



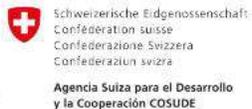
CONDESAN
Consortio para el Desarrollo Sostenible
de la Ecorregión Andina



Cambio Climático, Uso de la Tierra y Resiliencia de los Ecosistemas Andinos: un recorrido desde los bosques hasta los glaciares

Luis Daniel Llambí

luis.llambi@condesan.org



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Contenidos

- Conceptos clave en la dinámica de ecosistemas y la vegetación
- Enfoques de estudio: sincrónico vs. diacrónico
- Uso del suelo y cambio climático en los Andes
- Monitoreo de largo-plazo en los Andes
- Caso de estudio: recorrido desde los bosques hasta los glaciares en la Cordillera de Mérida

**“El tiempo es el más grande de todos los innovadores”
Francis Bacon (1625)**



Para entrar en calor...

“El levantamiento reciente de los Andes y los episodios glaciares durante el Pleistoceno produjo un nuevo tipo de ecología en Sur América: la ecología de la alta montaña tropical”.

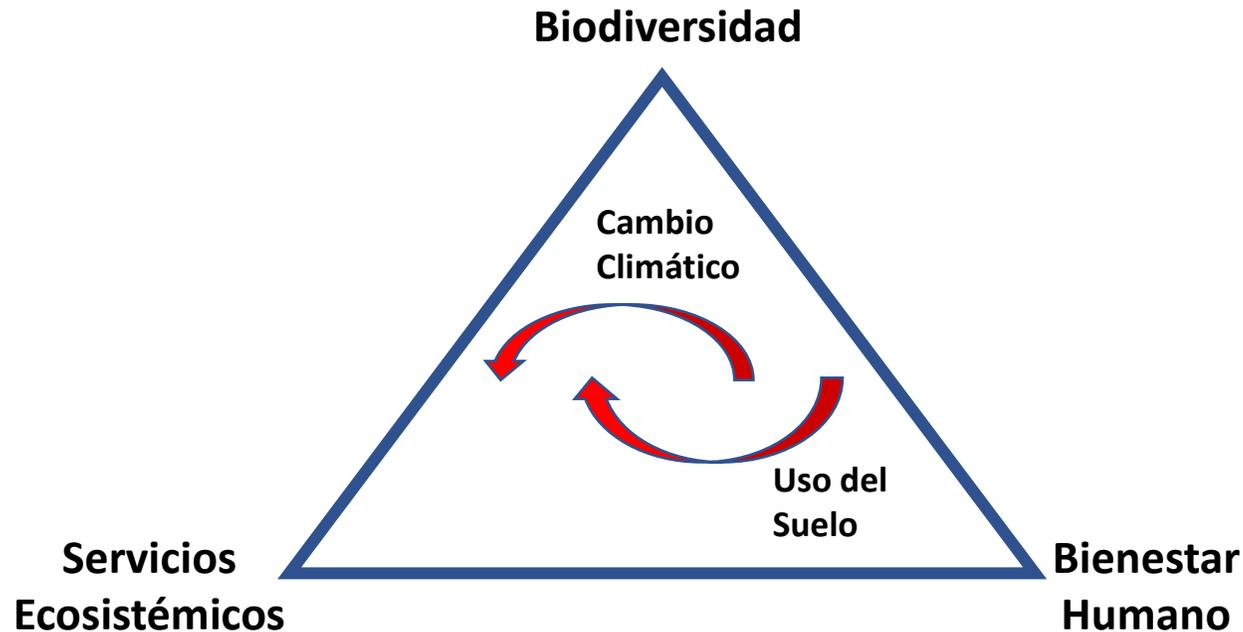
Maximina Monasterio

Pionera de la ecología Andina

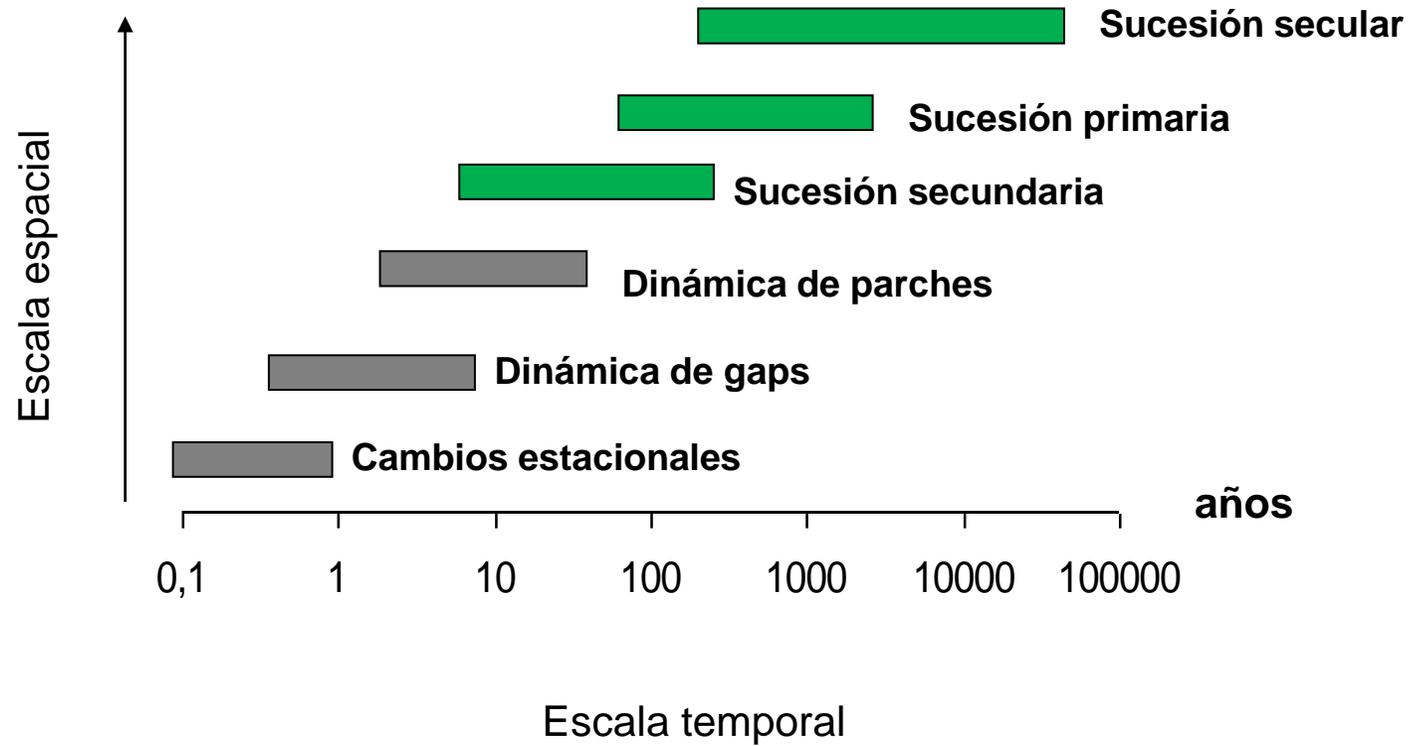


Introducción

- 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 **uso del suelo** y el **cambio climático**
- 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



