

Cambio Climático, Dinámica de la Vegetación y Nuevos Ecosistemas en los Andes del Norte

Luis Daniel Llambí

luis.llambi@condesan.org

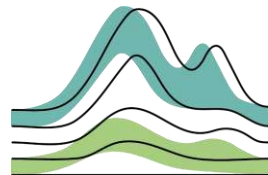


CONDESAN
Consortio para el Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Andina



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



ADAPTACIÓNEN
LAS ALTURAS



Plan de la charla: Suite Paramera en 4 partes

- **Obertura:** algunos conceptos claves
- **1er Movimiento:** los Páramos de los Andes del Norte
- **2do Movimiento.** Impactos del cambio global en los páramos
- **3er Movimiento.** Dinámica de la vegetación en la alta montaña en Venezuela



**Desconocida “Paramo Suite”,
Johan Sebastian Mastropiero**



Para entrar en calor...

“El páramo no ha cambiado, el que ha cambiado es el hombre, con todo y páramo...si lo dejamos quieto, el páramo se estará quieto, la plantica va subiendo, ella sola, escalando, buscando su ambiente, su naturaleza”.

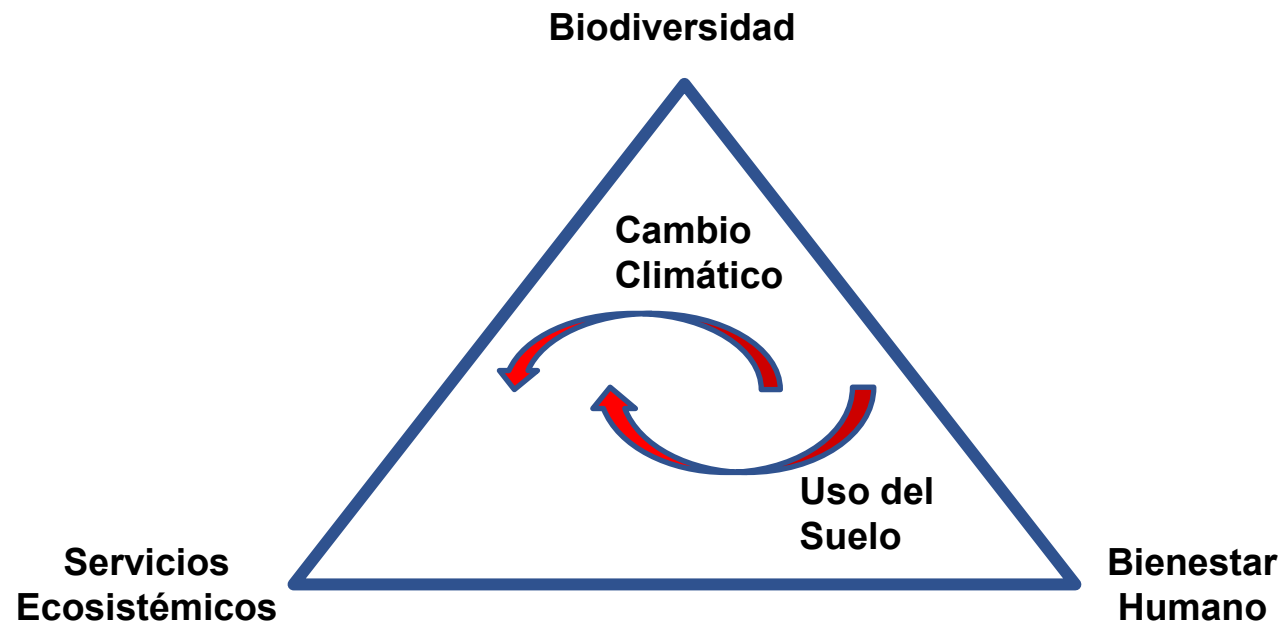
Bernabé Torres, Lider Comunitario, Gavidia, Venezuela.



Laguna de Páramo, Lino Sulbarán, Gavidia

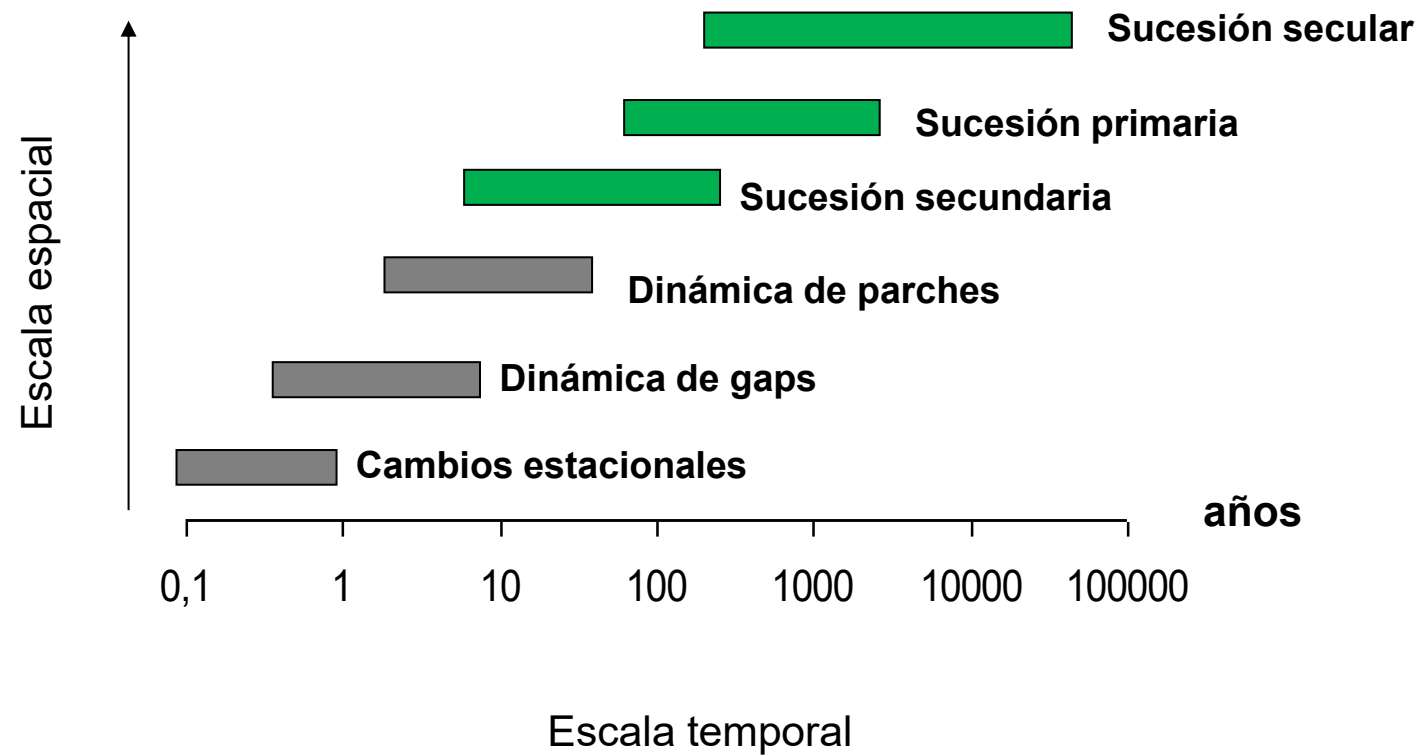
Obertura

- Pérdida de biodiversidad está teniendo impactos profundos en servicios ecosistémicos y bienestar humano a escala global (Tilman et al. 2015; Isbell et al. 2017)
- Resultado de interacciones complejas entre el **cambio climático y el uso del suelo**
- Los impactos no están ocurriendo en la misma dirección o con la misma magnitud en diferentes sitios: los ecosistemas experimentan **combinaciones nuevas de motores de cambio**
- Necesidad de **información de largo plazo y sistemática** para evaluar estos efectos a múltiples escalas espaciales



Obertura

- ⌚ La **dinámica de ecosistemas** ocurre a varias escalas espaciales y temporales



Sucesión: concepto unificador en la dinámica de ecosistemas

- Proceso de cambio de las comunidades y los ecosistemas luego de un disturbio o transformación

Tipo de sucesión	Ejemplo	
Sucesión Primaria: desarrollo de ecosistemas en superficies desnudas donde disturbios severos han removido la mayoría de la actividad biológica <u>Ejemplos (inicio):</u> erupción volcánica, retroceso glaciar		
Sucesión secundaria: dinámica de ecosistemas en áreas en donde el disturbio o la transformación ha removido solo parte de la actividad biológica <u>Ejemplos (inicio):</u> agricultura, deslizamientos, huracanes, fuegos.		
Sucesión secular: proceso de cambio en los ecosistemas a lo largo de décadas/siglos producto del cambio climático u otras transformaciones ambientales de muy largo plazo. <u>Ejemplo (inicio):</u> dinámica del límite de bosques		

Enfoques de estudio

1. Enfoque sincrónico o de cronosecuencia:

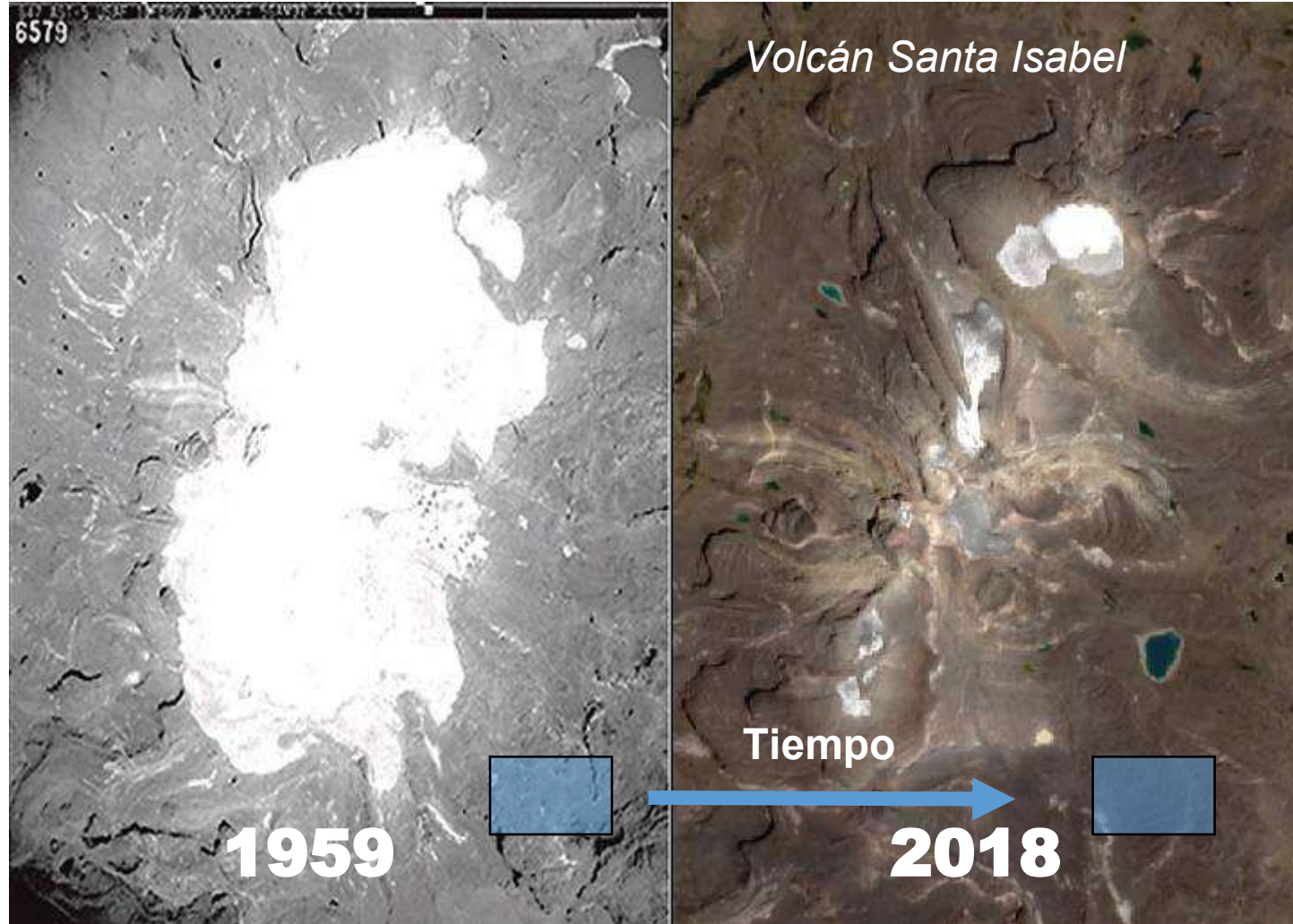
substitución del espacio por el tiempo, requiere replicación extensa



