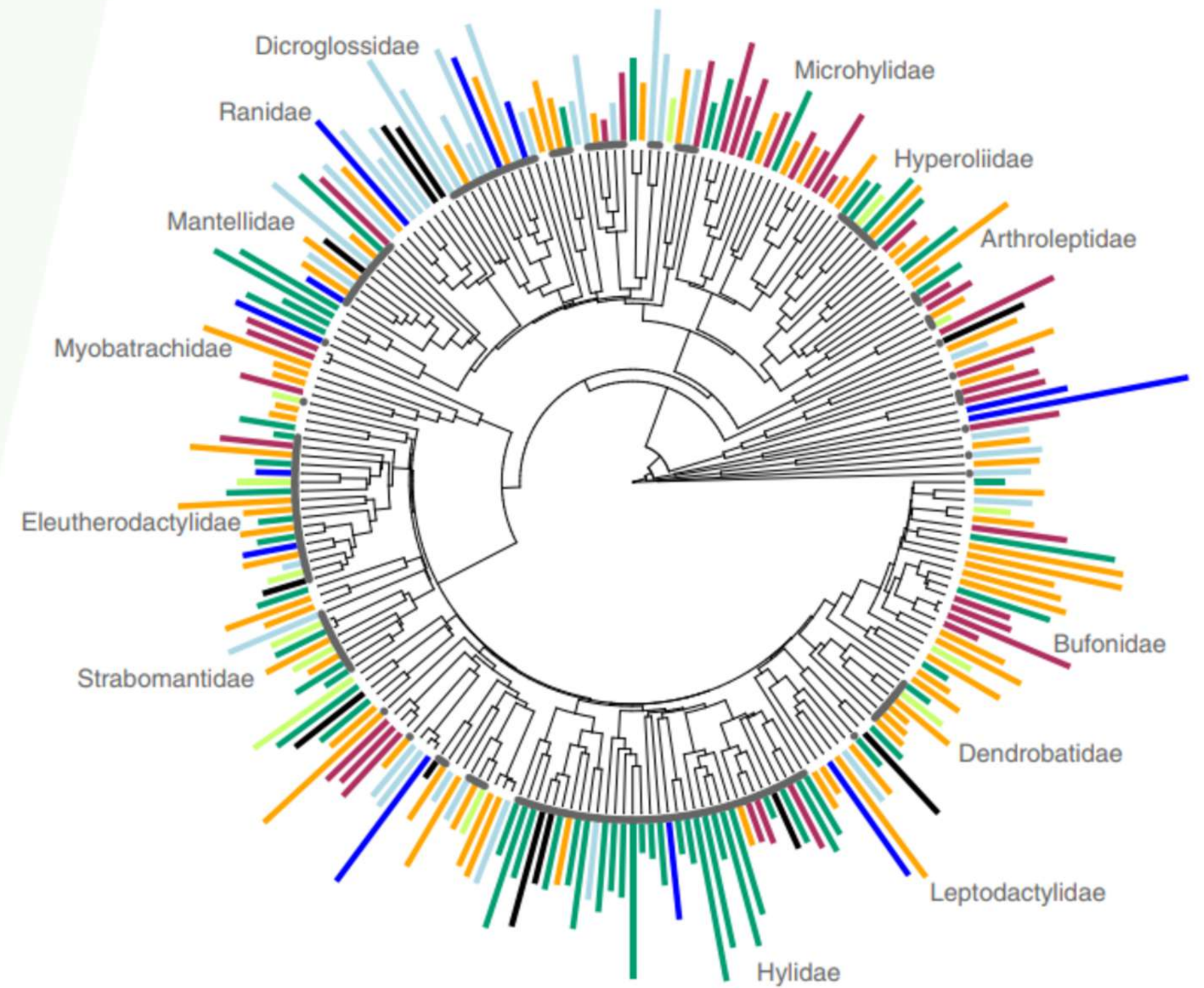
Hábitos / Forma

- Acuático 12
- Arborícola 60
- Excavador 35
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- De riachuelo 11



Hábitos / Forma Tamaño

- Acuático 12
- Arborícola 60
- Excavador 35
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- De riachuelo 11

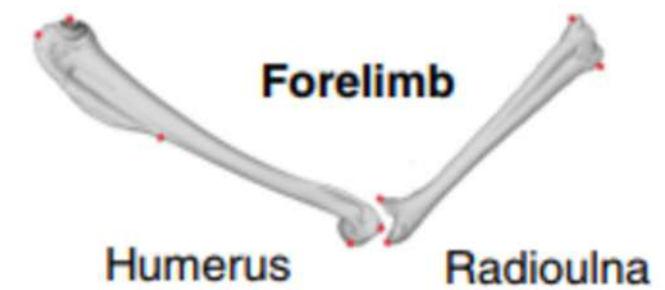
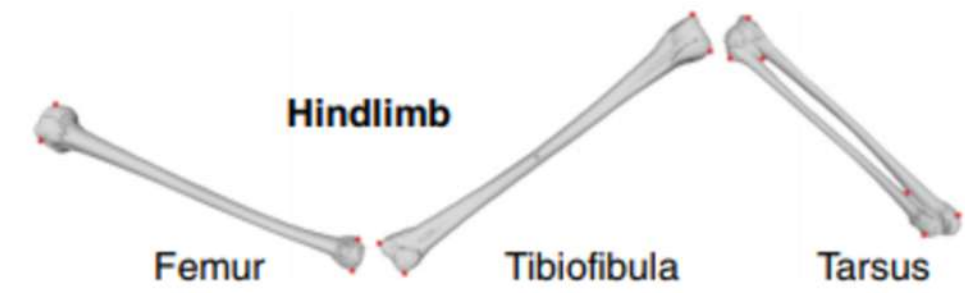