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

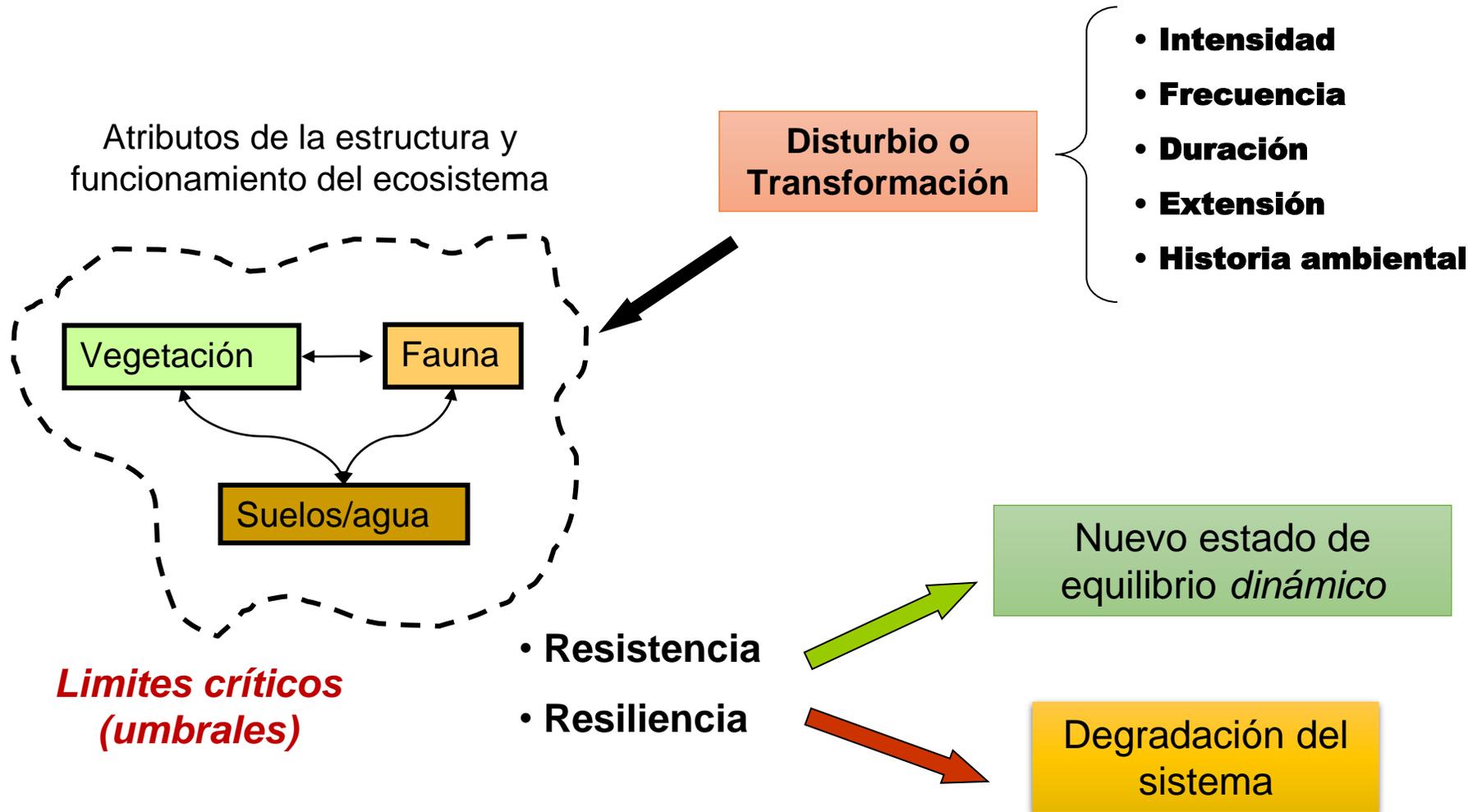


Sucesión: concepto unificador en la dinámica de ecosistemas

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

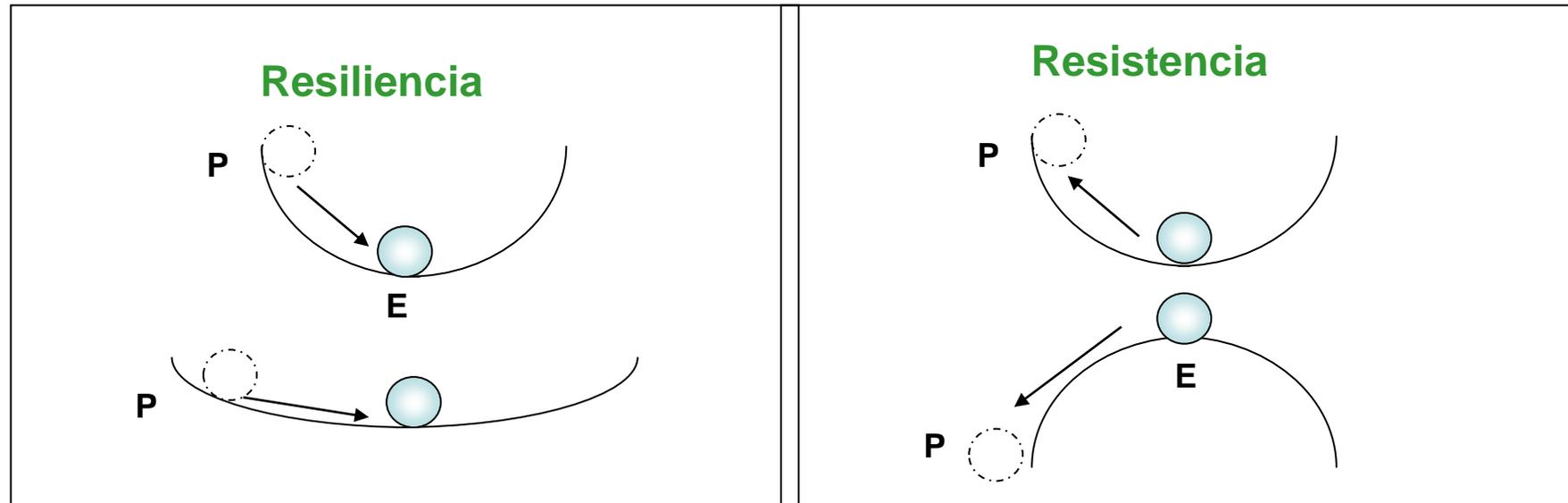
Tipo de sucesión	Ejemplo	
<p>Sucesión Primaria: desarrollo de ecosistemas en superficies desnudas donde disturbios severos han removido la mayoría de la actividad biológica</p> <p><u>Ejemplos (inicio):</u> erupción volcánica, retroceso glaciar</p>	 A photograph showing a rugged, rocky landscape with sparse vegetation, likely the result of a volcanic eruption. In the background, a large, snow-capped mountain peak is visible under a clear blue sky.	 A photograph of a mountain valley where a glacier has retreated, leaving behind a wide, rocky area. The surrounding mountains are covered in snow and sparse vegetation.
<p>Sucesión secundaria: dinámica de ecosistemas en áreas en donde el disturbio o la transformación ha removido solo parte de la actividad biológica</p> <p><u>Ejemplos (inicio):</u> agricultura, deslizamientos, huracanes, fuegos.</p>	 A photograph of a hillside covered in a dense field of colorful wildflowers, including purple and yellow blooms, representing a stage of secondary succession.	 A photograph of a grassy field with scattered rocks, showing a stage of secondary succession where vegetation is regrowing after a disturbance.
<p>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.</p> <p><u>Ejemplo (inicio):</u> dinámica del límite de bosques</p>	 A photograph of a rocky, open landscape with sparse vegetation, likely representing the edge of a forest where long-term changes are occurring.	 A 3D diagram illustrating the process of forest succession. It shows a cross-section of a hillside with a line of trees growing along the edge, representing the dynamic boundary of a forest over time.