Enfoques de estudio

2. Enfoque diacrónico :

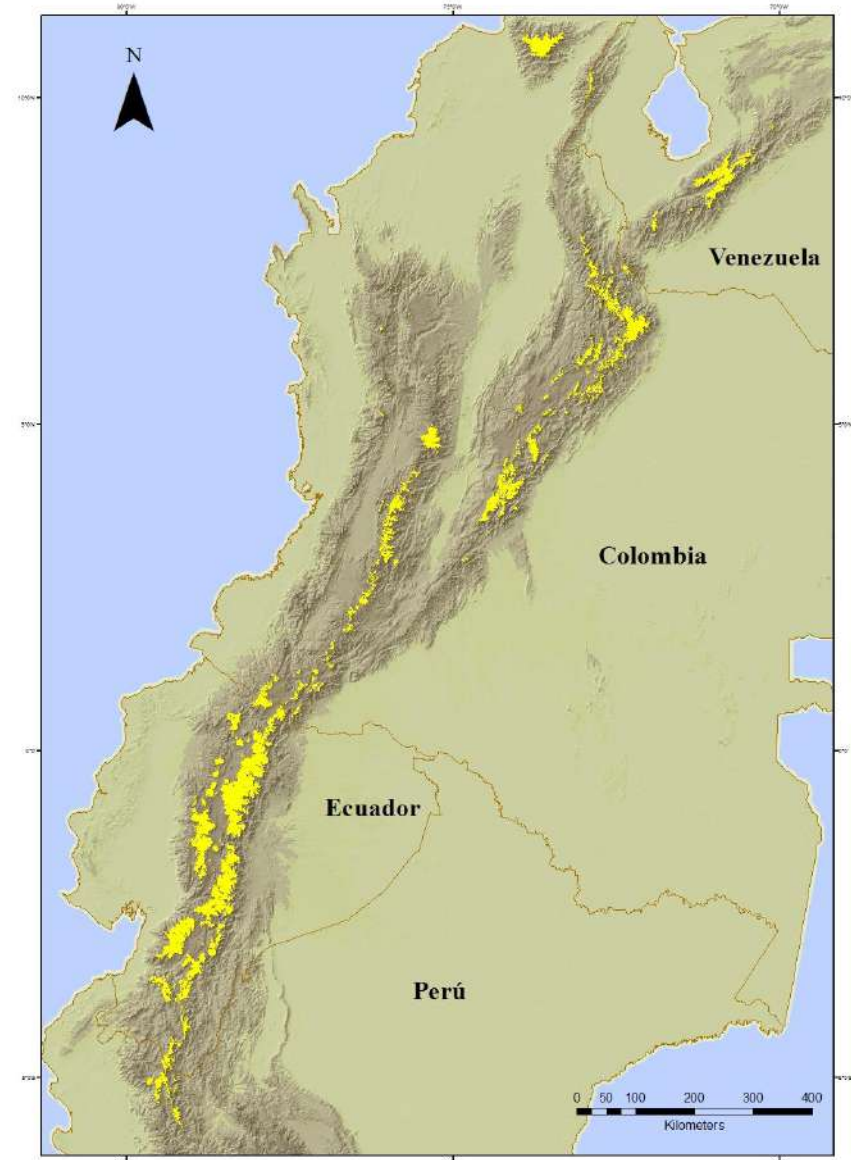
Monitoreo de largo plazo en parcelas o sitios permanentes (requiere tiempo!)



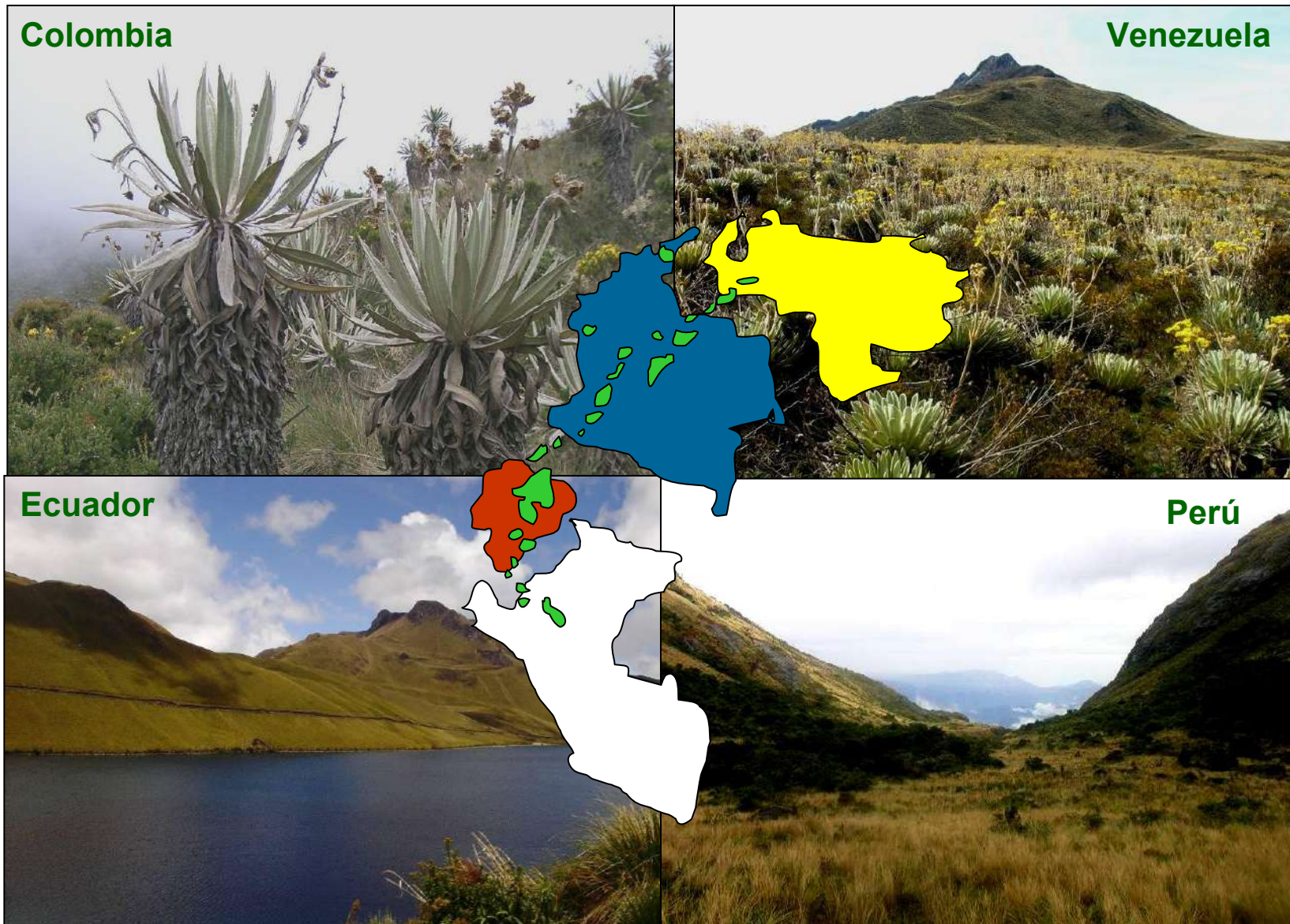
1er Movimiento

Los Páramos de los Andes del Norte

- **El trópico frío:** ecosistemas de pajonales y arbustales entre el límite de los bosques y los glaciares (dónde ocurren) en los Andes tropicales del norte (parches pequeños en Panamá y Costa Rica)
- **Distribución insular:** 2115 km desde los 11° N en Santa Marta a 8° S en el norte del Perú
- **Localizada en el hotspot No. 1 de plantas a nivel global:** niveles excepcionales de biodiversidad y endemismo (>50%)
- **Proveen servicios ecosistémicos clave:** regulación de la disponibilidad de agua limpia para poblaciones rurales y urbanas (p. ej. Bogotá, Quito), acumulación de C, belleza escénica



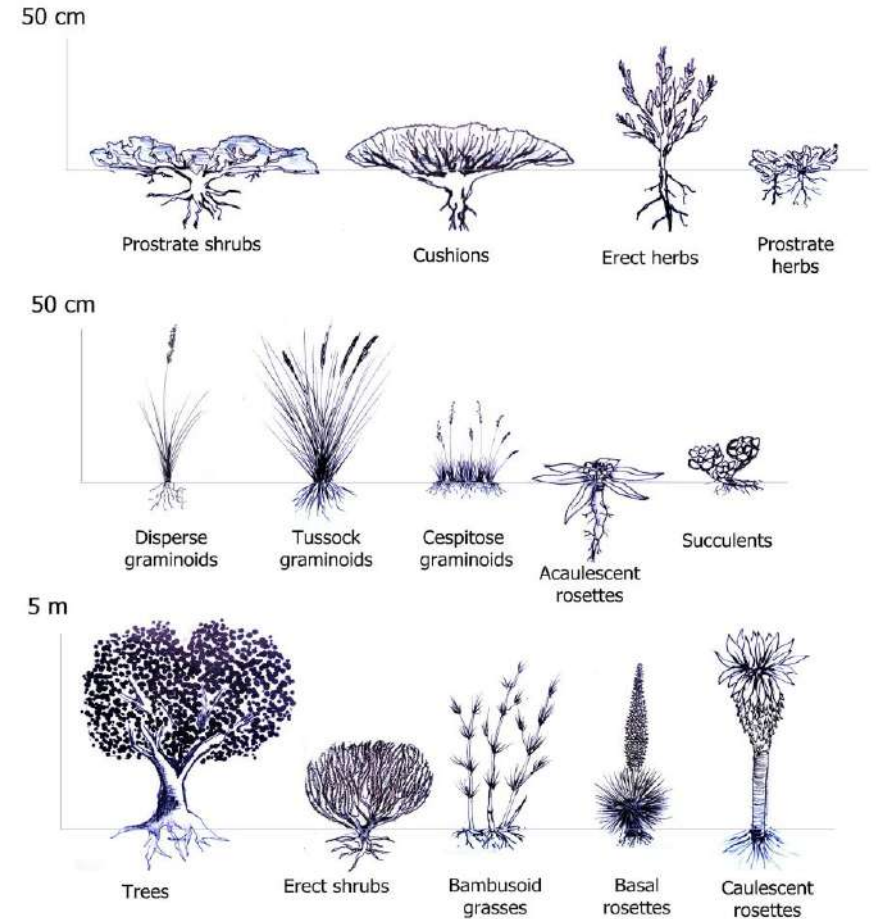
Diversidad entre latitudes



Diversidad de ecosistemas



Diversidad de formas de vida

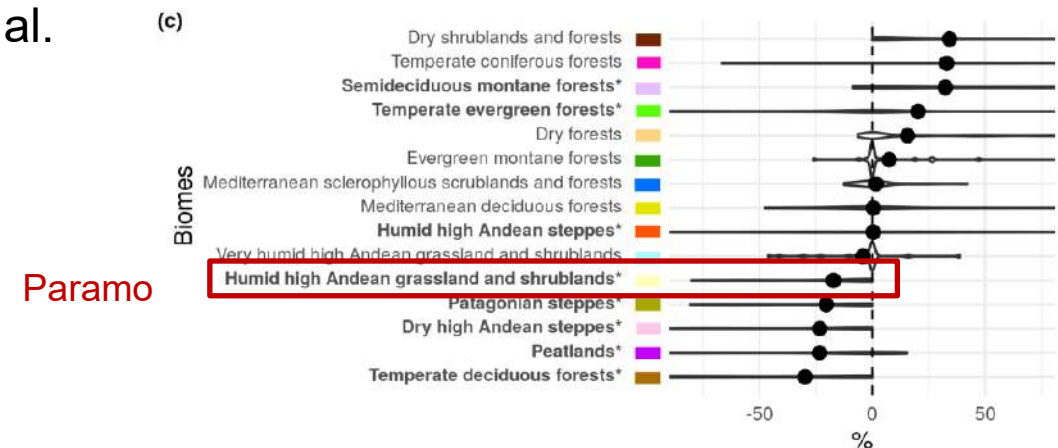
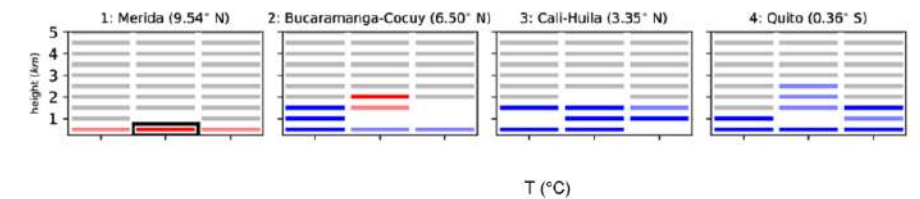
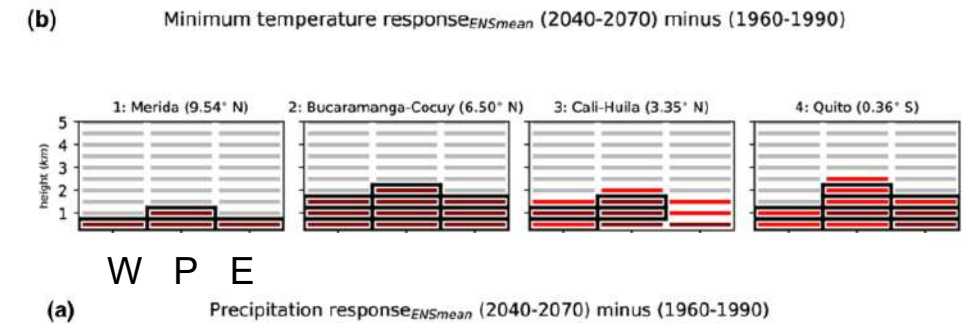


Llambí et al. (en prensa).

2do Movimiento. Impacto del cambio climático en los páramos

Basado en: Cavieres, L., Llambí, L.D., Anthelme, F., Hofstede, R., Arroyo, MTK. 2025. **High-Andean vegetation under environmental change: a continental synthesis.** *Annual Review of Environment and Resources*.