Hábitos / Forma Tamaño

Morfometría geométrica

Miembros anteriores y posteriores

236 especímenes

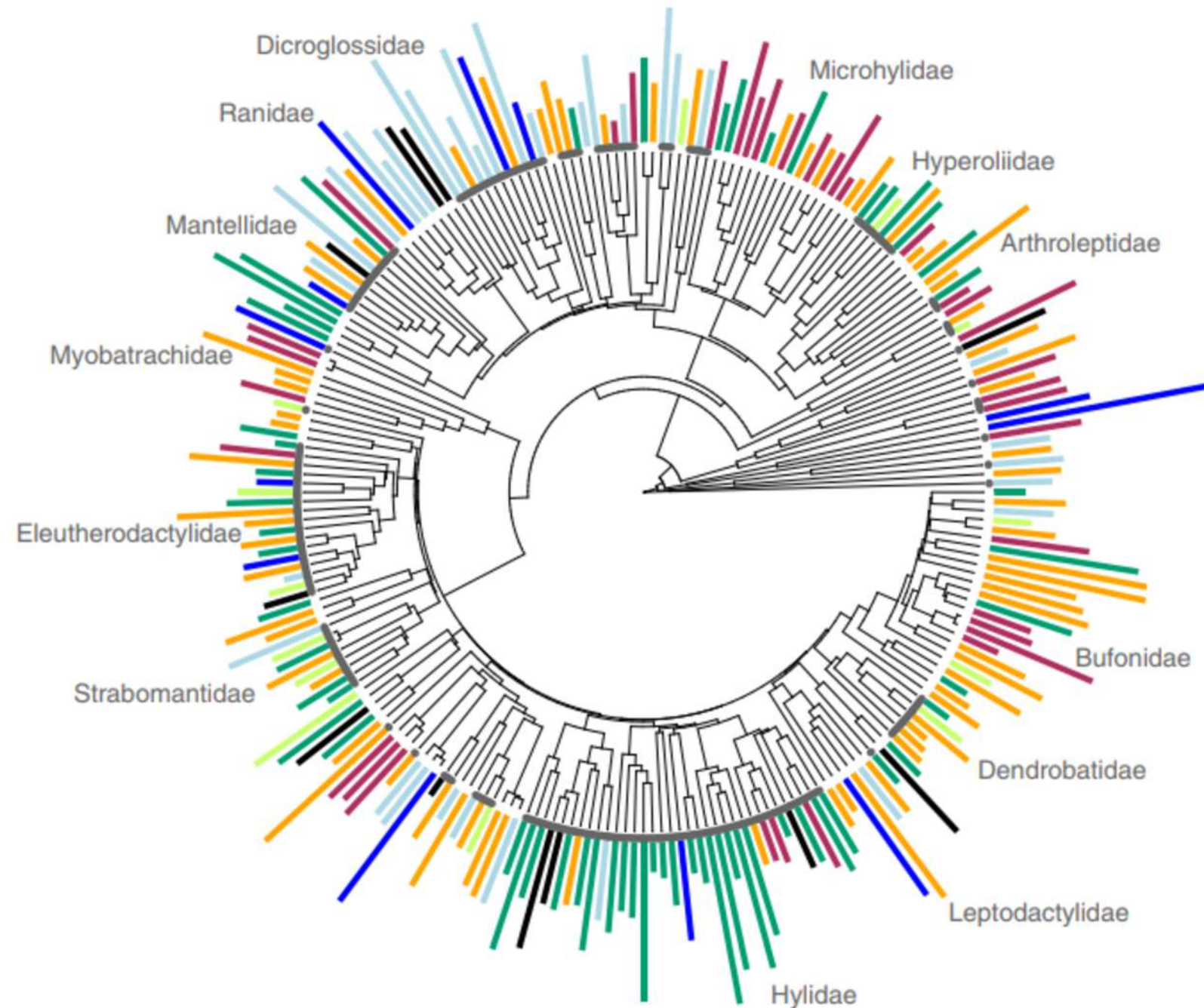


Resultados:

la forma mostró una **fuerte** relación con la filogenia



(phylogenetic signal: $K = 0.494$, $P < 0.001$)

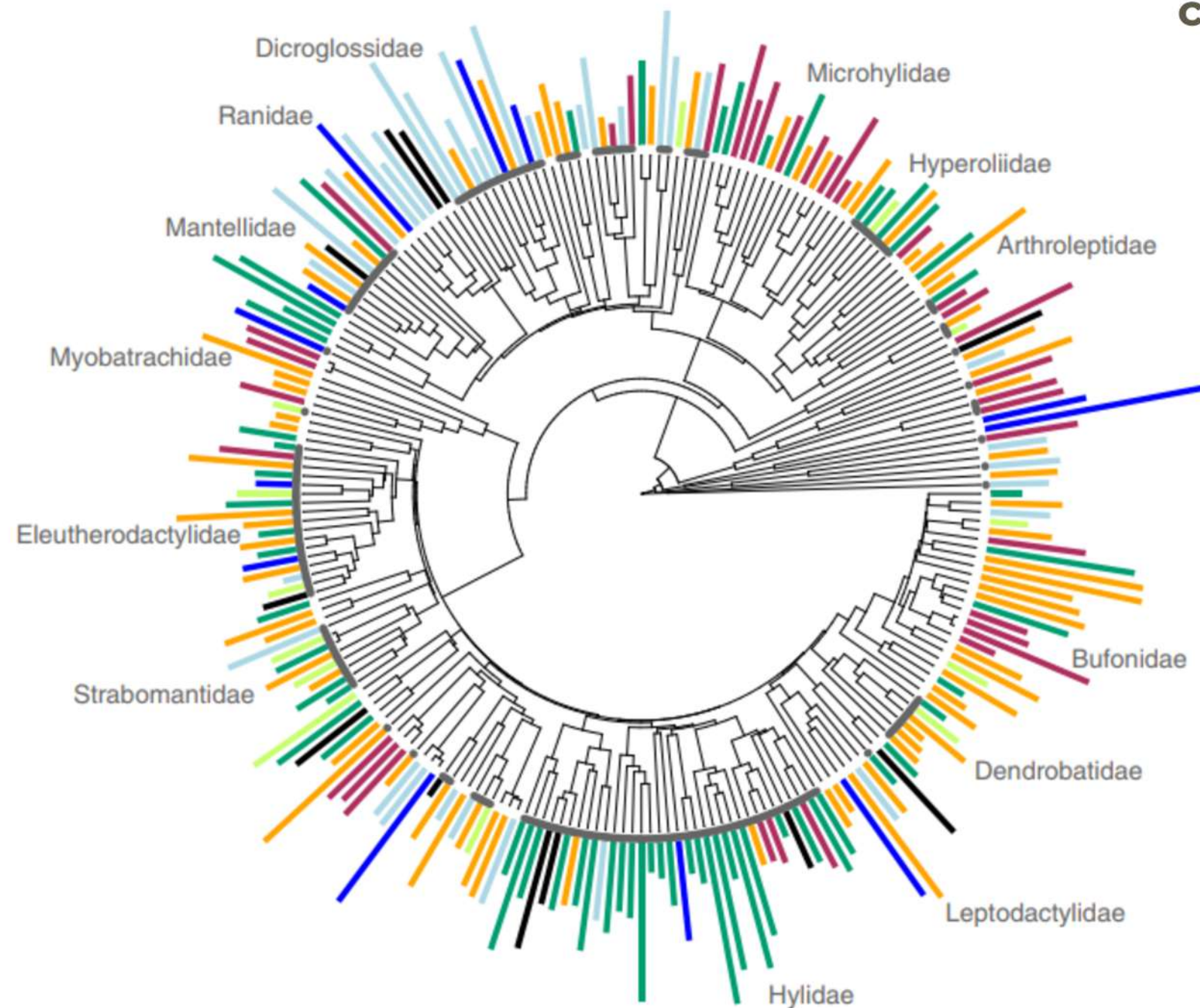


- **Acuático** 12
- **Arborícola** 60
- **Excavador** 35
- **Semiacuático** 33
- **Semiarborícola** 13
- **Terrestre** 72
- **De riachuelo** 11

Resultados:

Modelo evolutivo del microhábitat que afecta la evolución de los miembros
cada microhábitat tiene su propio óptimo evolutivo

OU (Ornstein–Uhlenbeck) with 7 microhabitat peaks (OUM)