Algunos conceptos útiles

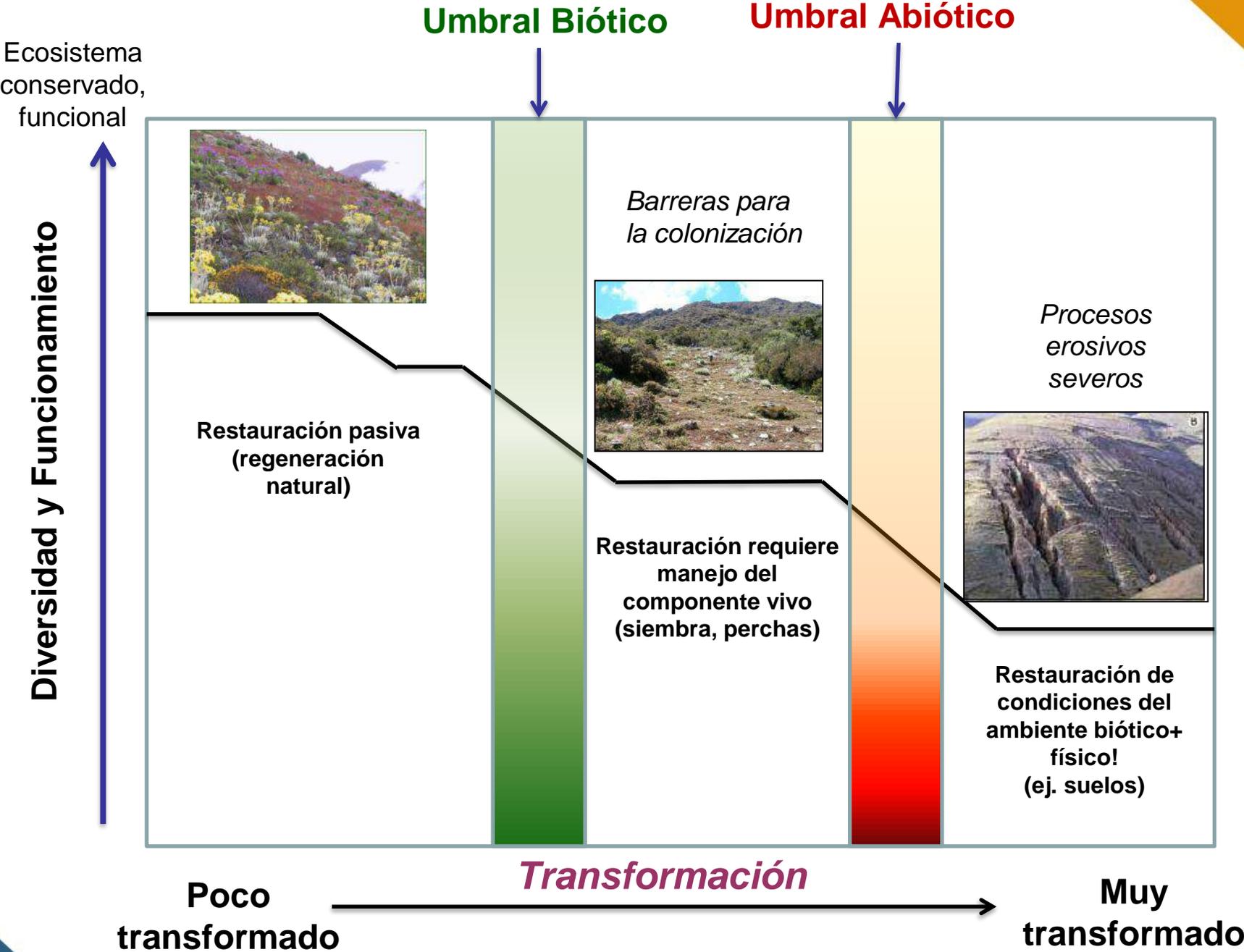


🌐 **Resiliencia:** es la capacidad del ecosistema de volver al punto de **equilibrio dinámico** inicial luego de un proceso de transformación.

🌐 **Resistencia:** es la tendencia de un ecosistemas a resistir los cambios y no abandonar el punto de equilibrio dinámico frente a una transformación.



Límites Críticos: Umbral de Transformación

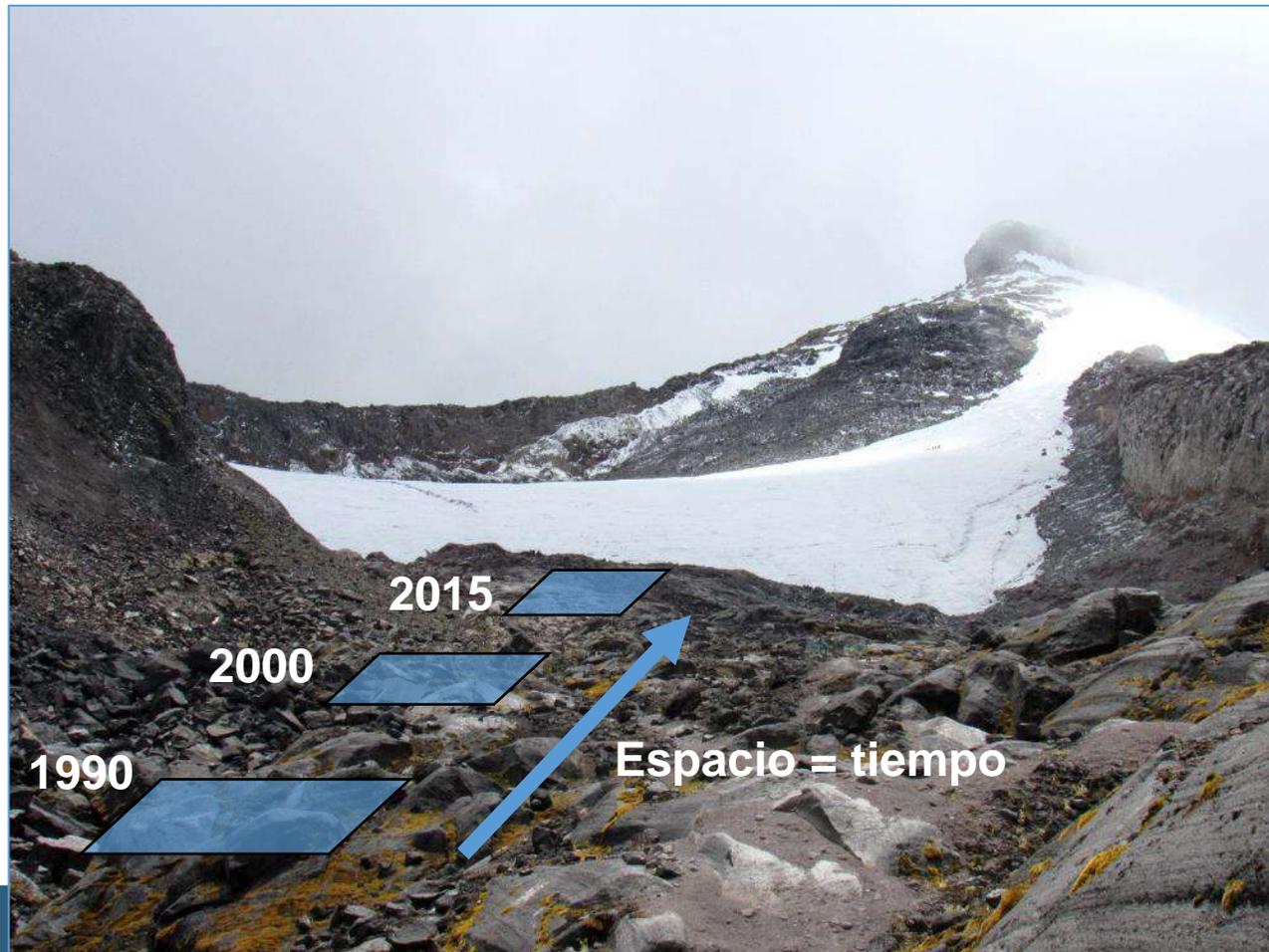


Modificado de: Cramer et al. (2007)