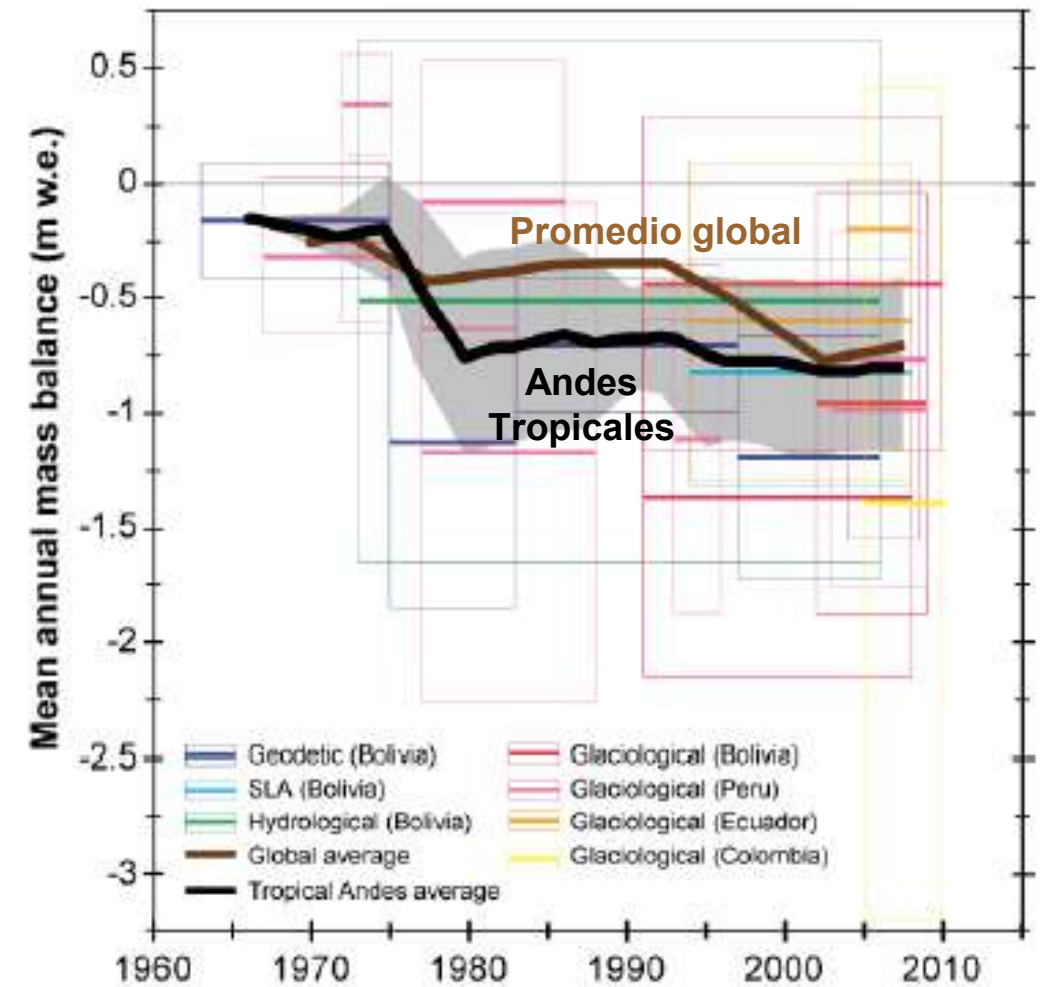
- **Aumentos observados marcados de temperatura y cambios complejos en precipitación** (alta influencia de El Niño)
- **Calentamiento dependiente de la elevación:** + 0.2 - 0.4 °C por década sobre los 4000 m
- **Modelos predicen aumentos consistentes de temperatura** (hasta 4-5°C bajo el RCP8.5°) y patrones variables de precipitación
- **Reducción predicha en el área del nicho climático** de los páramos de -17% (2040-2070, RCP8.5, ver Tovar et al. 2022)



Tovar et al. (2022)

Impacto en los Glaciares: Andes Tropicales

- **Balances de masa de los glaciares tropicales** son en general **negativos** y superan en velocidad el promedio global de retroceso
- **Desaparición completa de varios glaciares** bajo los 5000 m

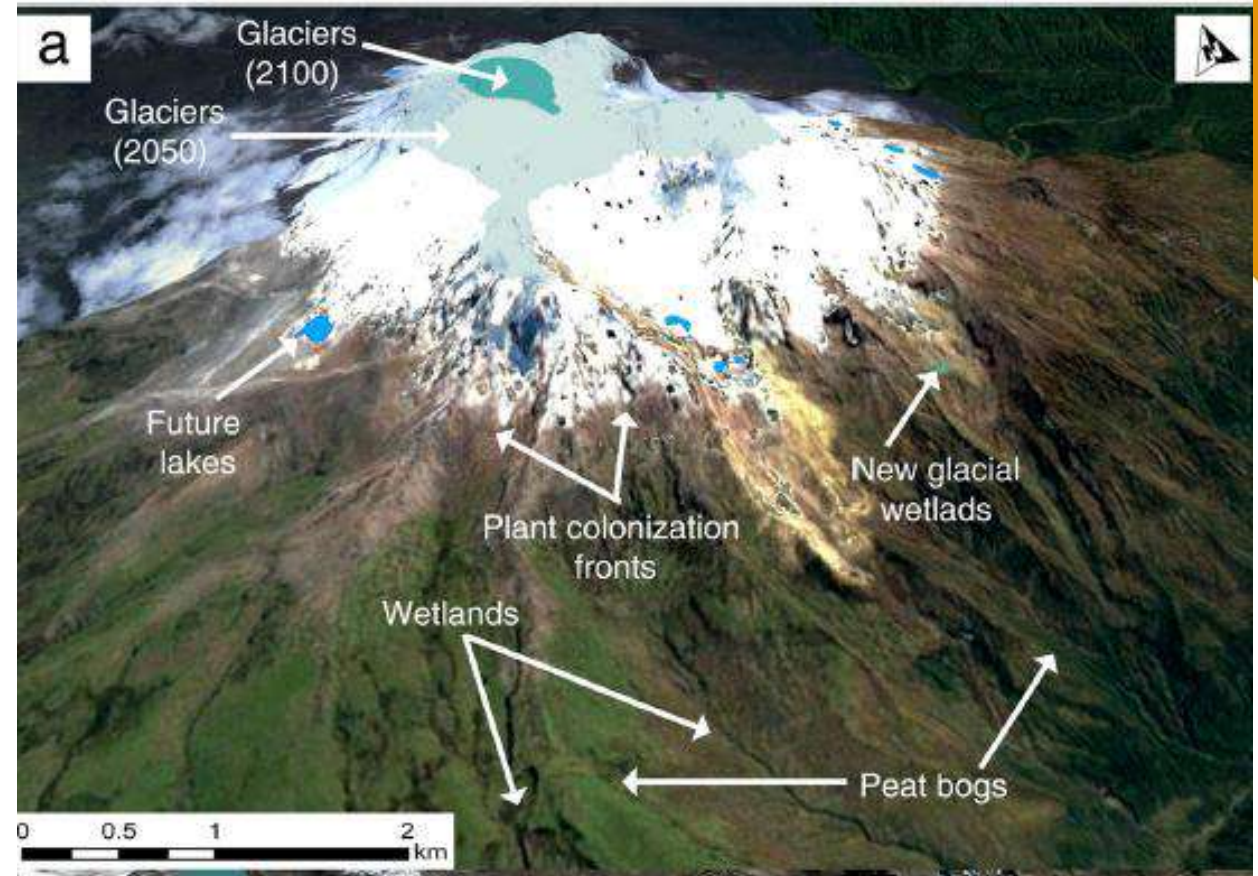


Ravatel et al. 2013, 2017

Cambios Proyectados 2100

Volcán Antisana (Ecuador):

- ✓ Pérdida de área glaciaria predicha: 96-98%
 - ✓ 10 nuevas lagunas proyectadas
 - ✓ Efecto muy limitado en los caudales
- Cambios en la ecología de ríos y lagunas
 - Frentes de colonización vegetal: surgimiento de nuevos ecosistemas!

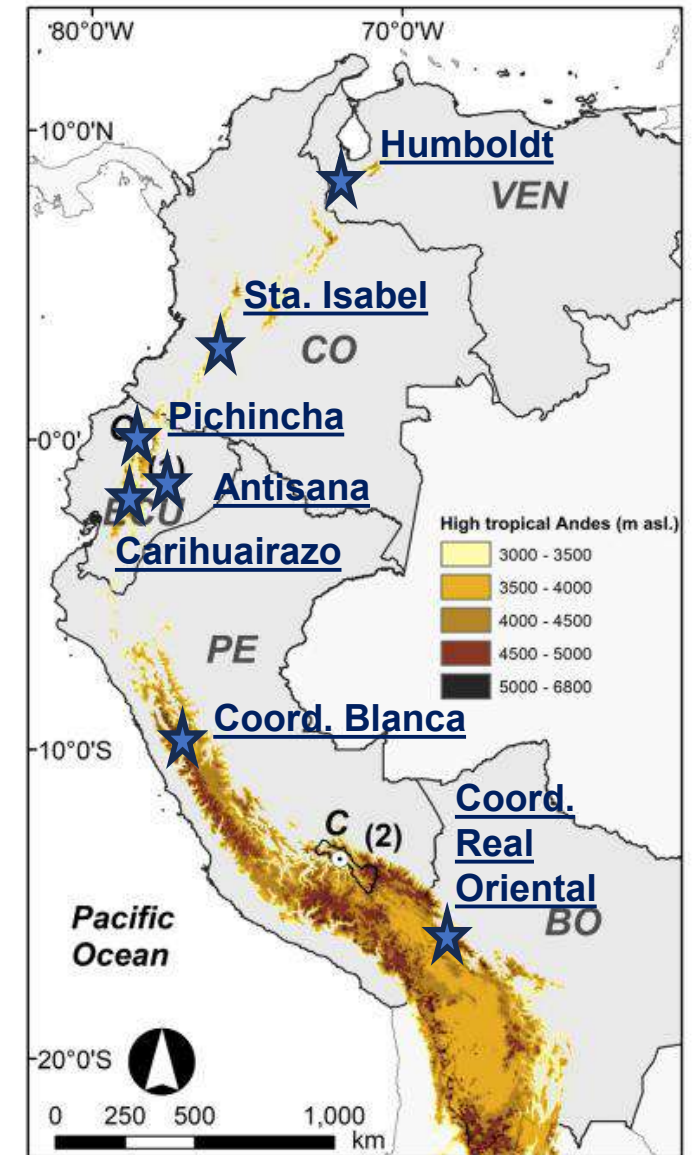


Cuesta, Llambí et al. (2019)

Sucesión primaria: estudios en cronosecuencias

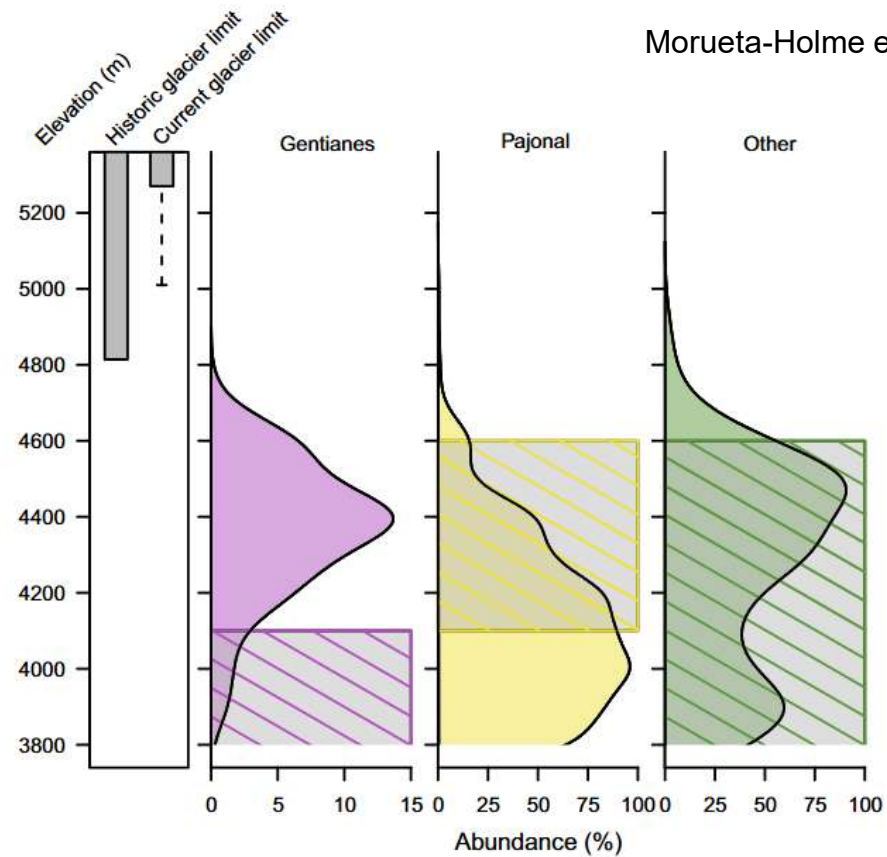
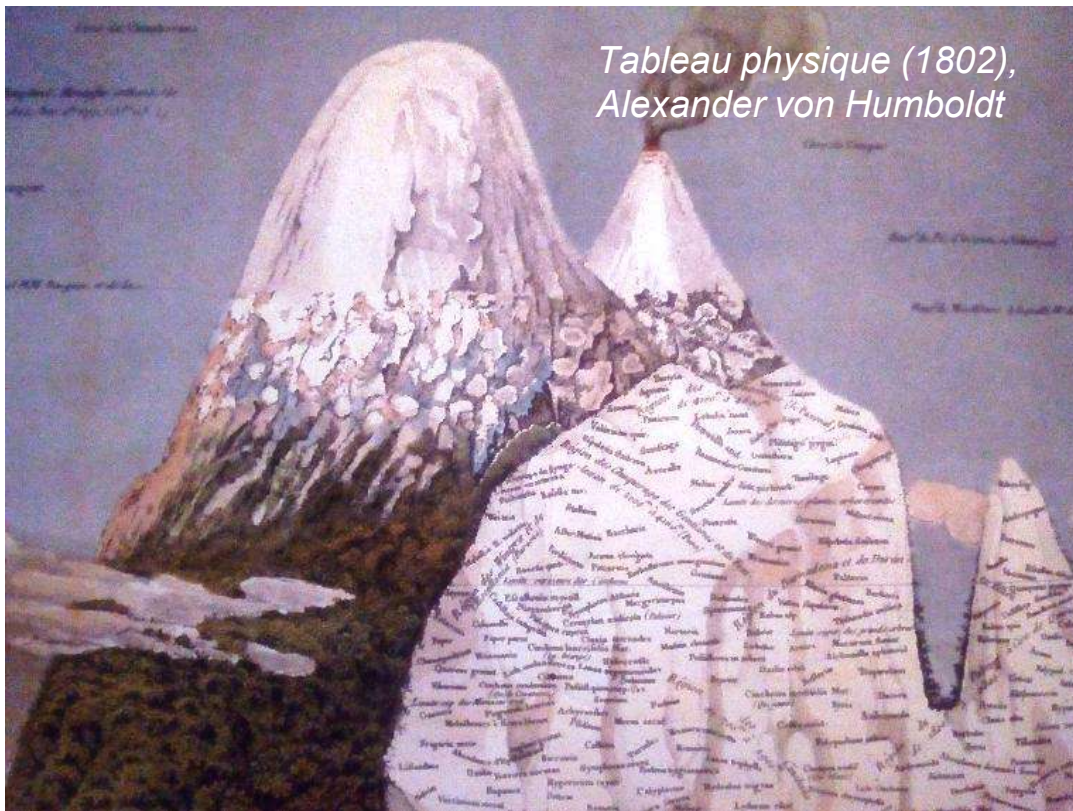
- Varios estudios recientes de sucesión primaria en los Andes Tropicales
- **Sucesión primaria es lenta** durante las primeras décadas luego del retroceso glaciar, con la acumulación de una posible deuda climática.
- Vinculado con **limitaciones** para **las interacciones bióticas positivas**:
 - a) **Dispersión de semillas**: dominancia temprana de hierbas dispersadas por viento, y ausencia de dispersión zoocórica
 - b) **Facilitación**: mediada por **costras biológicas**
 - c) **Polinización**: dominancia temprana de hierbas polinizadas por viento