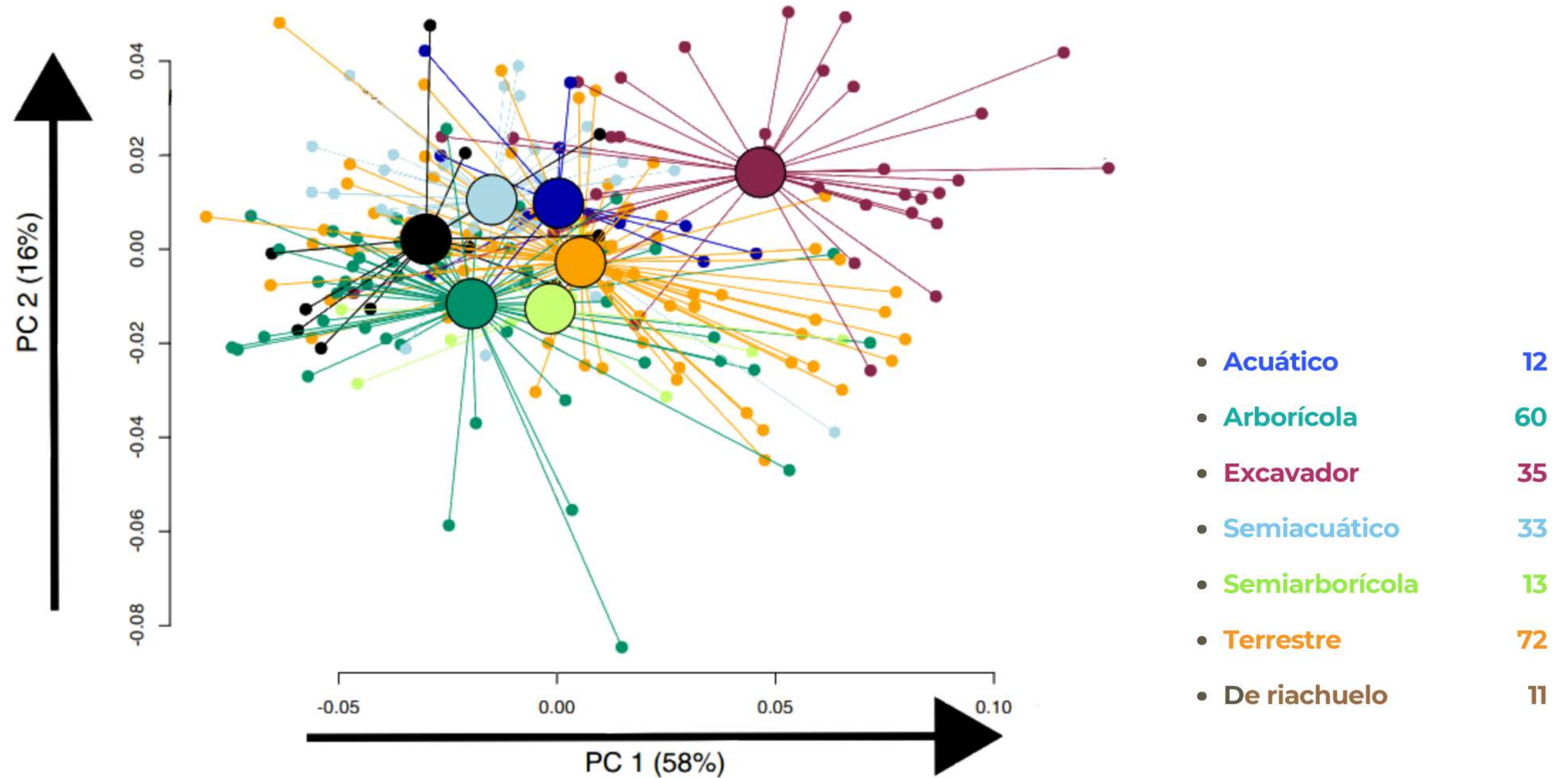
- **Acuático** 12
- **Arborícola** 60
- **Excavador** 35
- **Semiacuático** 33
- **Semiarborícola** 13
- **Terrestre** 72
- **De riachuelo** 11

Resultados:

la forma de los miembros también mostró una relación con el microhábitat

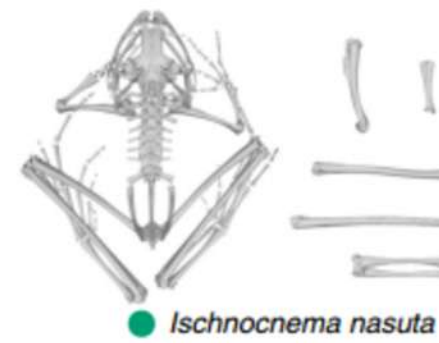
$$(F_{6,229} = 5.23, R^2 = 0.12, P < 0.001)$$

Size-corrected species limb shape (fore + hind)

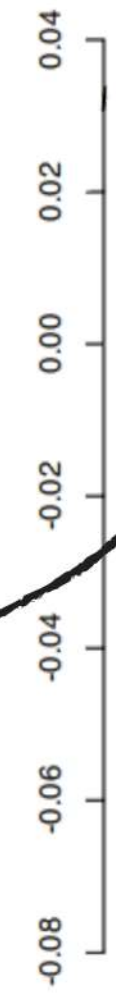


Resultados:

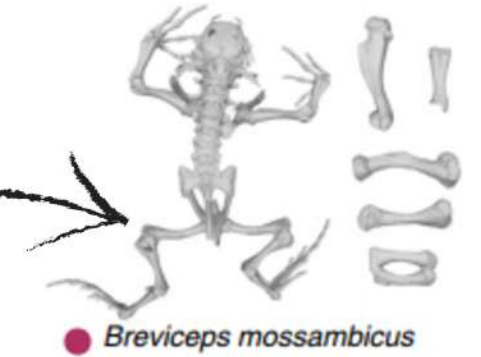
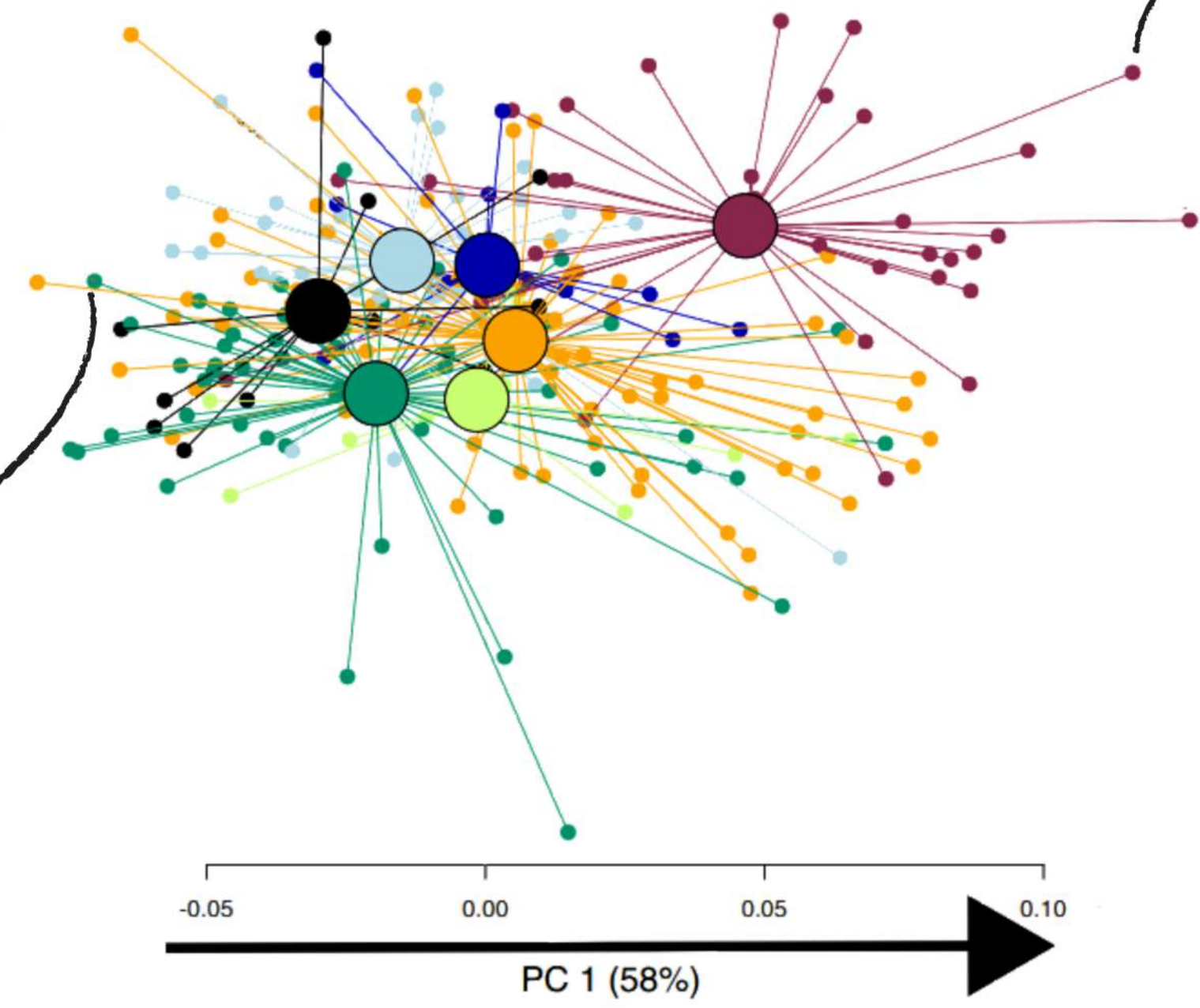
Radiocúbito corto
Tibiofíbula larga
Tarso ancho y corto



PC 2 (16%)



Size-corrected species limb shape (fore + hind)



Miembros anteriores pequeños
Tibiofíbula corta 91
Huesos anchos

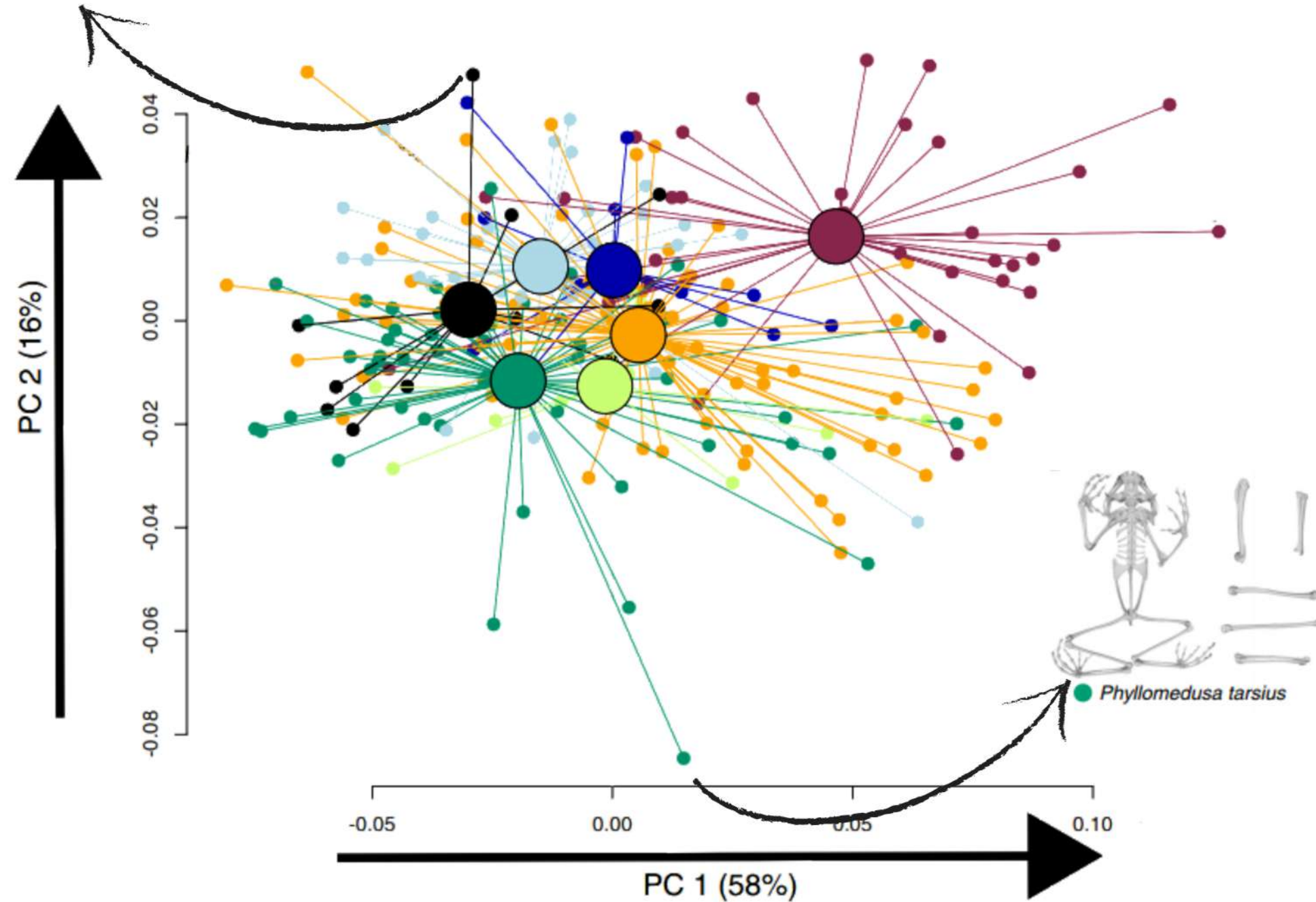
Resultados:

Radiocúbito corto
Tibiofíbula larga
Tarso ancho y corto



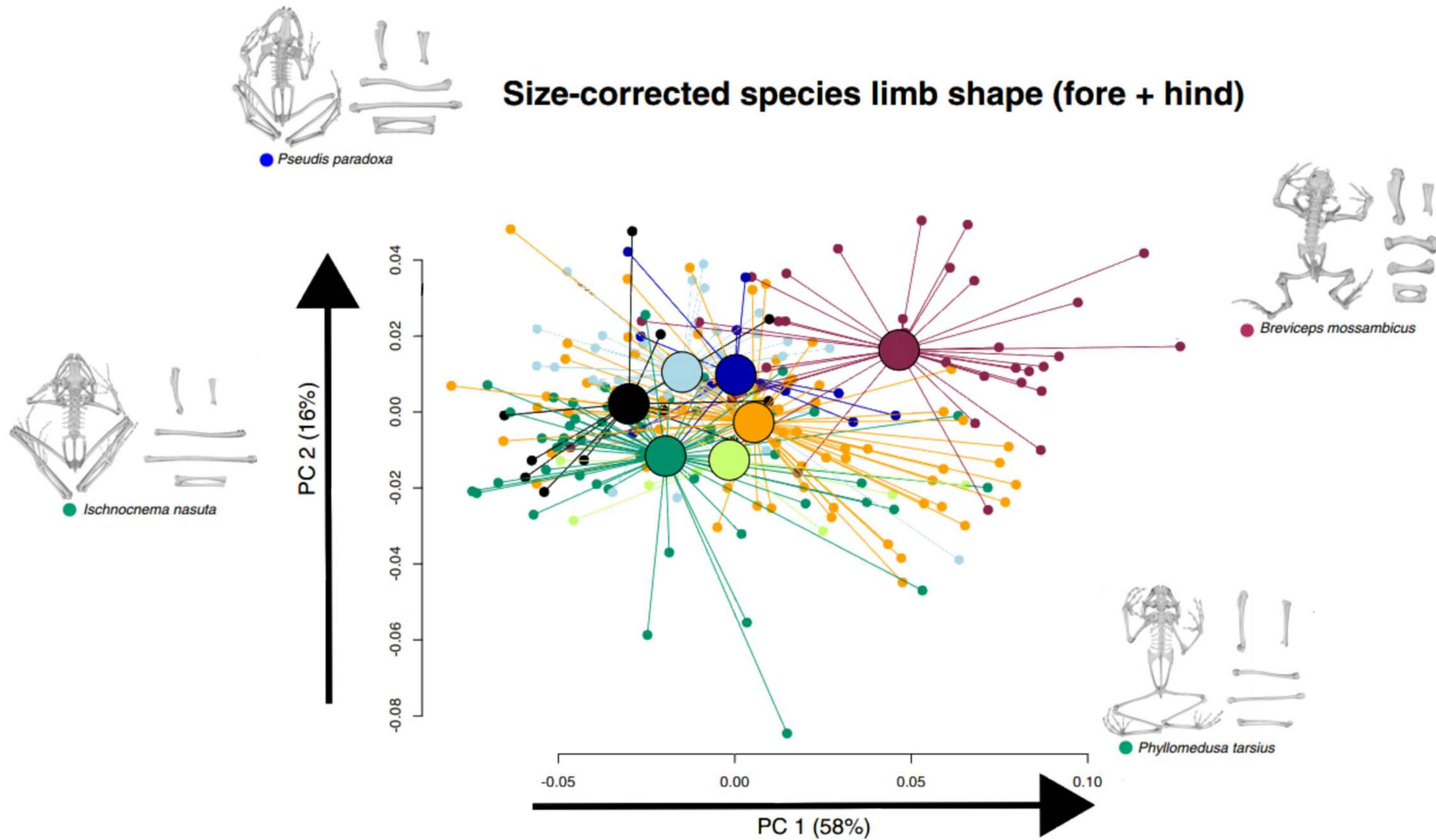
● *Pseudis paradoxa*

Size-corrected species limb shape (fore + hind)



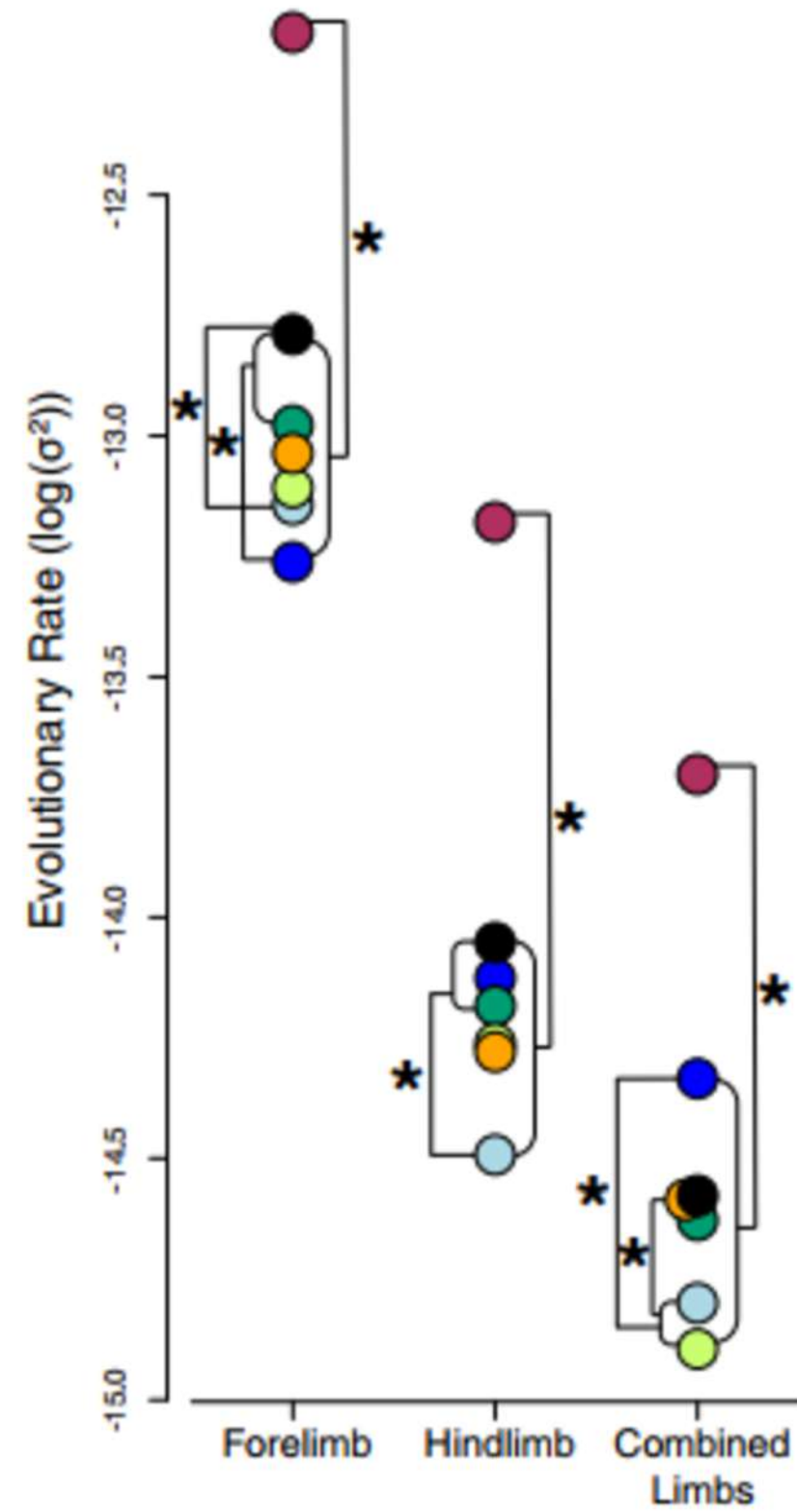
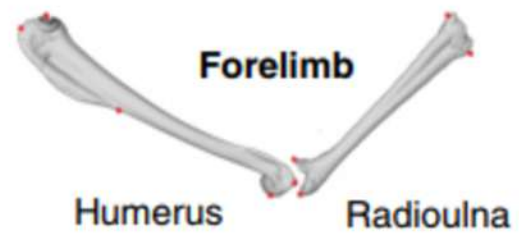
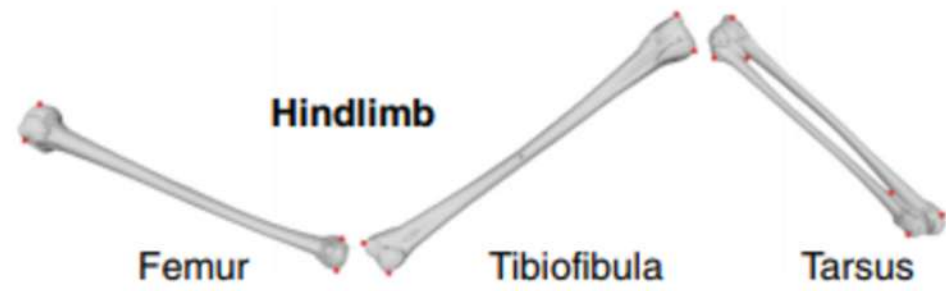
Miembros anteriores pequeños
Tibiofíbula corta 92
Huesos anchos