Enfoques de estudio

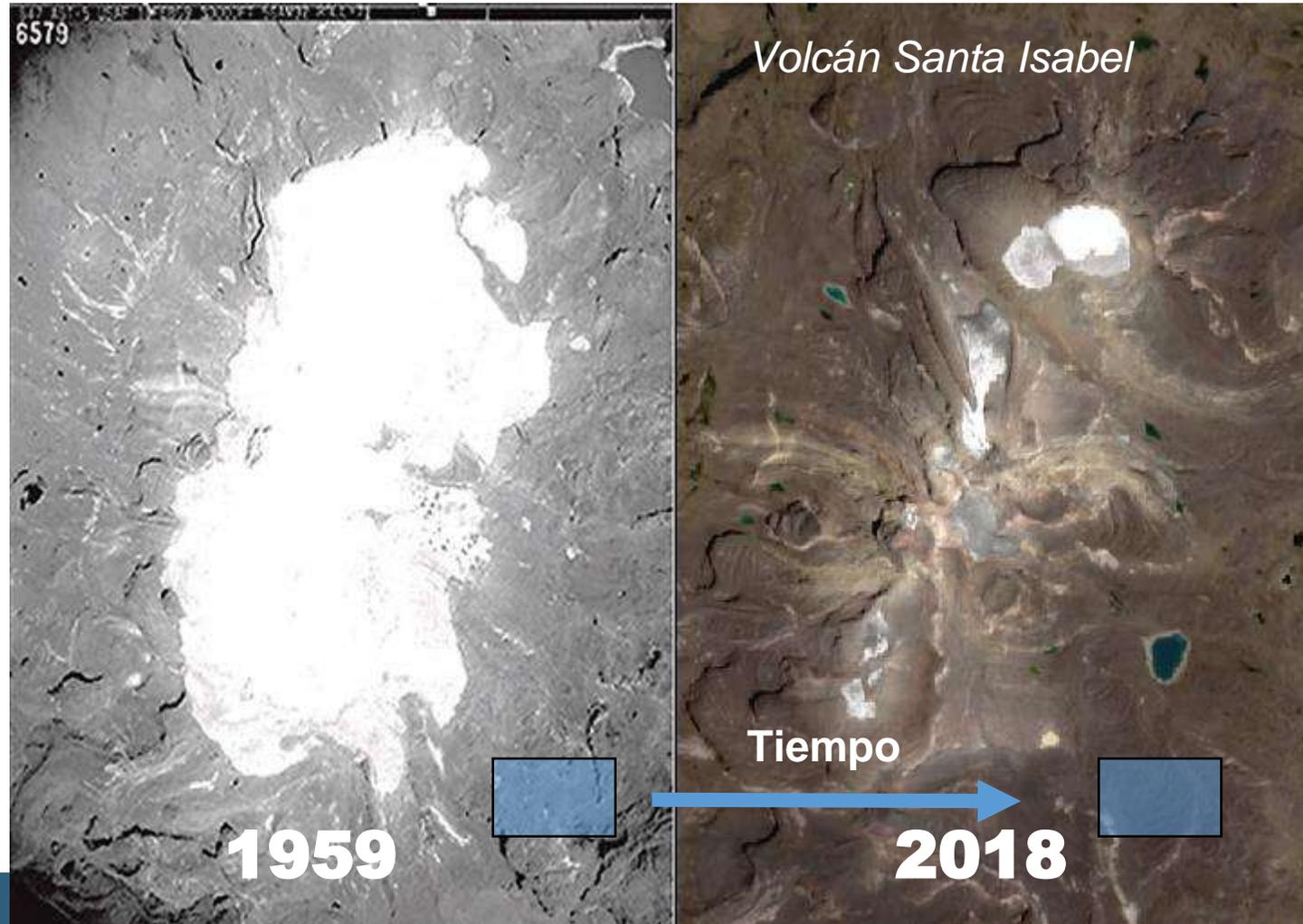
1. Enfoque sincrónico o de cronosecuencia:

substitución del espacio por el tiempo, requiere replicación extensa

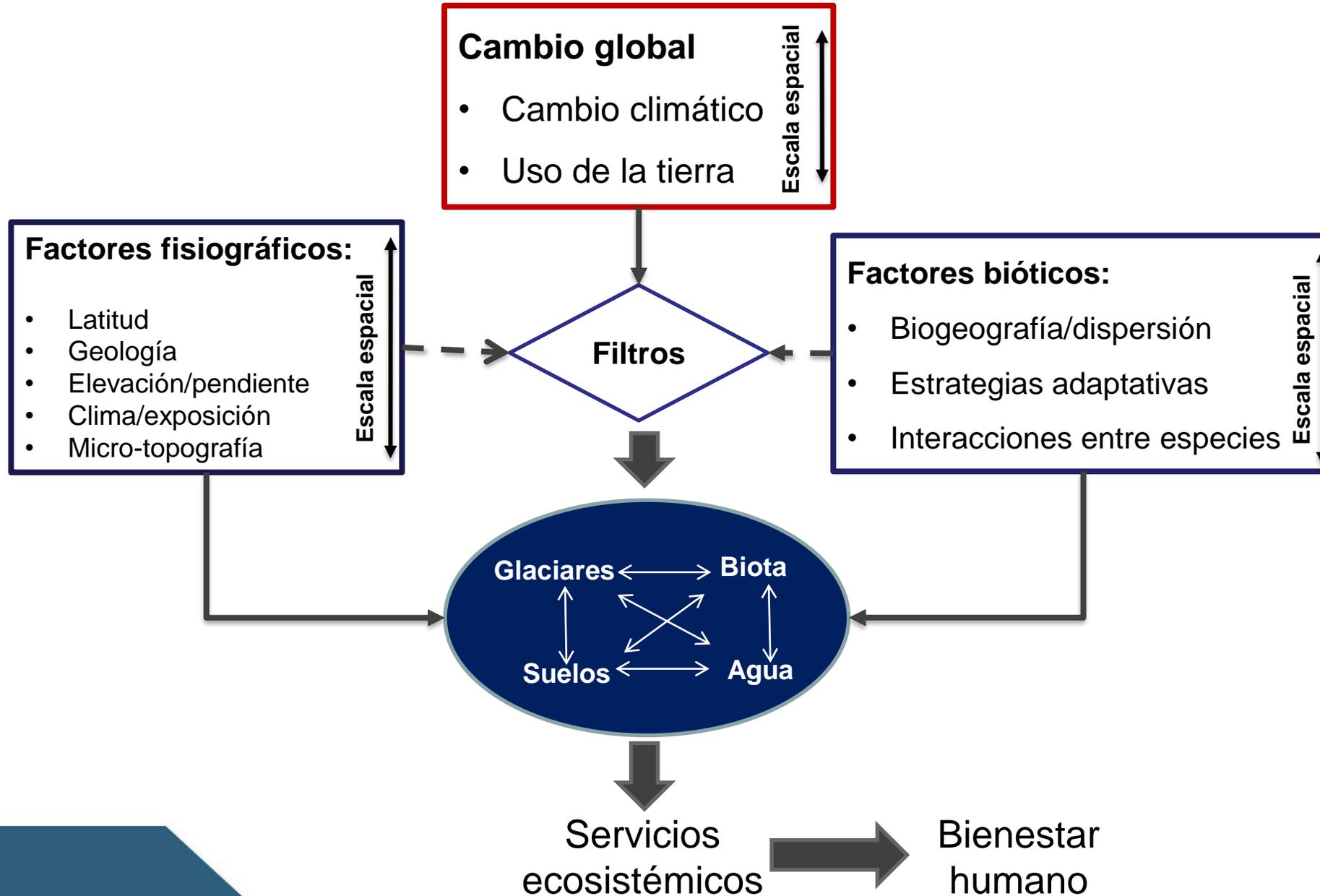


2. Enfoque diacrónico :

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



Necesidad de un enfoque integrado a múltiples escalas...