Llambí et al. (2021), Anthelme et al. (2021, 2022), Suárez et al. (2015), Rosero et al. (2022)



Estudios de largo plazo

- Ⓢ Comparación de distribución actual de plantas vs. **observaciones históricas** en Chimborazo, Antisana y Cotopaxi por Humboldt, Bonpland y Whymper hace **más de 200 años**.
- Ⓢ **Desplazamiento vertical** de más de **250 m** en la distribución promedio de especies de plantas.
Morueta-Holme et al. (2015) and Moret et al. (2019, 2021)



Monitoreo: Red GLORIA-Andes

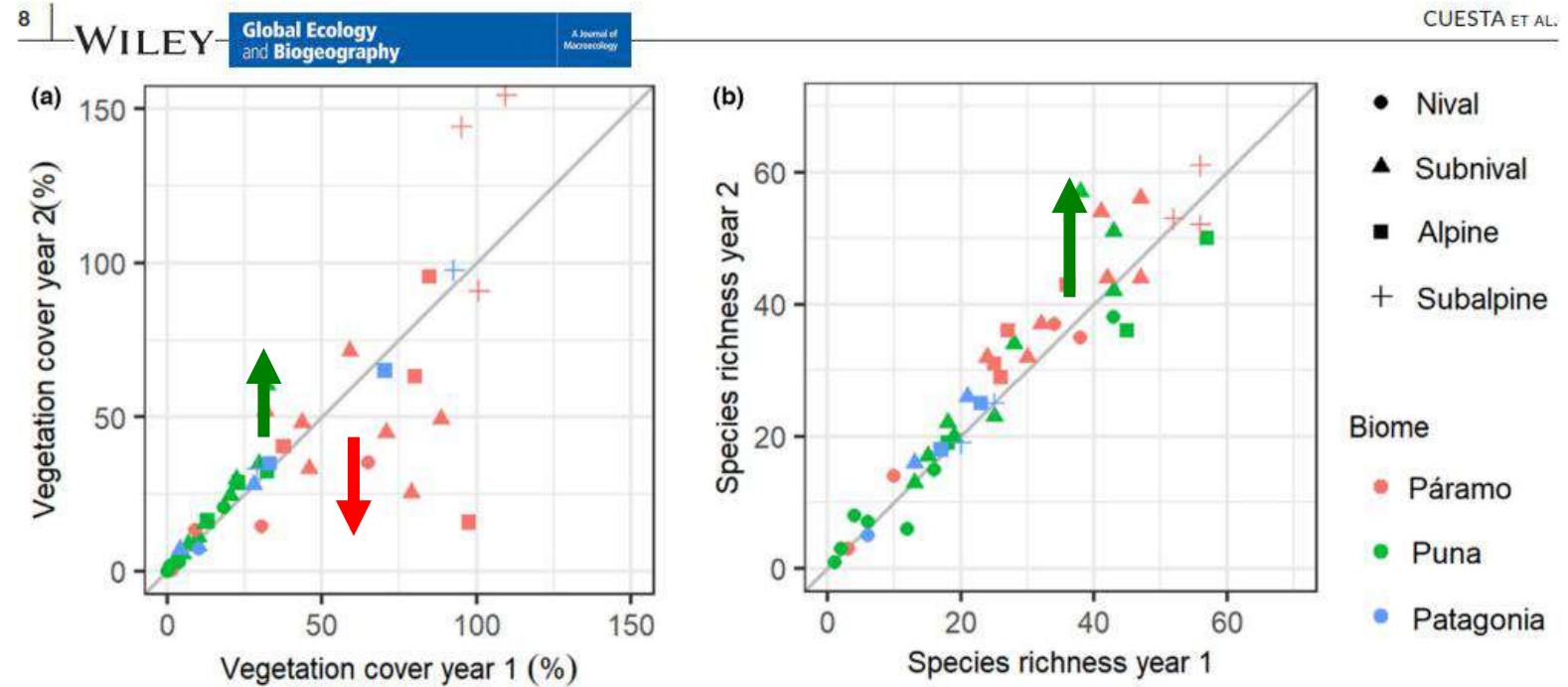


- ✓ **17 sitios:** 70 cumbres, 883 parcelas permanentes
- ✓ **Rango latitudinal + 6800 km:** Venezuela a Tierra del Fuego
- ✓ **Rango de elevación:** 600 a 5500 m
- ✓ **272 sensores** de T° a – 10 cm en el suelo
- ✓ **~ 1000 spp.** de plantas vasculares monitoreadas



Cambios observados en la vegetación (5-9 años)

- **Aumento** general en la **riqueza de especies de plantas**: más marcado en los **páramos**.
- Cambios heterogéneos en la **cobertura de plantas**: predomina reducción en los **páramos altos**
- **Aumento** en la abundancia relativa de especies de **óptimos térmicos altos** y **reducción** en importancia de especies endémicas del páramo



Cuesta et al. (2023)

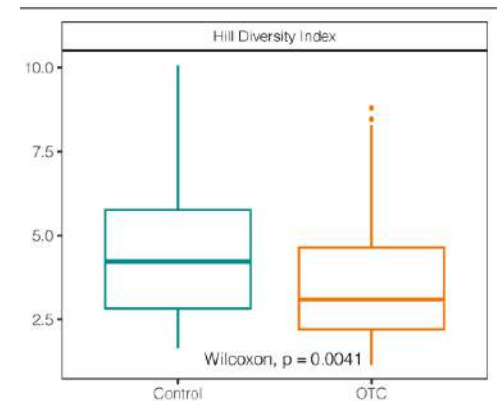
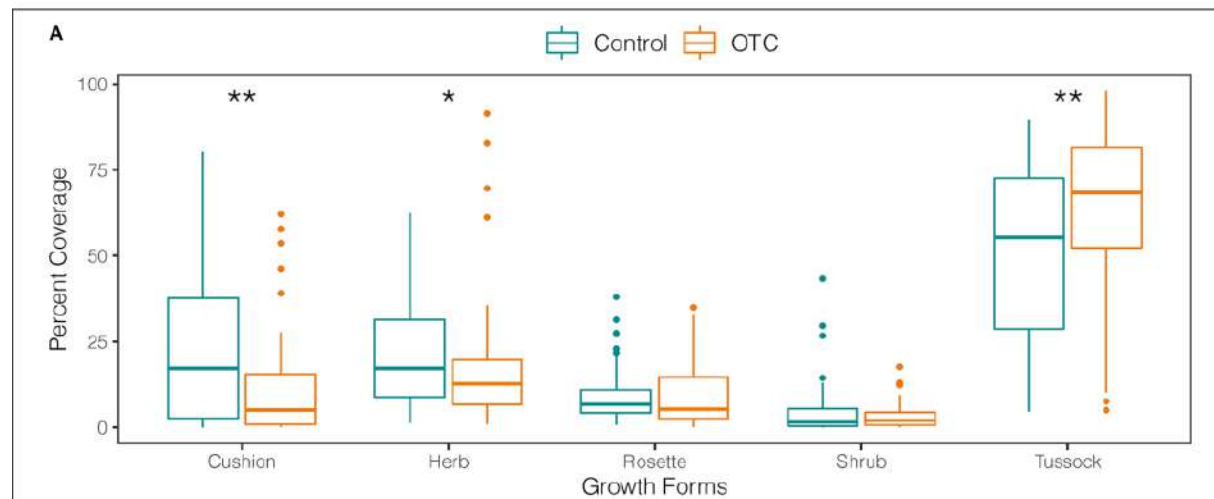
Estudios experimentales

Experimentos con Cámaras de Calentamiento Abiertas (OTCs)

- Estudios en **4 sitios en Colombia y Ecuador** (Lasso et al. 2021, Duchicela et al. 2021, Solarte et al. 2022).
- Duchicela et al. (2021): **aumento en la biomasa aérea**, asociado a **aumento de importancia de gramíneas en macolla y reducción de cojines y hierbas**, resulta en reducción en **diversidad de plantas**.
- Solarte et al. (2022): **capacidad fotosintética** de plantas del páramo **aumenta**, pero solo en área no perturbadas



Pichincha, Ecuador.



Duchicela et al. (2021)

La Huella Humana

Las actividades humanas dejan su huella en la naturaleza, sobre todo debido a cambios en el uso del suelo, impactando particularmente los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. En algunas zonas de la cordillera, han ocasionado:

- Pérdida de cobertura original de ecosistemas de alta montaña de hasta -1.5%/año entre 1987-2007.
- Deforestación de los bosques montanos de los Andes tropicales de -1.55%/año entre 1980 y 2010.

El Índice de Huella humana mide las presiones humanas sobre el territorio combinando datos sobre 8 factores de impacto:

- Áreas construidas
- Densidad poblacional
- Infraestructura eléctrica
- Áreas cultivadas
- Áreas pastoreadas
- Carreteras
- Vías de trenes
- Aguas navegables

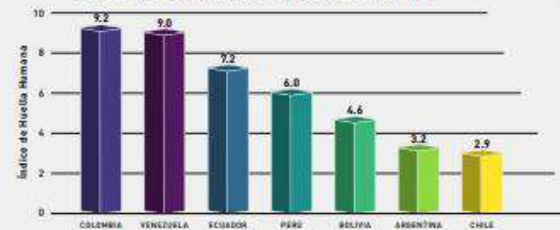
El impacto es distinto en cada uno de los grandes paisajes andinos:

- Índices de Huella Humana llegan a ser más altos en los bosques.
- Los ecosistemas de alta montaña tienen más cantidad de área impactada.

ÍNDICE DE HUELLA HUMANA POR PAISAJE ANDINO (2009)



ÍNDICE DE LA HUELLA HUMANA PROMEDIO EN LA REGIÓN ANDINA DE CADA PAÍS (2009)



ÍNDICE DE HUELLA HUMANA EN LOS PAÍSES ANDINOS

De acuerdo al Índice de Huella Humana, existe un mayor impacto humano en las regiones andinas de Venezuela y Colombia, mientras que las regiones andinas de Chile y Argentina son las menos impactadas.

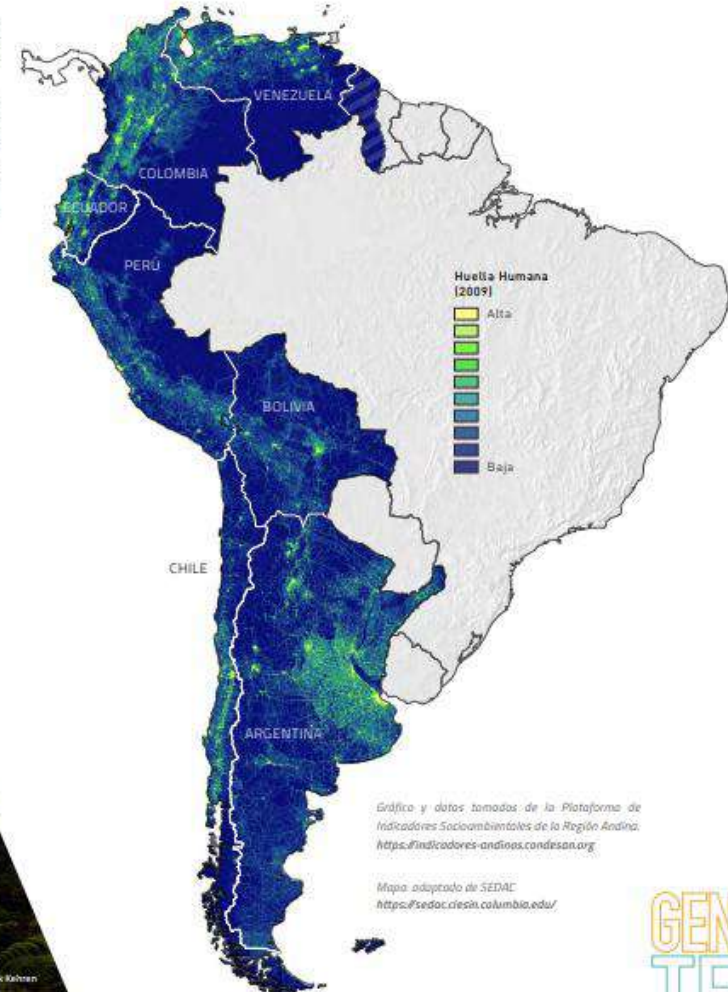


Gráfico y datos tomados de la Plataforma de Indicadores Socioambientales de la Región Andina: <https://indicadores-andinos.condesan.org>