Resultados:



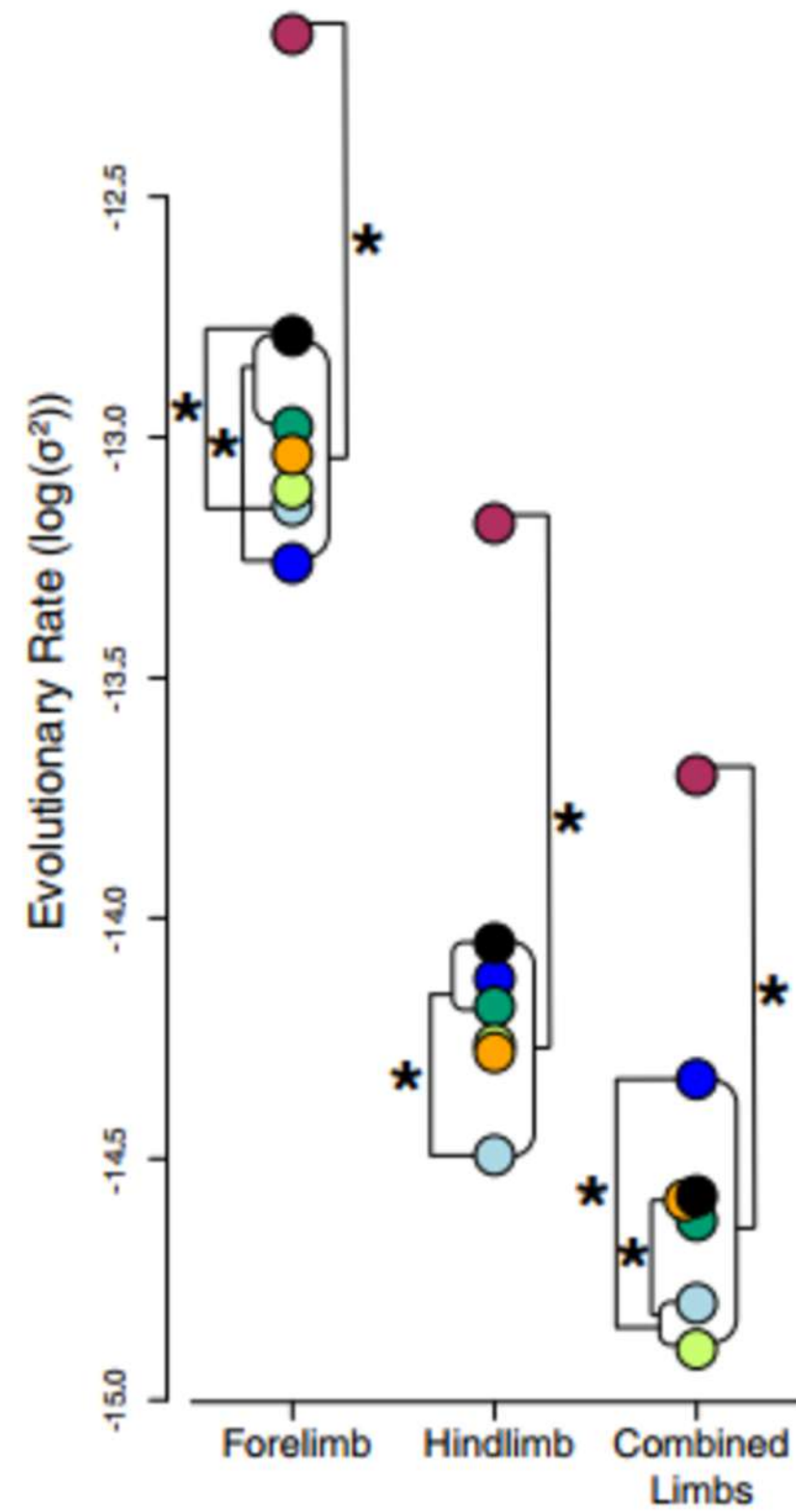
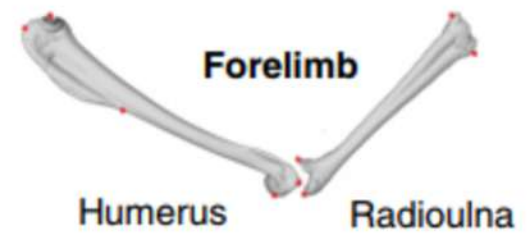
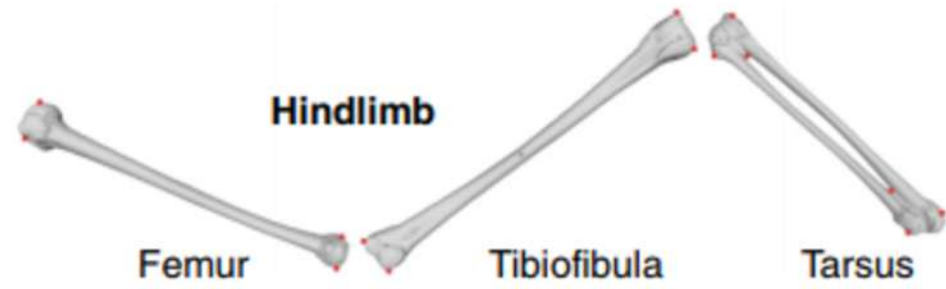
Resultados:

- Acuático 12
- Arborícola 60
- Excavador 35
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- De riachuelo 11