Uso del Suelo y Cambio Climático en los Andes



GENTE TE

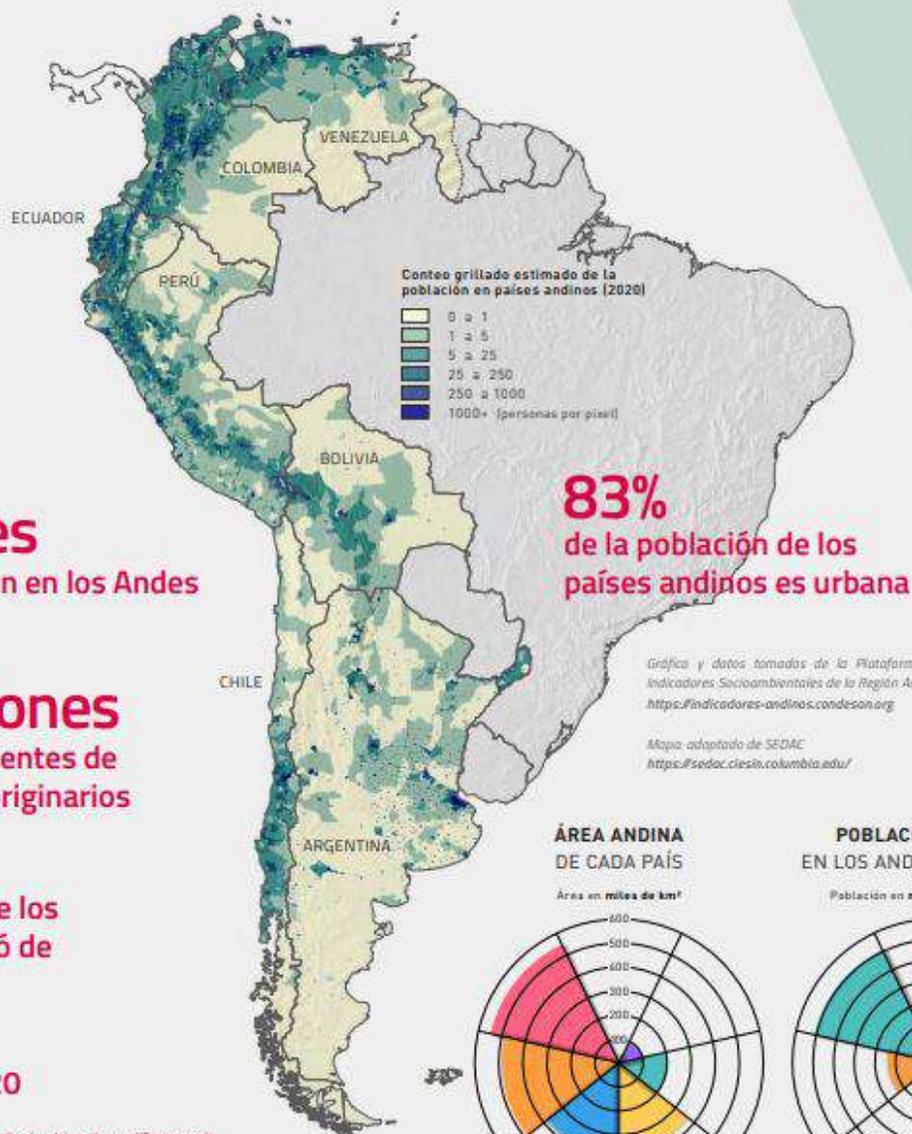
de Los Andes

68 millones
de personas habitan en los Andes

21 millones
son descendientes de
los pueblos originarios

El IDH* promedio de los
países andinos pasó de
0.64 en 1990
a **0.78** en 2020

* El índice de desarrollo humano (IDH) es un indicador elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Un IDH alto indica mayor esperanza de vida, nivel de educación e ingreso nacional bruto per cápita en un país.



Población y Cambio Climático

La población **percibe los efectos del cambio climático** principalmente en los desastres, asociados a la mayor intensidad o frecuencia de eventos climáticos extremos (lluvias intensas, sequías). Aluviones, deslizamiento, inundaciones, son cada vez más fuertes y recurrentes, así como las olas de calor y heladas.

La **población asentada en los Andes** en poblados o ciudades, históricamente no cuenta con mecanismos eficientes de planificación. Su vulnerabilidad depende en parte de su capacidad de prevención, preparación y adaptación. El cambio climático es un desafío adicional al proceso de estabilidad y desarrollo económico y social.

Servicios Ecosistémicos y las Ciudades

La población del campo y las ciudades **depende principalmente de los alimentos, agua y energía hidroeléctrica que provienen de los Andes**. Los ecosistemas andinos (punas, bofedales, humedales, turberas, bosques) proveen diversos servicios ecosistémicos que garantizan la seguridad alimentaria y sanitaria, tanto de las poblaciones de montaña como de los alrededores.

La retribución por servicios ecosistémicos a través de la implementación de **infraestructura natural para la seguridad hídrica**, o **soluciones basadas en la naturaleza** como medida de adaptación al cambio climático, son alternativas que permiten salvaguardar el acceso sostenible a recursos como el agua y alimentos, de manera que se asegure el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico.

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.

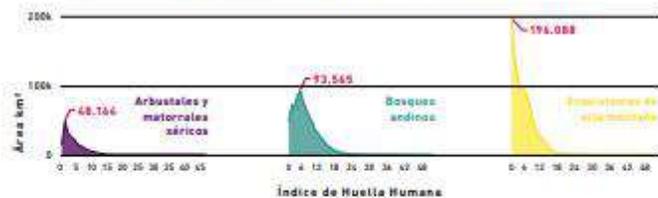
El Índice de Huella humana mide las presiones humanas sobre el territorio combinando datos sobre 8 factores de impacto:

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

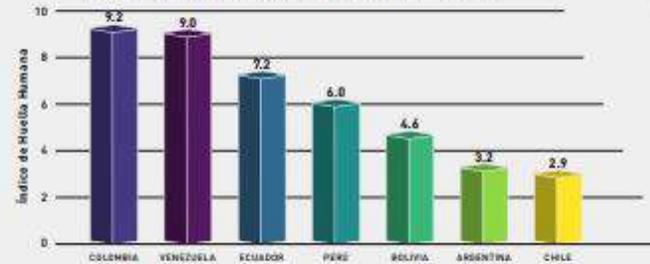
El impacto es distinto en cada uno de los grandes paisajes andinos:

- 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.