Mapa adaptado de SEDAC: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/>

Transformaciones antrópicas

Período precolombino

Uso ceremonial y ocupación temporal

Período incáico (c. 100 años)

Pastoreo de camélidos – Papas nativas

Período Colonial

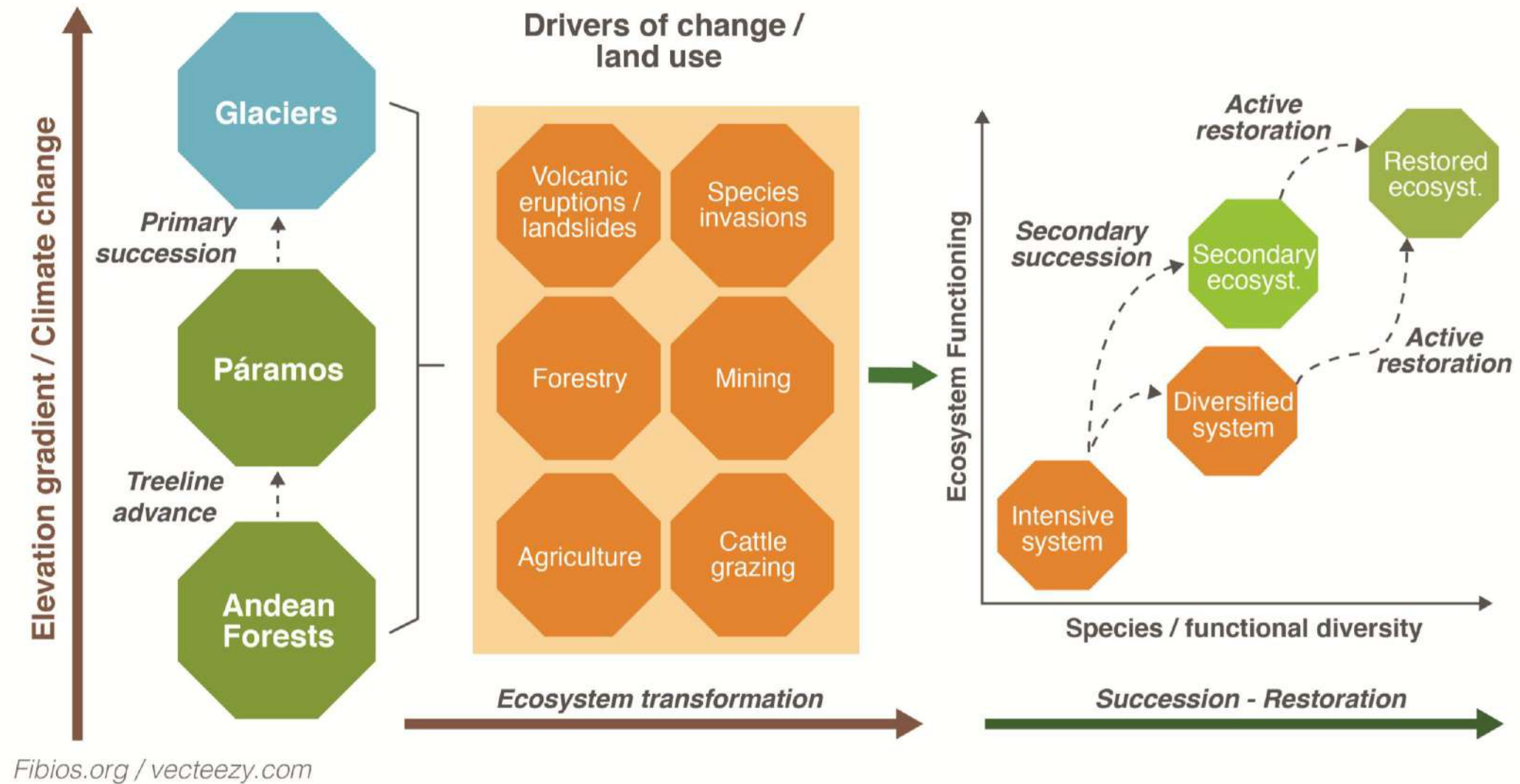
Pastoreo de ovinos y bovinos, cereales (e.g. trigo)

Período Moderno

Usos extensivos e intensivos y expansión de la frontera agrícola



Gradientes: uso del suelo + cambio climático



Uso del suelo: pastoreo por bovinos

- **Modifica la estructura de la vegetación**, generalmente resulta en **baja biomasa aérea** y menores cocientes de biomasa aérea/subterránea
- **Aumento de especies rastreras, estoloníferas y exóticas**
- **A intensidades altas a moderadas**: reduce la diversidad de plantas y aumenta la compactación del suelo
- **Pastoreo y fuegos**: reduce cobertura y diversidad de plantas, aumenta la erosión y reduce el carbono en el suelo



(b) Bovines in páramo					
Grazing intensity	Soil organic carbon/ matter (Avellaneda-Torres et al., 2018)	Above-ground biomass (Molinillo & Monasterio, 1997; Vargas et al., 2002; Sarmiento, 2006)	Species richness (Alzerreca et al., 2006; Sarmiento, 2006)	Graminoid percent cover (Molinillo & Monasterio, 1997; Sarmiento, 2006; Cardenas-Arevalo & Vargas-Rios, 2008)	Bulk density (Hofstede et al., 2002; Cierjacks et al., 2008; Valero, 2010)
None	N/A	Lowest level	Lowest level	Lowest level	N/A
Low	Lowest level	↓	↓	↑	Lowest level
Medium	↓	↓	↑	↓	↑
High	↓	↓	↓	↓	↑

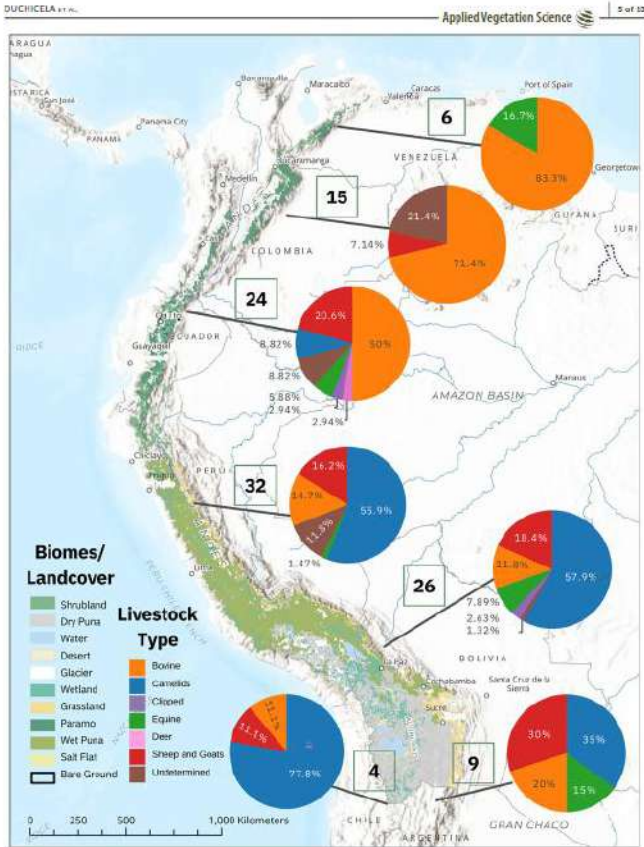


FIGURE 1 Map of the target region analyzed in our systematic review, the tropical Andes. The main biomes/land-cover types were based on grouped phytoregions following Josse et al. (2009). Pie charts show the proportion of studies related to each livestock type in the studies within each country within the tropical Andes.

Uso del suelo: minería

- Minería a gran escala y artesanal de oro, cobre y carbón
- Poca investigación sobre los impactos ambientales
- Indicación clara de **destrucción local de la vegetación y los suelos**
- **Contaminación de los recursos hídricos y problemas de salud asociados**
- **Conflictividad social** que complejiza la gobernanza de los páramos

E.g. Ortega-Ramirez and Moreno (2024)



Rabanal, Colombia

Especies exóticas invasoras

- **42 especies exóticas** reportadas en el páramo (Fuentes-Lillo et al. 2023)
- Importancia de **exóticas templadas aumenta con la elevación**: e.g. *Taraxacum officinale*, *Rumex acetosella* (Sandoya et al. 2017)
- **Asociada a disturbios**: p. ej. carreteras, cultivos, pastoreo
- **Plantas nodrizas nativas pueden favorecer a las exóticas**: el lado oscuro de la facilitación.
- **Problema creciente de expansión de *Ulex europaeus* en Colombia y Ecuador**
- **Plantaciones de eucaliptus y pinos** (e.g. *Pinus patula*): impactos negativos reportados sobre la vegetación, suelos, regulación hídrica y beneficios económicos muy limitados



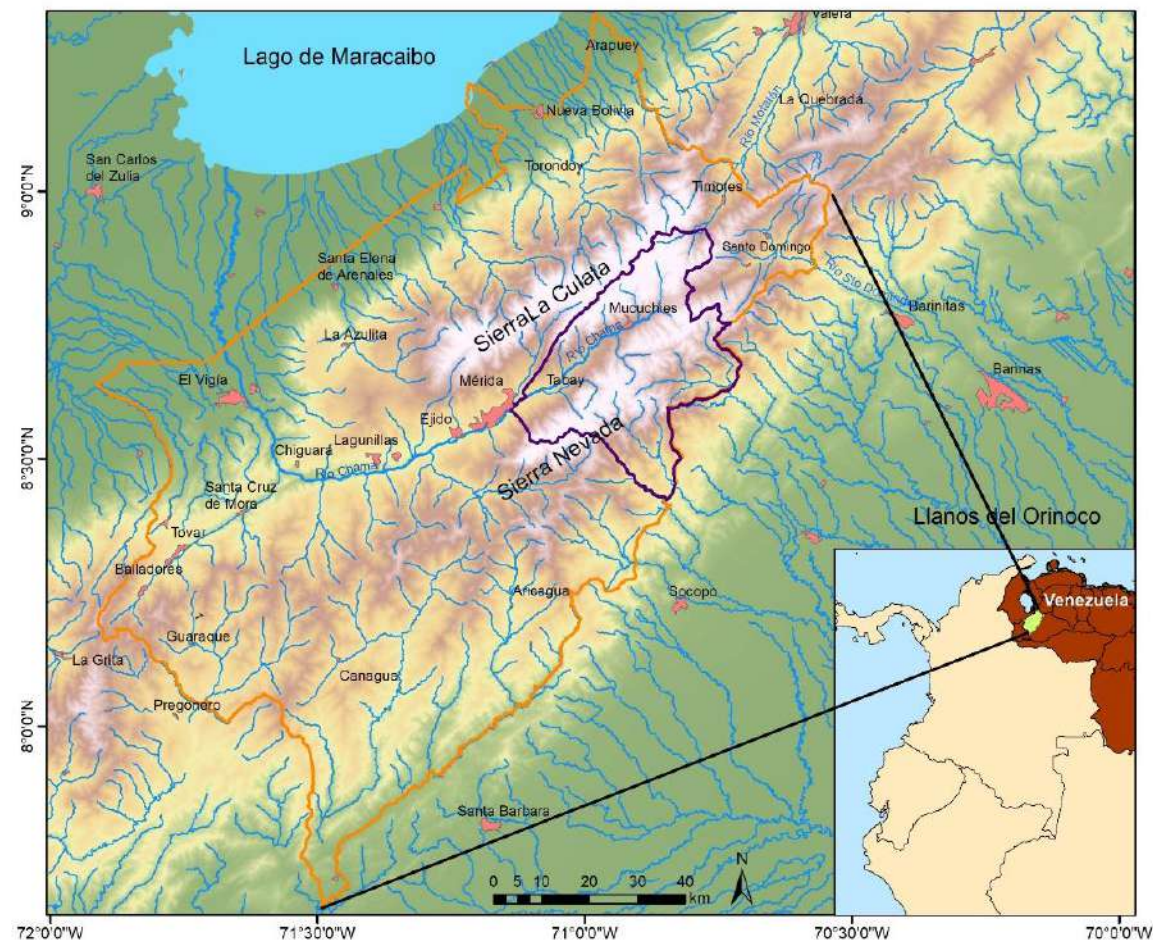
3er Movimiento. Dinámica de la Vegetación en la alta montaña en Venezuela