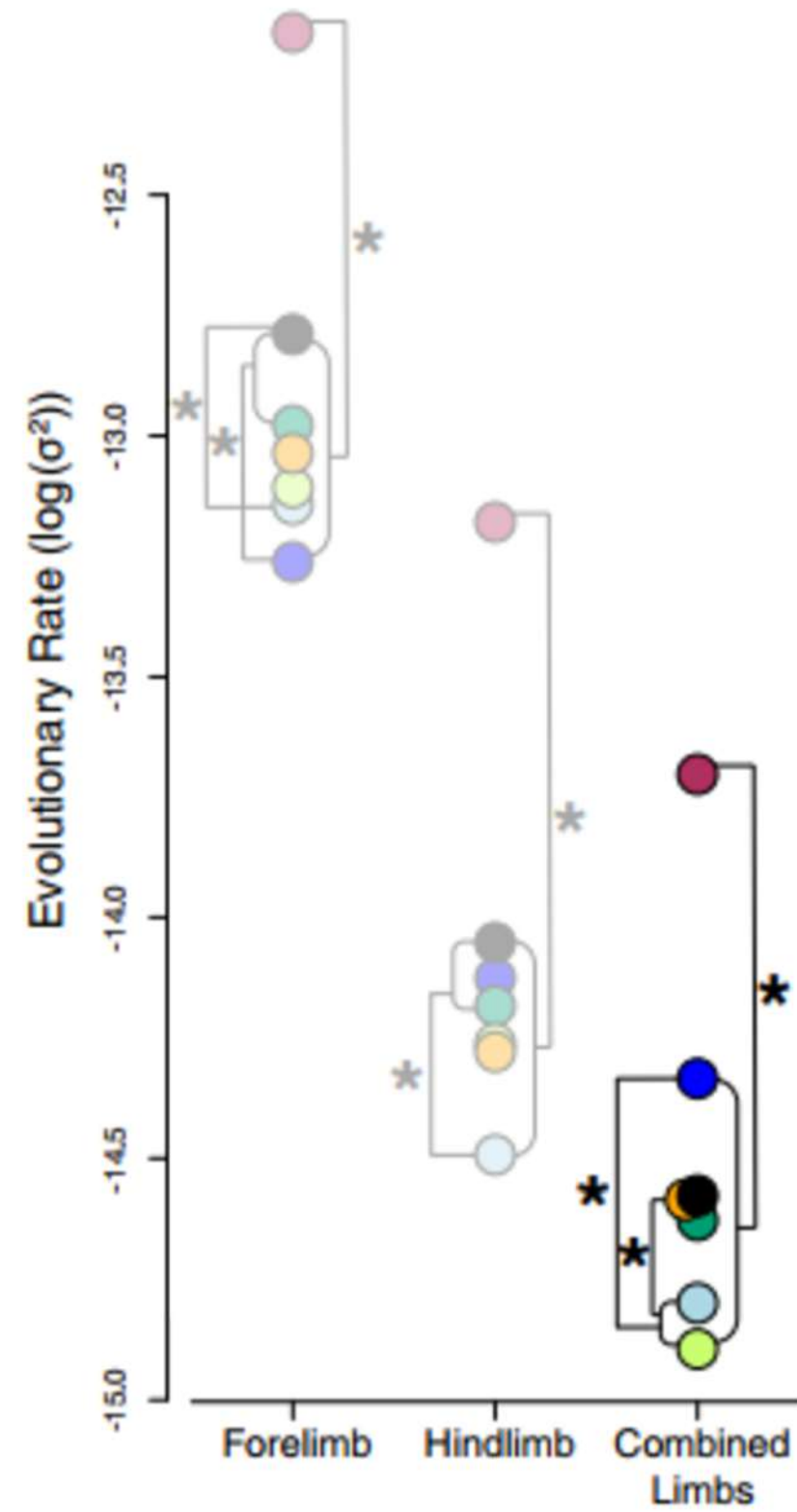
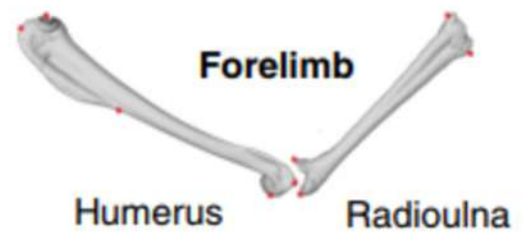
Resultados:

- Acuático 12
- Arborícola 60
- **Excavador 35**
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- De riachuelo 11