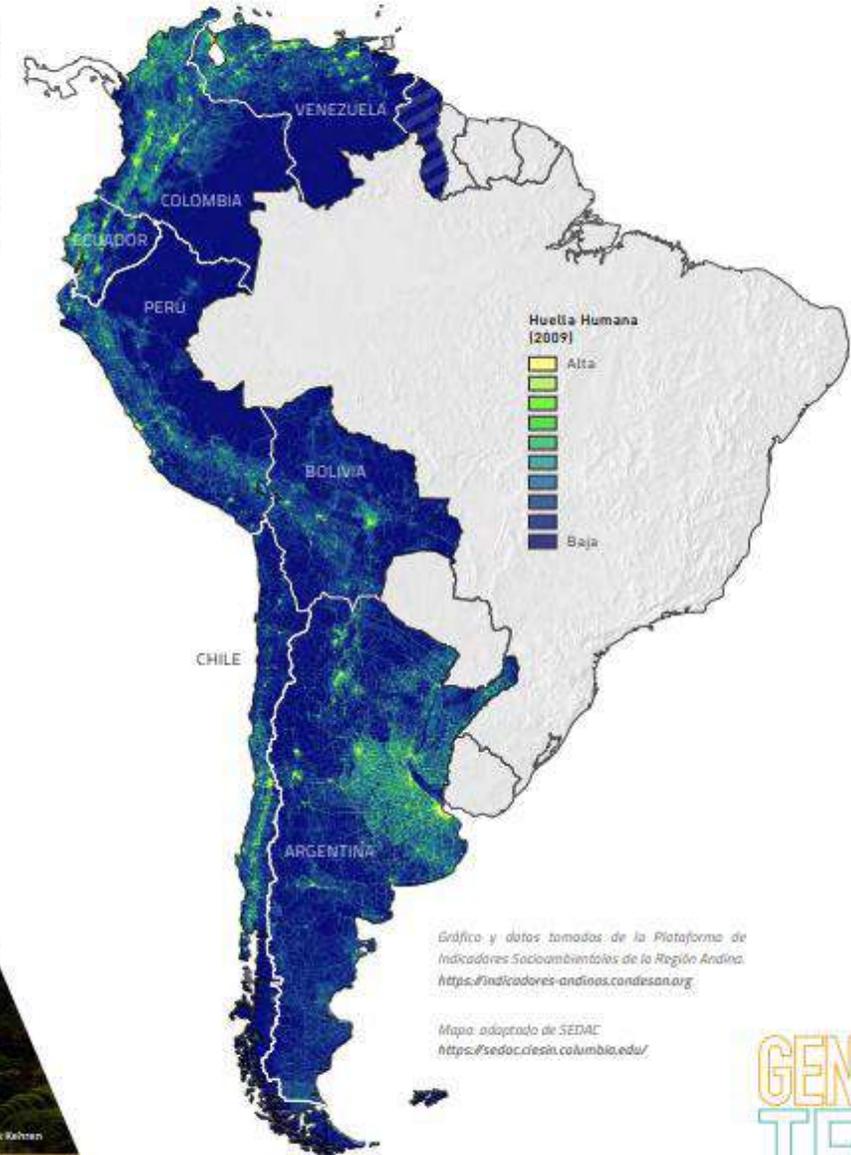


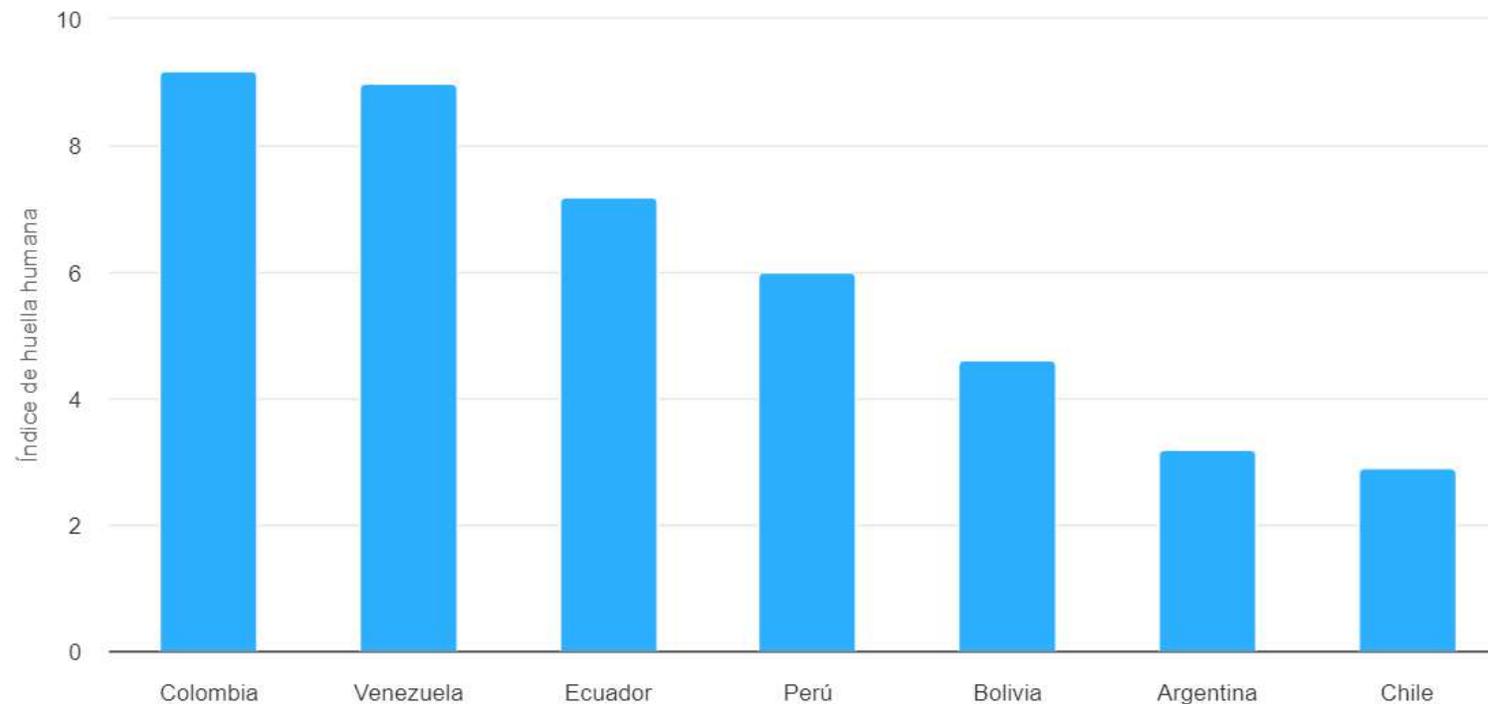
Gráfico y datos tomados de la Plataforma de Indicadores Socioambientales de la Región Andina <https://indicadores-andinos.condesan.org>

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



Índice de huella humana por paisaje andino

Índice de huella humana promedio en la región andina de cada país



Valores más altos: más presión humana (2009)
SEDAC (Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas)
Venter et al. 2016.

Uso del Suelo: Andes Tropicales

País	Area transformada sobre los 500 m (%)
Venezuela	51.9
Colombia	58.9
Ecuador	43.2
Peru	12.5
Bolivia	3.2

Source: Josse et al. 2011.

- Tasas mayores de transformación en los Andes del Norte y a bajas elevaciones

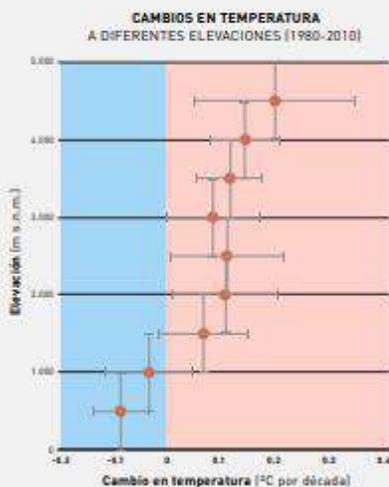


Cambios en Temperatura



- A nivel global, se acumula la evidencia de cambio en la temperatura media anual en todas las regiones del planeta.
- En los Andes, estudios recientes se basan en 626 estaciones climáticas en la ladera occidental de los Andes [Ecuador, Perú y Chile].

- Los cambios son **regionales**: clara señal del impacto del cambio climático en los Andes.
- Aumento de temperatura no parece provenir de actividades **focalizadas**, como cambio de uso del suelo, urbanización.



Cambio en la temperatura en grados centígrados por década, a diferentes elevaciones, basados en mediciones de 30 años (entre 1980 y 2010).

Un cambio mayor que 0 indica calentamiento, mientras que un cambio negativo indica enfriamiento.

Se observa que las regiones más altas presentan un calentamiento que puede llegar a 0.2 °C por década en las cumbres de más de 4.500 m.