3er Movimiento. Dinámica de la Vegetación, Venezuela

Observatorio socioecológico Mérida

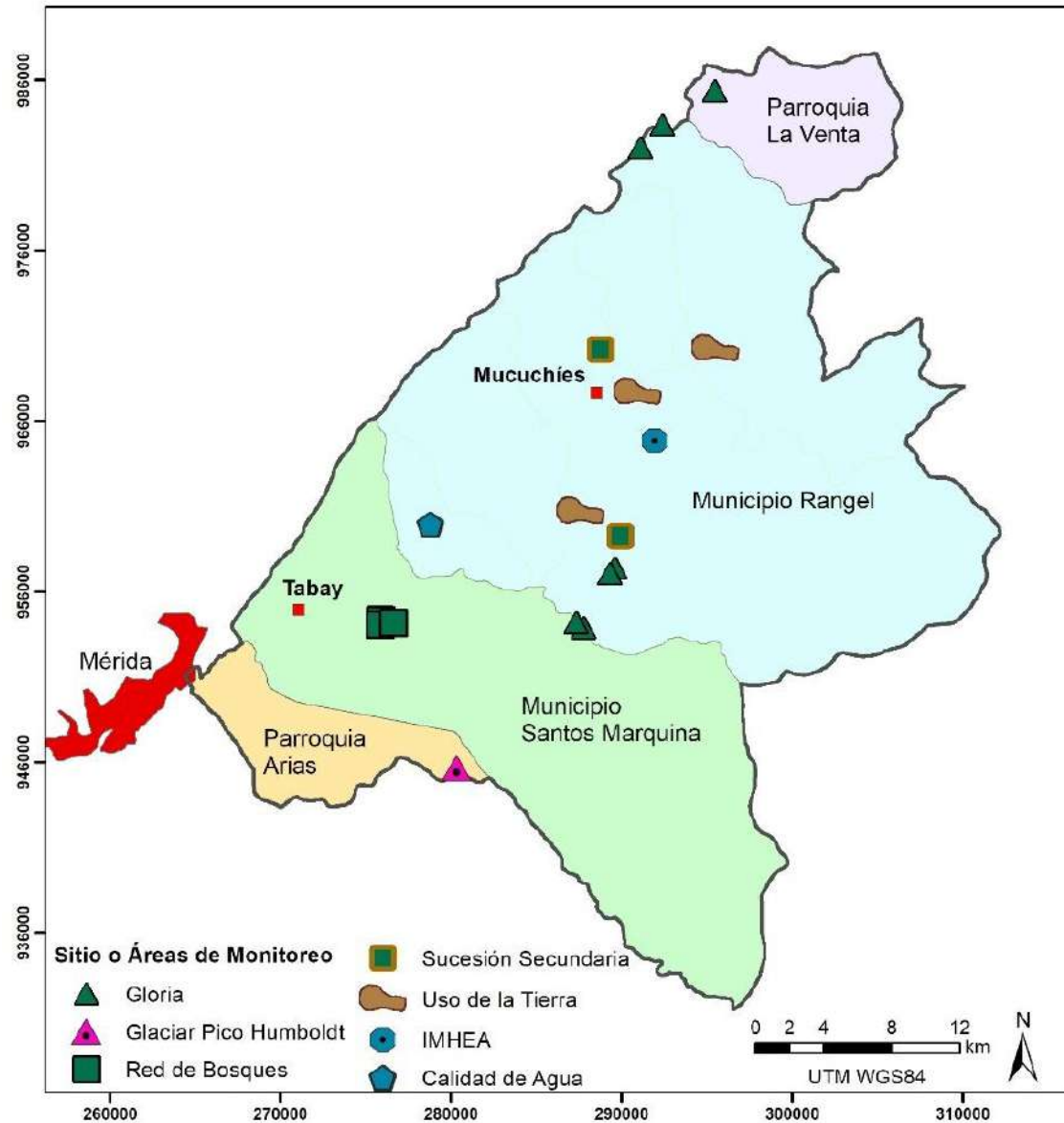
Investigación ecológica desde los años 1960s (Llambí and Rada 2019)



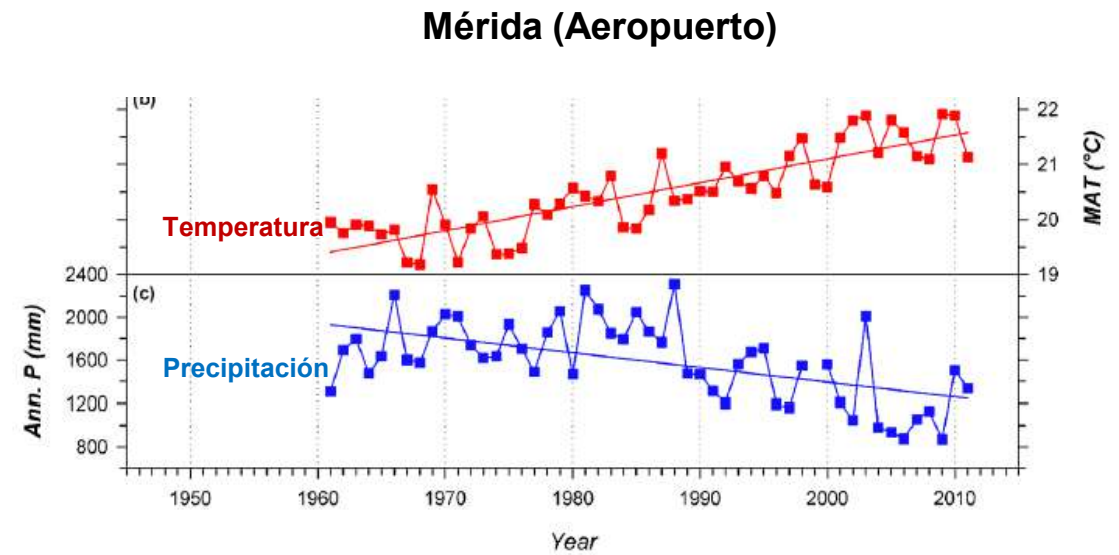
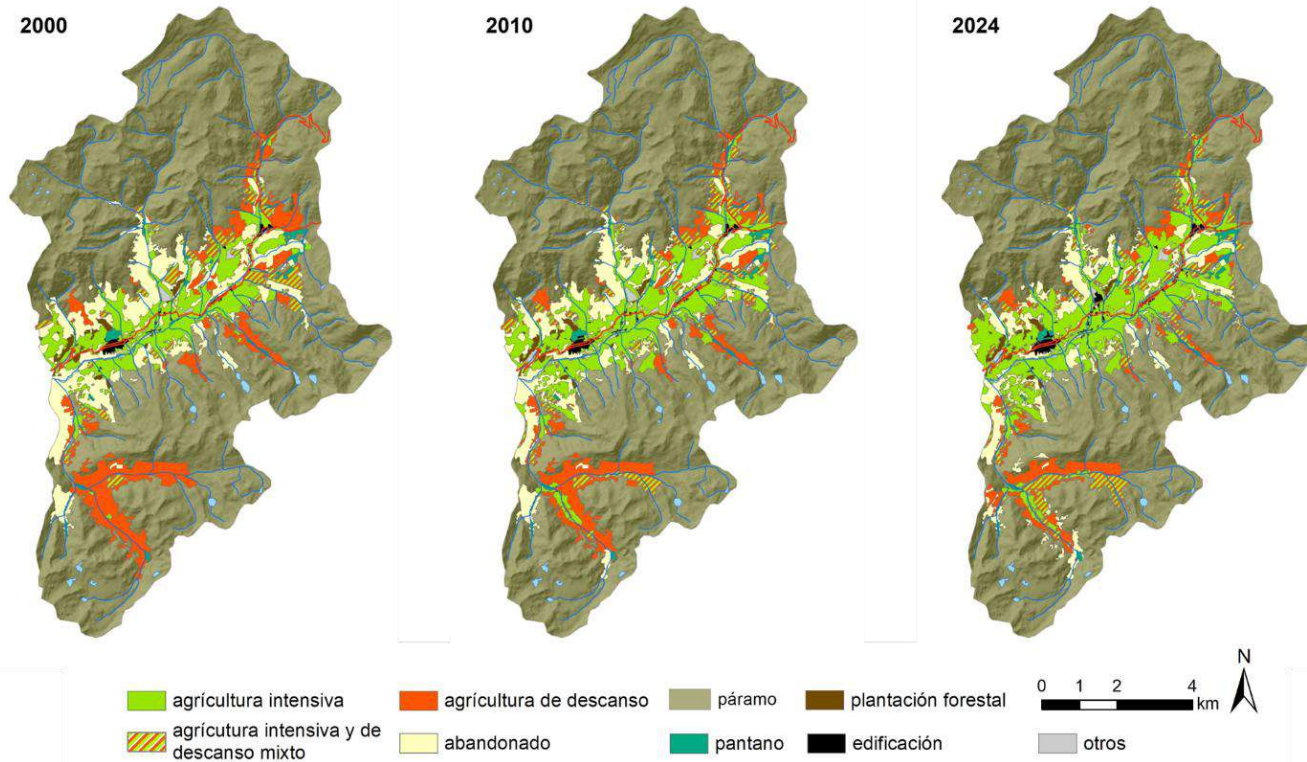
El Observatorio Nodal
de Mérida
Cuenca Alta del
Río Chama



OS Mérida

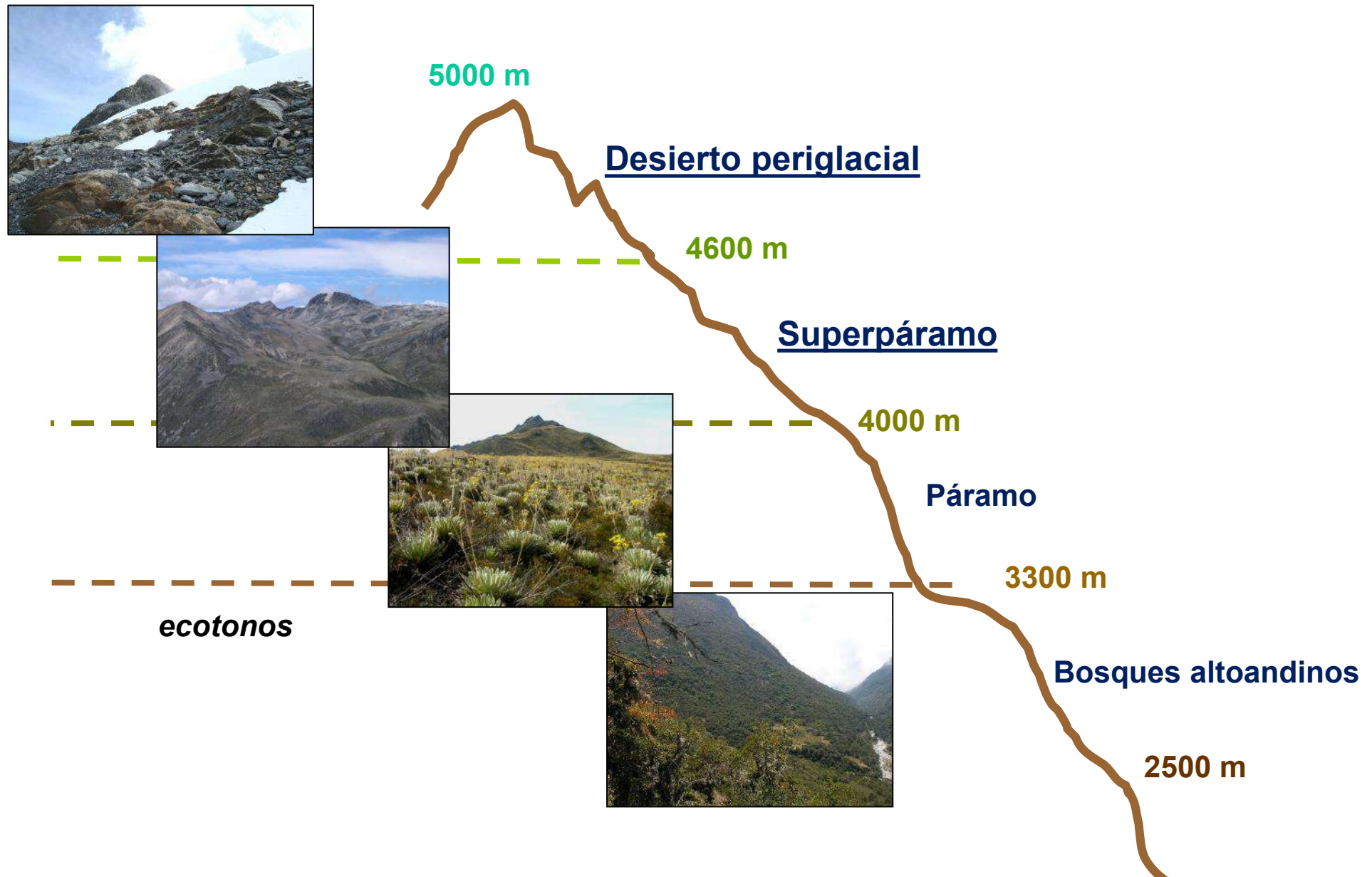


Cambio climático y uso del suelo



Braun y Bezada (2013)

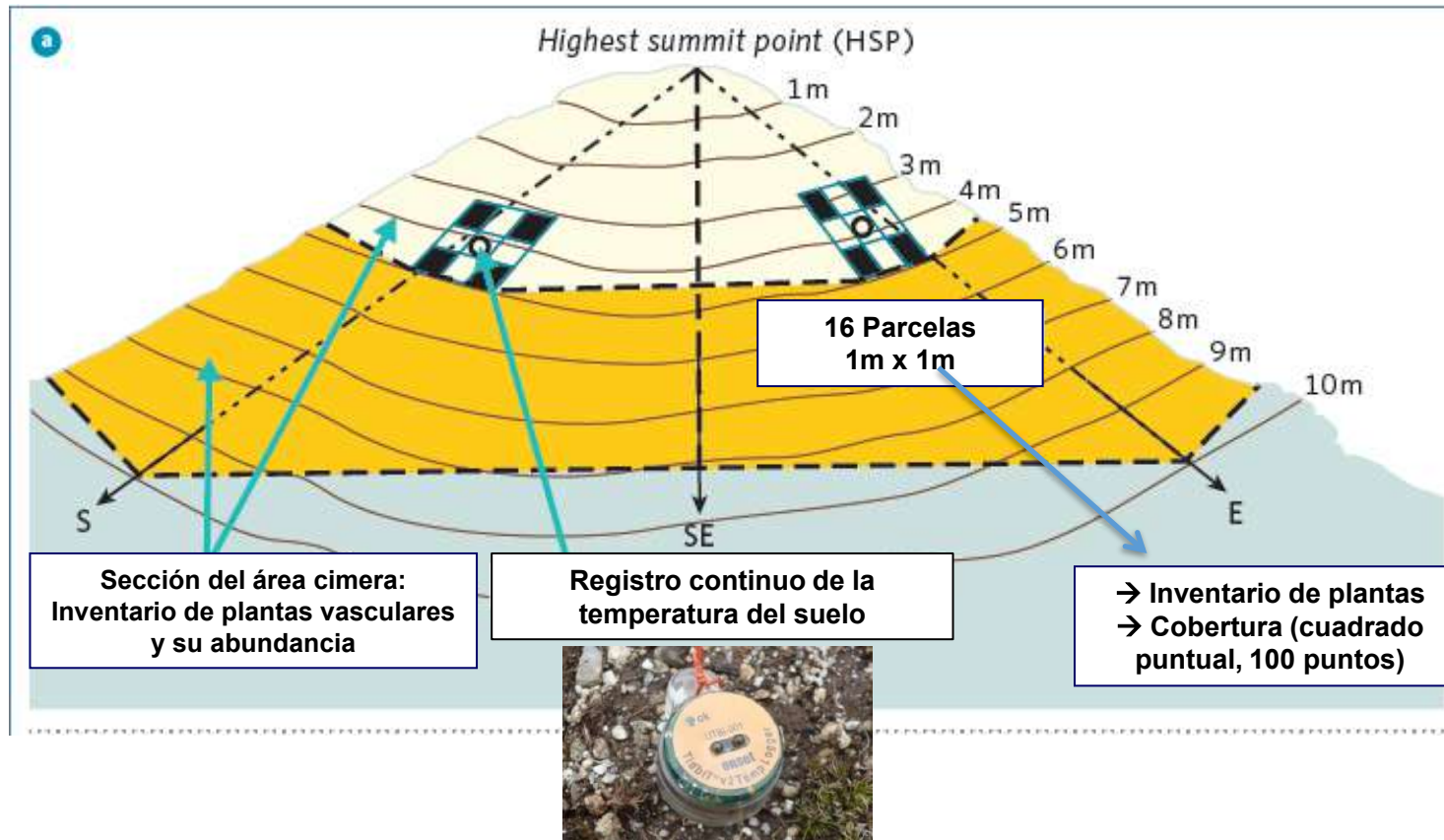
Pisos ecológicos...