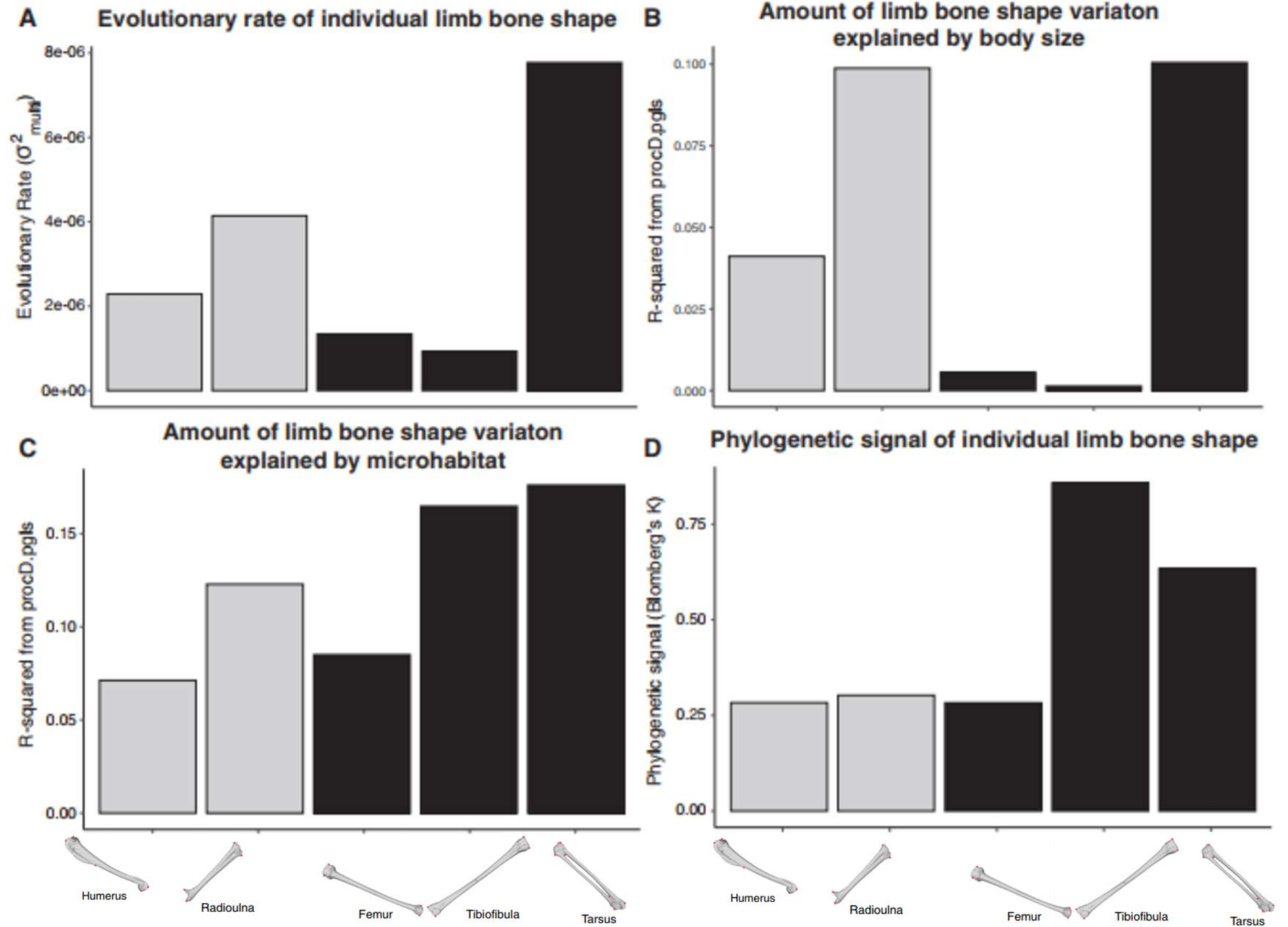
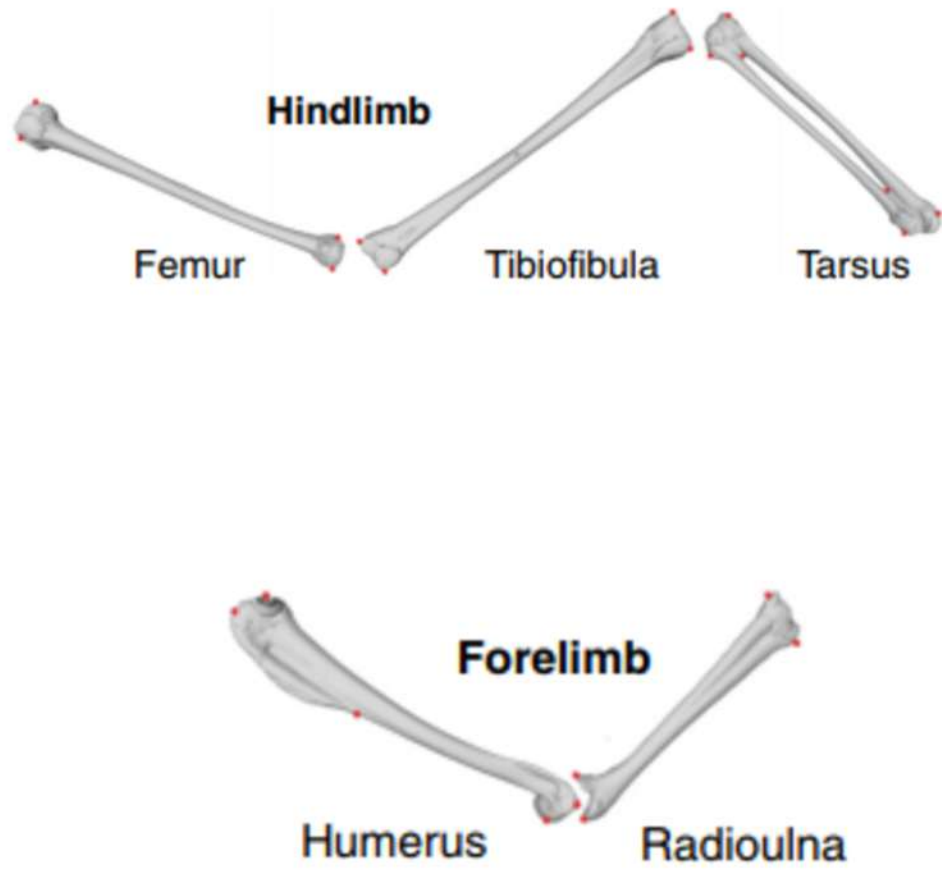


Resultados:

- Acuático 12
- Arborícola 60
- Excavador 35
- Semiacuático 33
- Semiarborícola 13
- Terrestre 72
- De riachuelo 11



Resultados:



Preguntas:

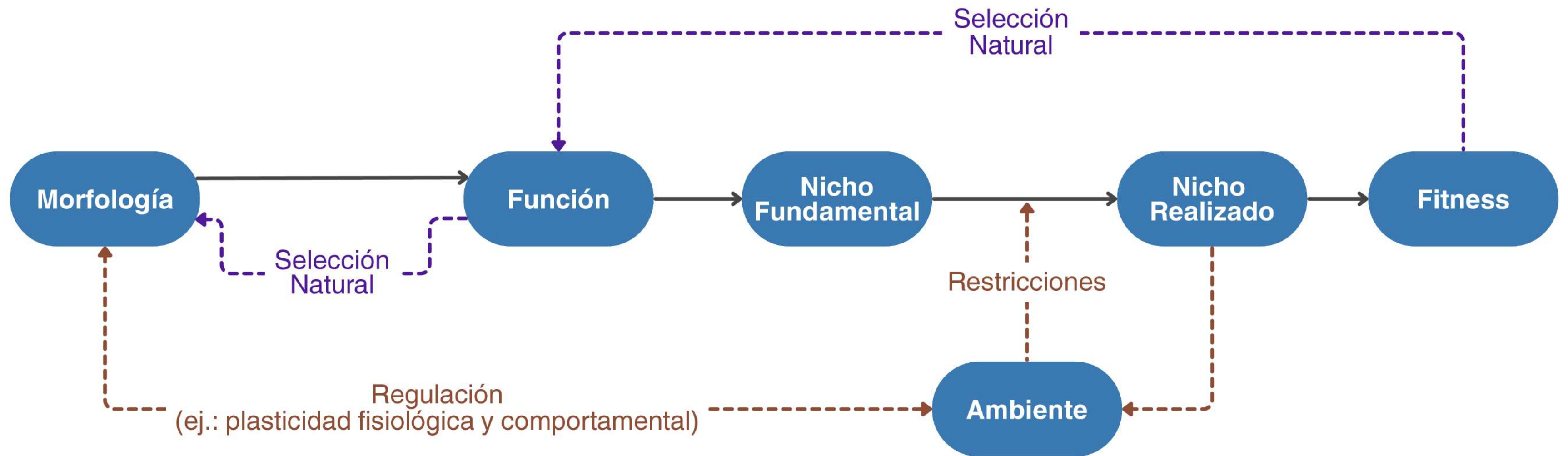
1 ¿Cómo evolucionaron los miembros en asociación con el microhábitat, el tamaño y la filogenia?

2 ¿Los miembros anteriores y posteriores presentan patrones evolutivos similares?

3 ¿Los huesos distales están menos conservados que los huesos proximales?



Ecomorfología



Organismos
Poblaciones
Especies
Comunidades

Herpetología Neotropical - Facultad de Ciências - UDELAR

Ecomorfología

Dra. Fernanda Rodrigues de Avila
Lab. de Herpetología – FCIEN, UDELAR



fernandar.avila@gmail.com
[avilaf.github.io](https://github.com/avilaf)