[Vuille et al., 2015; Pabón Caicedo et al., 2020]

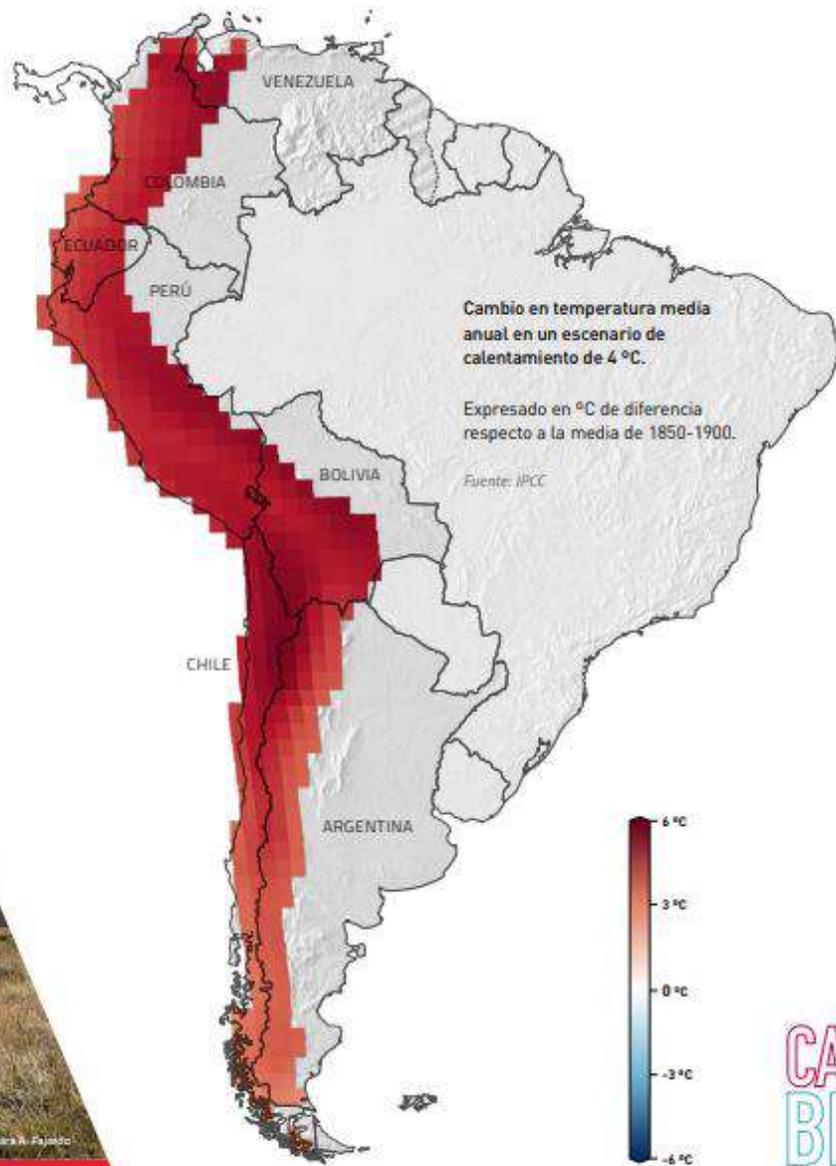
El cambio en temperatura depende la latitud y de la altitud:

Andes Tropicales:

- Tendencia al calentamiento significativa sobre 1000 m s.n.m.
- Incrementos de hasta 0.15-0.2 °C por década en zonas arriba de los 4.000 m s.n.m.

Andes del Sur:

- Enfriamiento: en las zonas costeras más bajas.
- Calentamiento en zonas más altas de los Andes.



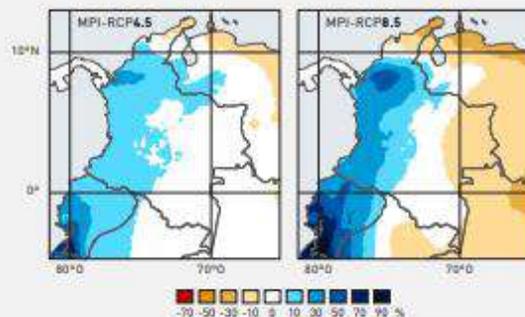
Cambios en Precipitación

El calentamiento global produce cambios en los patrones de precipitación. En los Andes se proyecta para el próximo siglo:



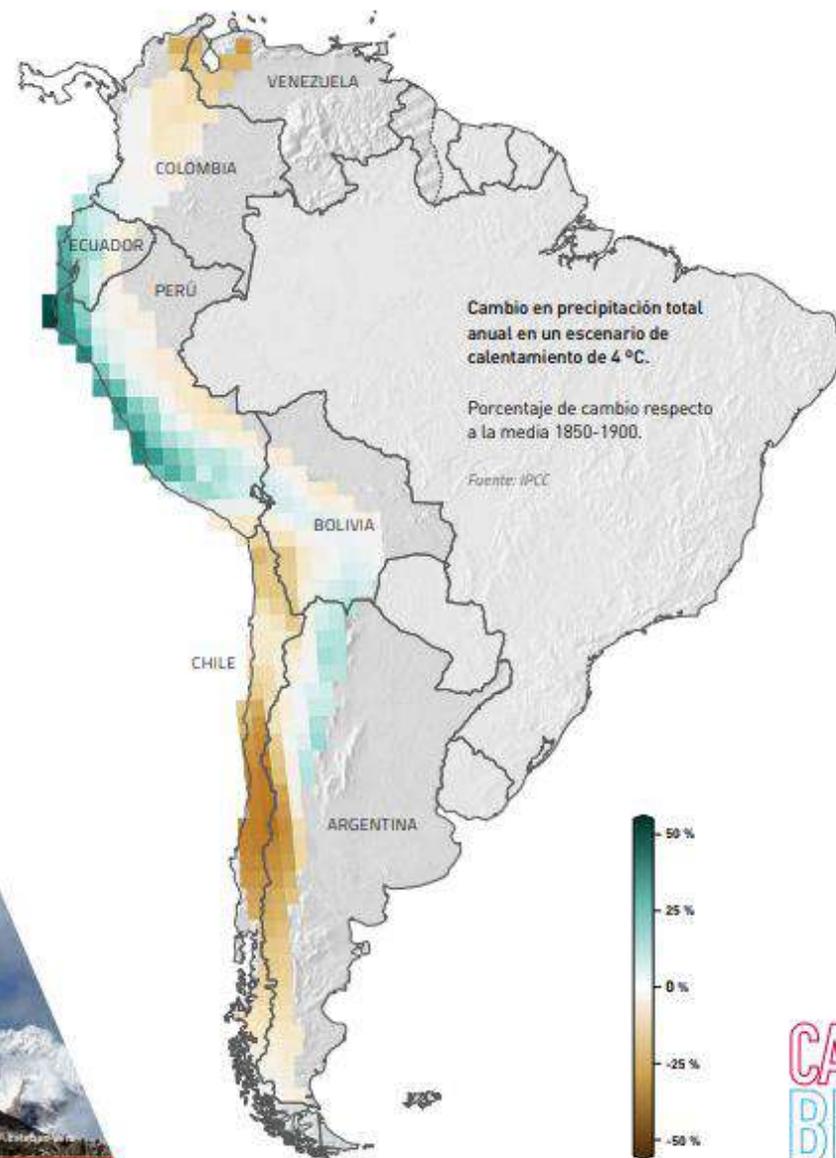
- Régimen de lluvias más extremo en Andes Tropicales, más precipitaciones en la época lluviosa y menos en la época seca.
- Aumento de las precipitaciones en áreas costeras de Ecuador y Perú.
- Sequías en Andes Centrales.
- Marcada disminución de precipitaciones en Andes del Sur.

- Las proyecciones globales apuntan a una disminución en la precipitación media en los Andes.
- Sin embargo los efectos locales pueden ser importantes, y mapas más detallados pueden pintar un escenario diferente, como en el ejemplo.



Cambios proyectados en la precipitación anual (porcentajes respecto a la media 1976-2005) en dos escenarios de cambio climático en los Andes Tropicales del Norte. A la izquierda el escenario "optimista" RCP4.5, y a la derecha el "pesimista", RCP 8.5.

Fuente: Armenta-Porras y Pabón-Coleado, 2018.