Superpáramo: GLORIA-Andes (2012-2025)

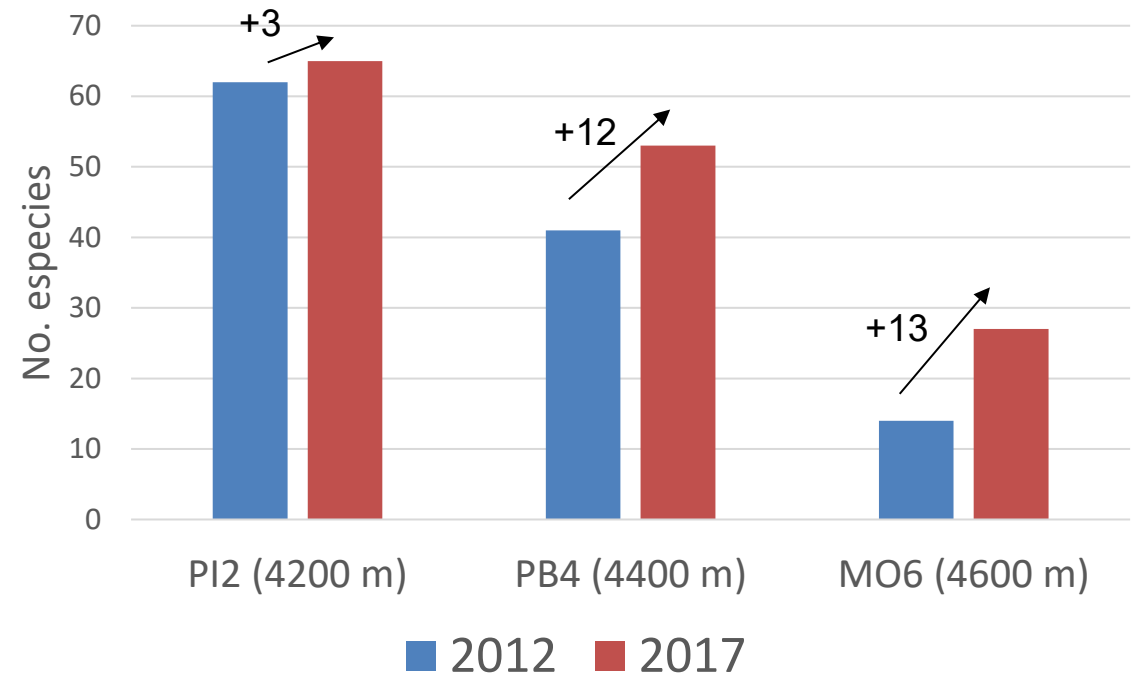
Cumbres entre los 3800 and 4600 m de elevación:

@ *Dos sitios*: La Culata (2012) and Gavidia (2014)

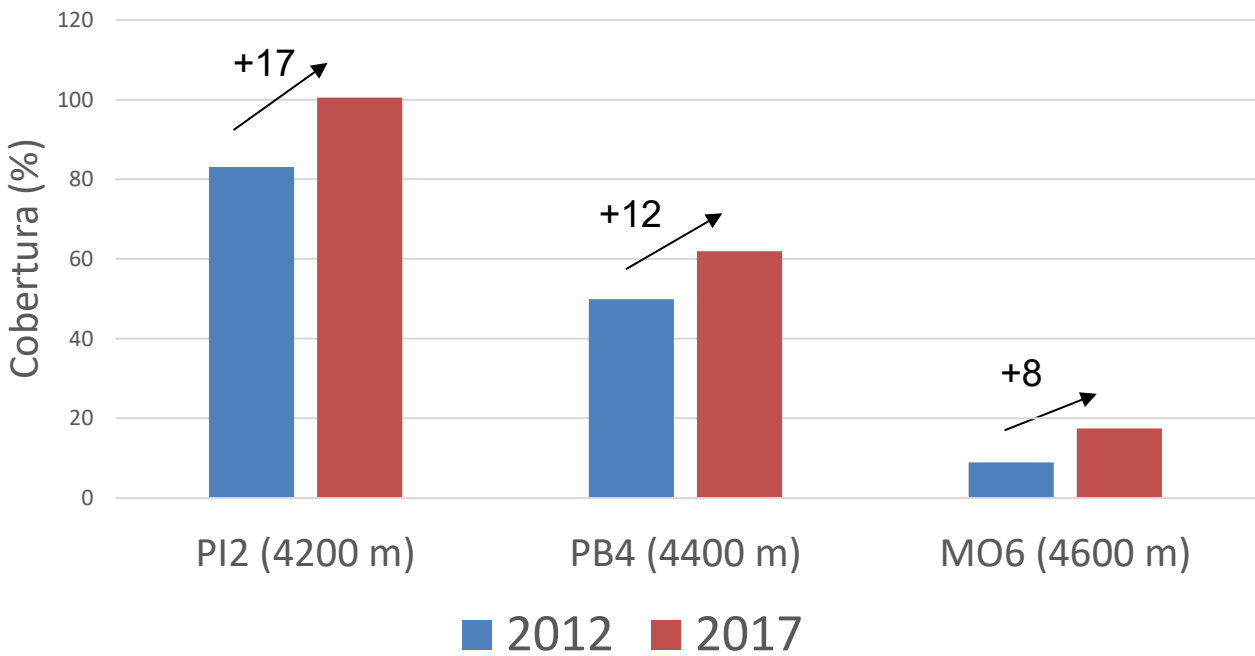


Riqueza y cobertura de plantas: La Culata (4200-4600 m)

Riqueza de especies



Cobertura de Plantas



@ *Rumex acetosella* (exótica invasora) se ha convertido en una **especie dominante** en el **superpáramo** (sobre los 4000 m elevación)



Cumbre monitoreo (GLORIA)
4400 m

Colonizó la cumbre de 4600 m en 2023

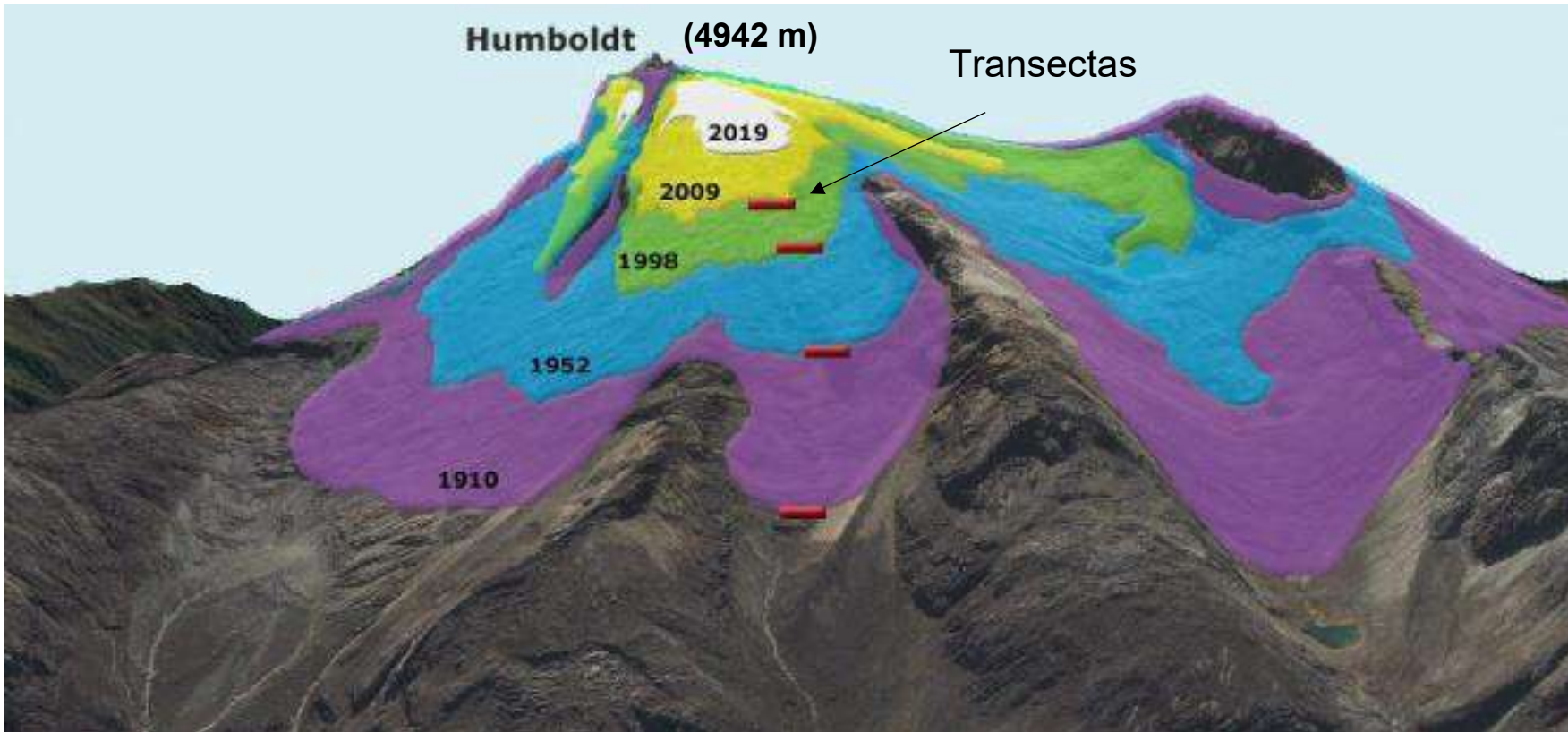


Desierto periglacial:

Sucesión PRIMARIA

Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar

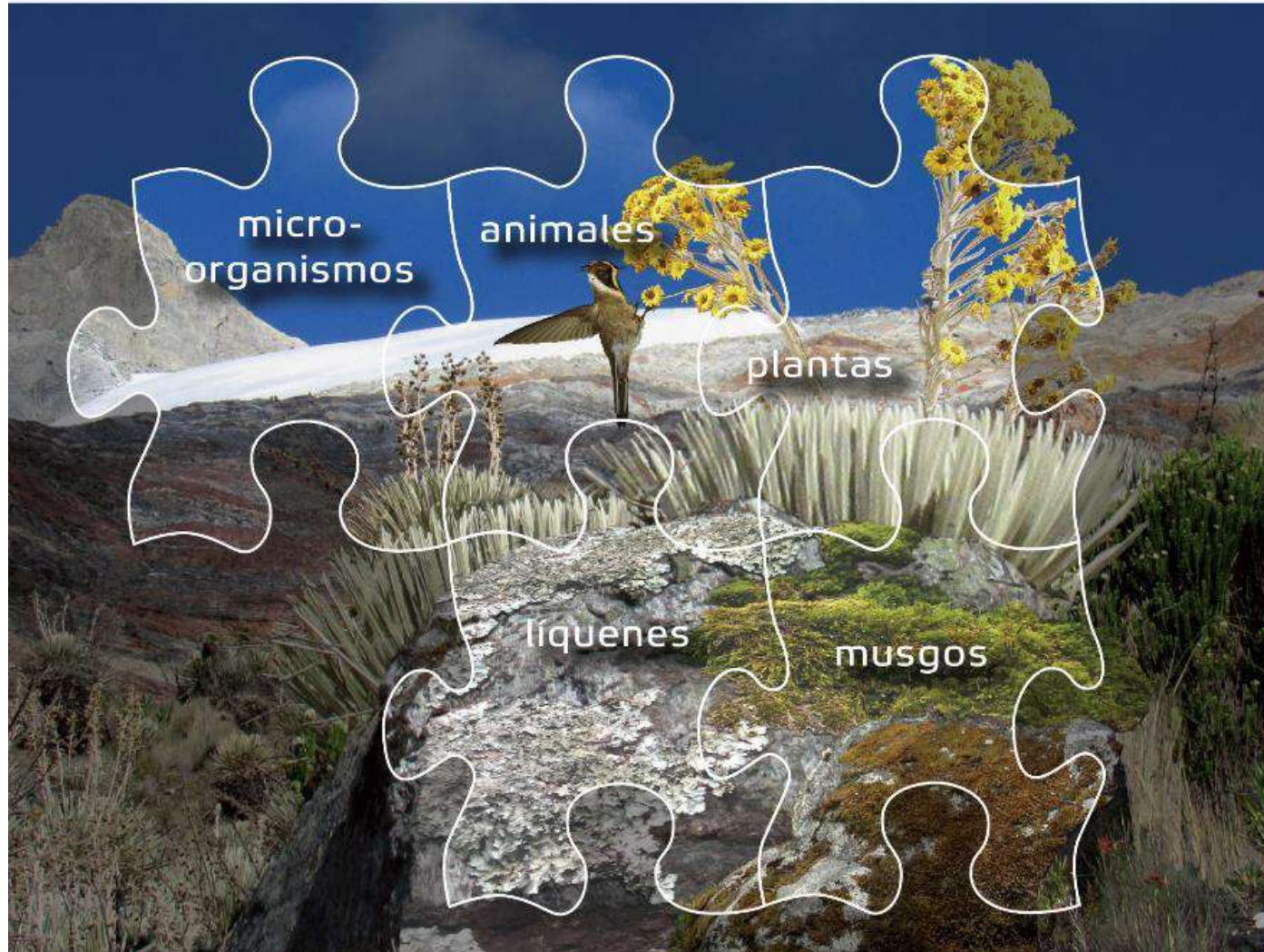
- Enfoque sincrónico (Ramírez et al. 2020, Llambí et al. 2021):
- Cronosequencia en zonas de retroceso del último glaciar de Venezuela



Sucesión **PRIMARIA**

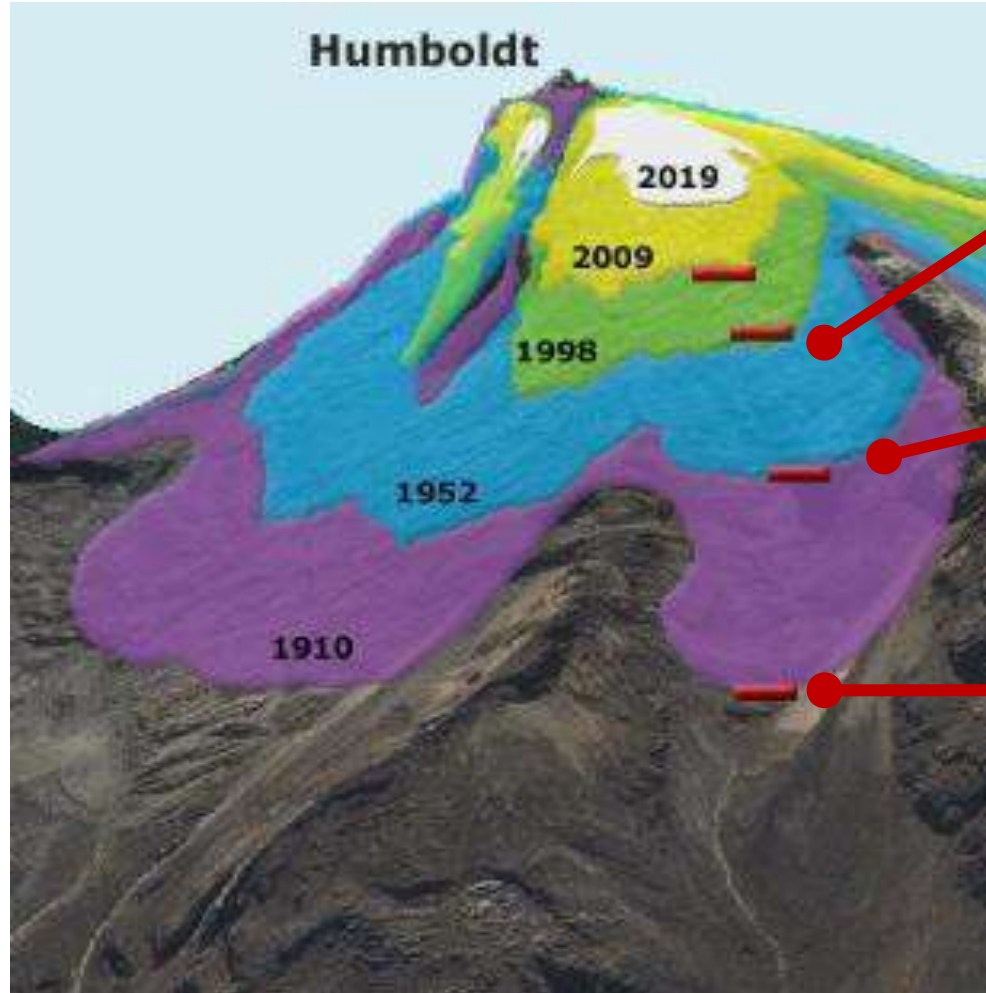
Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar

EL ROMPECABEZAS DE LAS INTERACCIONES
DURANTE LA SUCESIÓN PRIMARIA



Desierto periglacial:

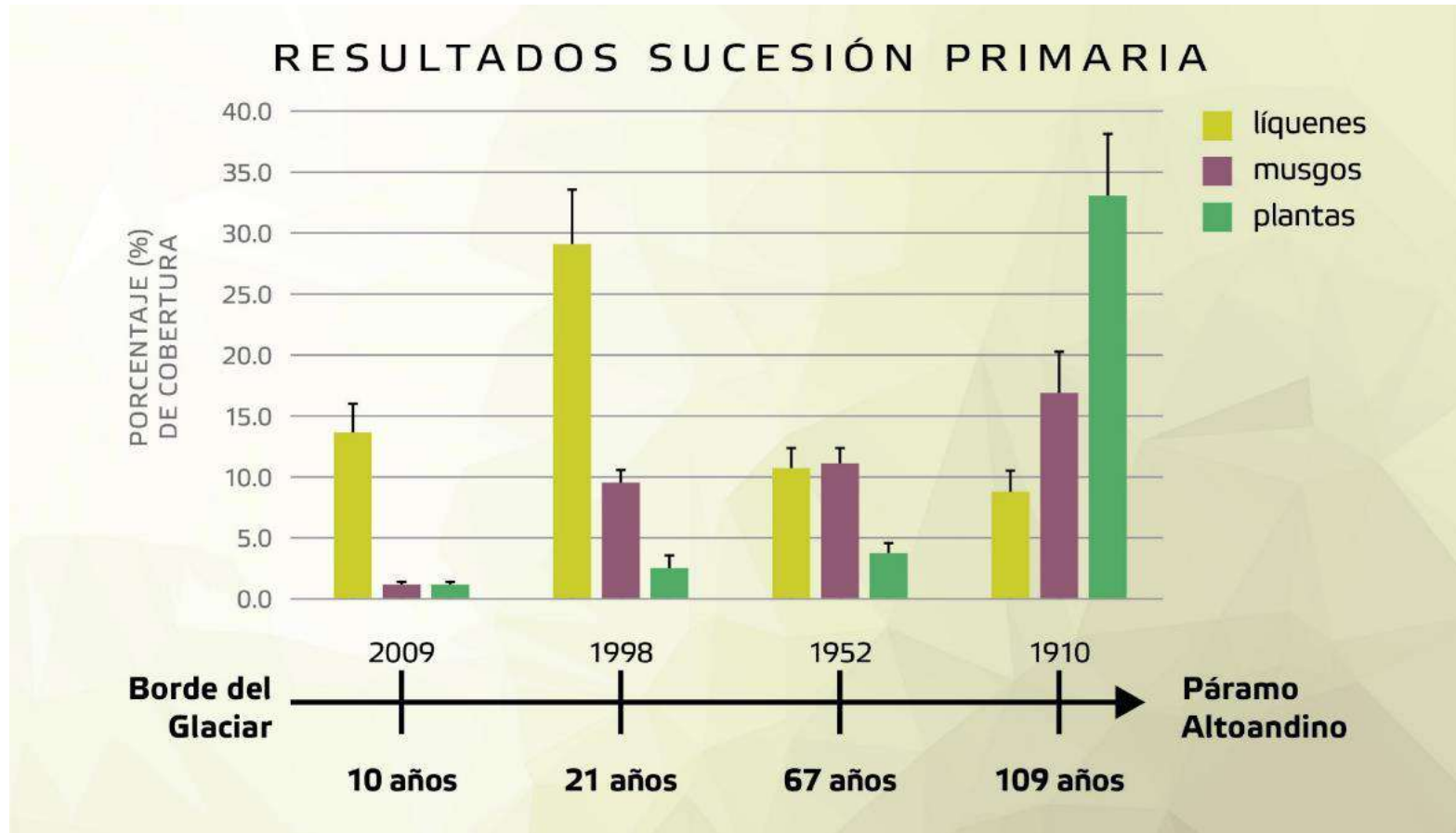
Sucesión PRIMARIA



Desierto periglacial:

Sucesión PRIMARIA

Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar



Líquenes



Musgos



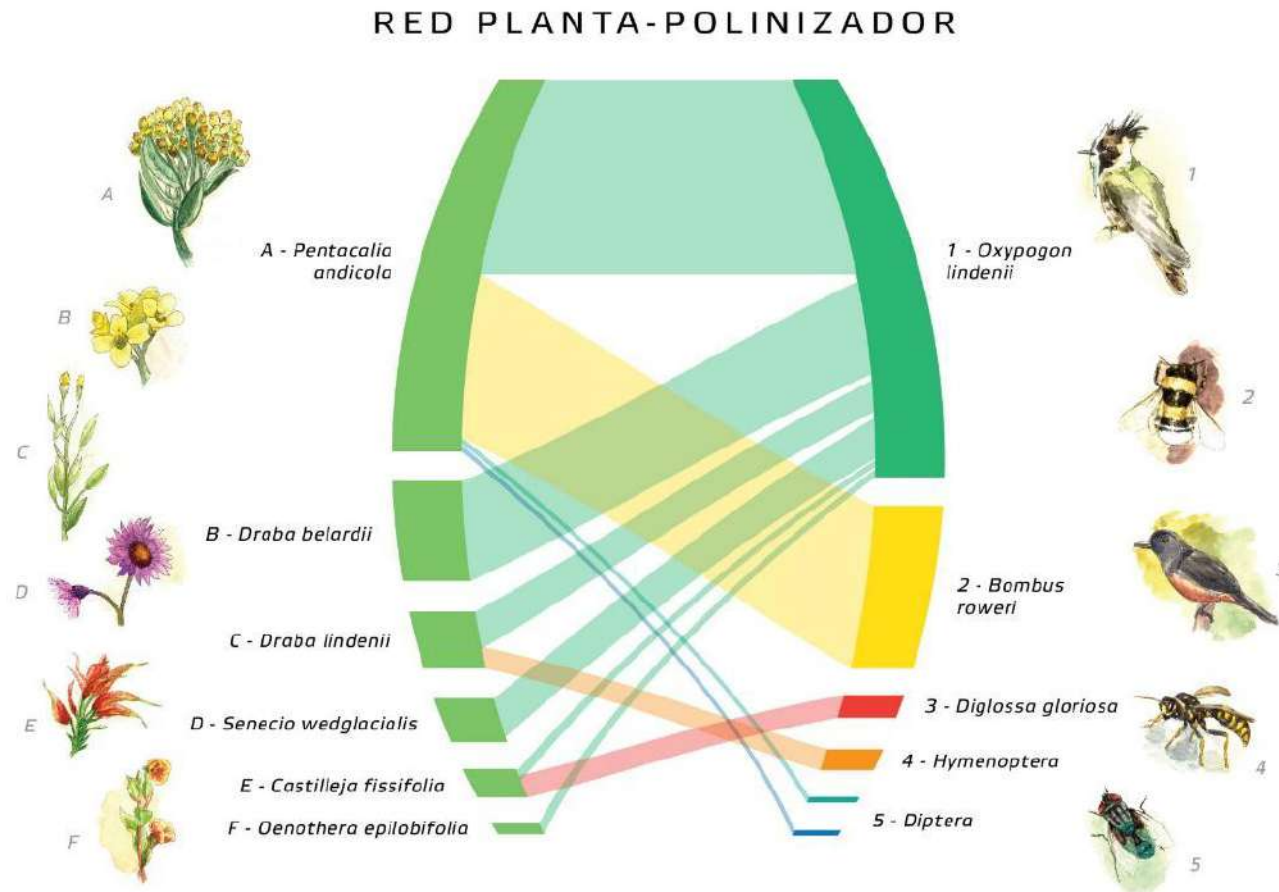
Plantas vasculares



Desierto periglacial:

Sucesión *PRIMARIA*

Redes muy simples luego de más de 100 años....



- Retroceso glaciar muy rápido pero respuesta muy lenta del ecosistema
- Potencial deuda climática (pérdida de especies)

Ahora si....Coda

- **Páramos son biomas únicos** con una **amplia diversidad de ecosistemas, especies e historias de uso** que proveen **servicios ecosistémicos clave**.
- **Investigación** en del impacto del cambio climático en los páramos ha combinado **modelización, monitoreo de largo plazo y estudios de cronosecuencias y experimentales**
- Tanto el **cambio climático como el uso humano** están transformando la **estructura de la vegetación, su diversidad y su dinámica**
- **Aumento de la riqueza de especies de plantas**, cambios heterogéneos en cobertura
- **Colonización de especies** de nichos térmicos altos, aumento de especies exóticas y reducción de importancia de especies endémicas
- **Sucesión primaria luego del retroceso glaciar es muy lenta**: potencial deuda climática
- **Cambios no ocurren en con la misma velocidad o dirección en diferentes regiones**: necesidad de fortalecer el monitoreo de largo plazo, la investigación comparativa y combinar enfoques de modelización, observacionales y experimentales, a lo largo de gradientes de elevación y transformación.

Gracias! ¿Preguntas?...