Patrones de precipitación cambian con la elevación, pero también con la latitud:

Andes tropicales:

- Un máximo en precipitación a altitudes intermedias (1.000-2.000 m).
- A mayores elevaciones va disminuyendo: patrón de precipitación invertido.

Andes del sur:

- Un máximo a bajas altitudes.
- La precipitación disminuye rápidamente con la elevación.



Glaciares

En los glaciares y campos de hielo el frío extremo, la altitud y las tormentas limitan la diversidad a niveles muy bajos. Cuando hay presencia de agua, las formas de vida dominantes son microorganismos, incluyendo virus, bacterias, algas y protozoarios. En salientes rocosos se encuentran líquenes, musgos y algas tolerantes al frío y plantas pioneras como pequeñas gramíneas, hierbas y arbustos. Los vertebrados, fundamentalmente aves, son migratorios o itinerantes. Las formas de vida están adaptadas al frío, pero disturbios como los deslizamientos y el acelerado retroceso de los glaciares impulsado por el cambio climático modifican el equilibrio del ecosistema dando inicio a procesos de colonización y el desarrollo de nuevos ecosistemas (sucesión primaria).

EJEMPLOS DE ECOSISTEMAS

- Glaciares tropicales
- Nieves perennes
- Laderas volcánicas
- Campos de hielo
- Salientes rocosos
- Desiertos periglaciares

Cambios proyectados para un periodo de 30 años a partir del año 2040, en las áreas cubiertas por glaciares y áreas crioturbadadas en los Andes Tropicales:



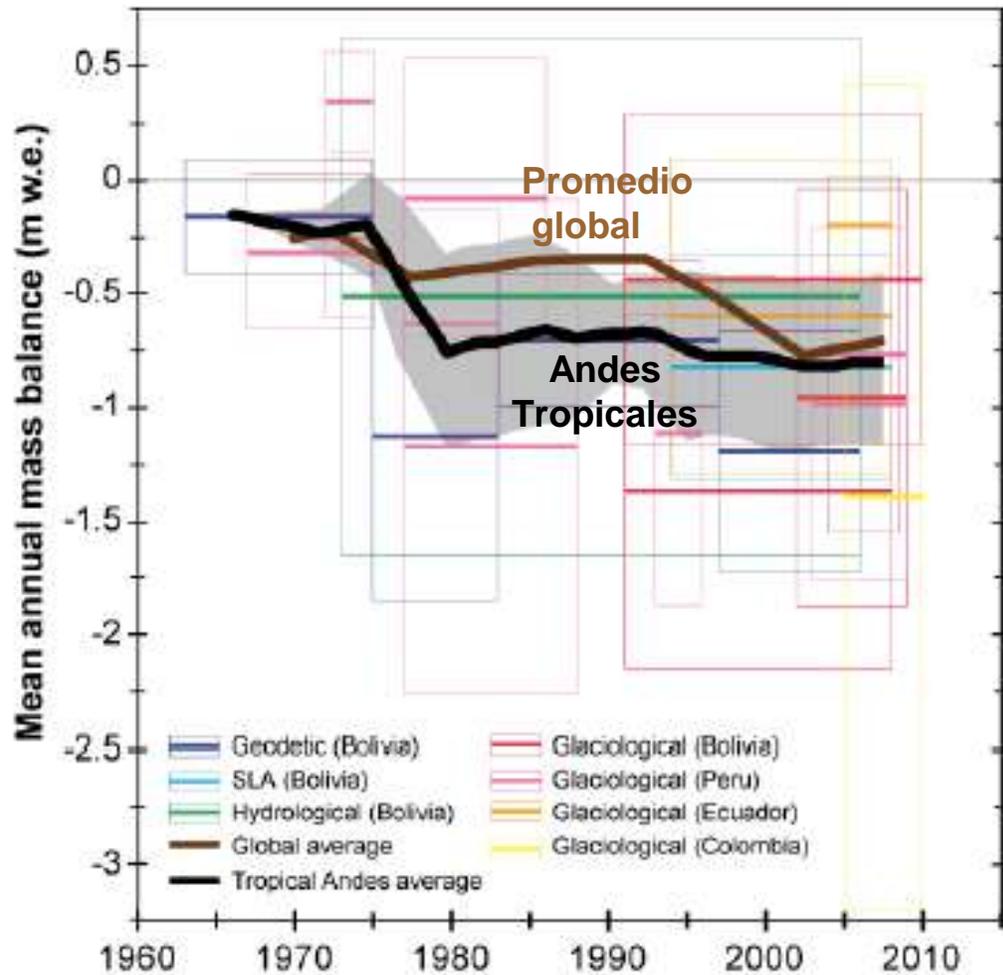
De acuerdo a estas proyecciones, para el año 2070 este tipo de ecosistema tendría menos de un 20% del área actual. La desaparición de los glaciares andinos, especialmente en el trópico, es una de las consecuencias más visibles del cambio climático en la región. Tiene graves consecuencias para los servicios ecosistémicos, así como un fuerte impacto cultural para la población.

Fuente: Tovar et al. (2013) (<https://journals.plos.org/plosone/article/authors?id=10.1371/journal.pone.0063634>)

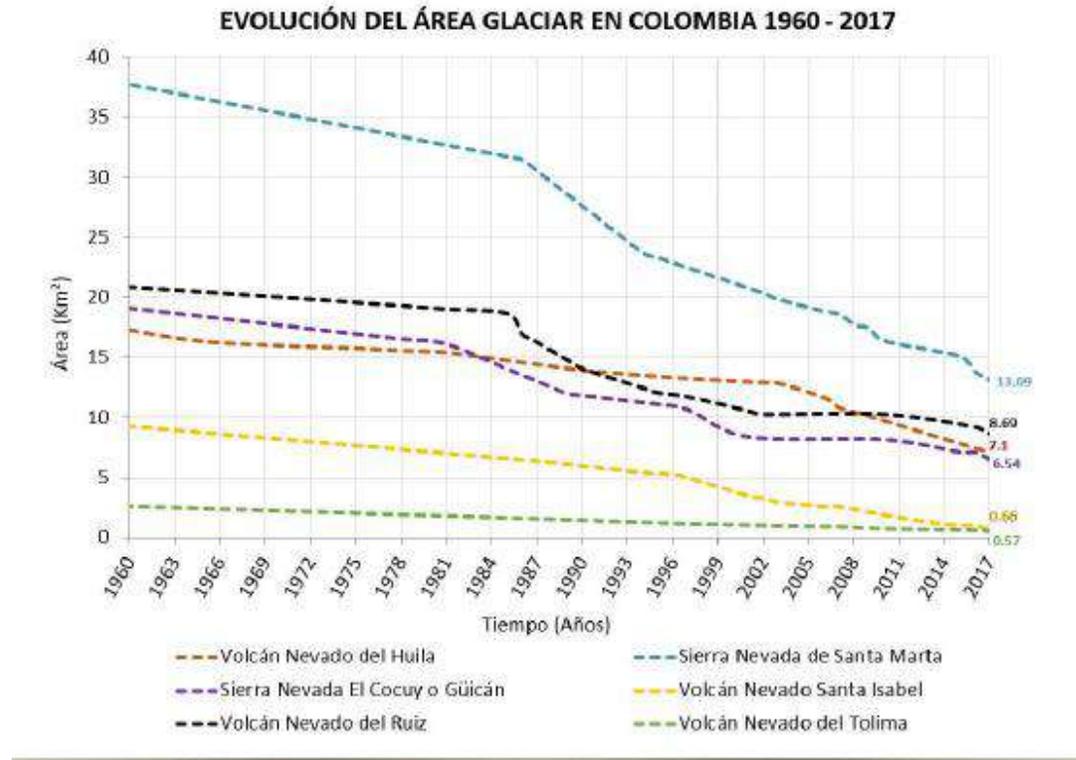


Retroceso glaciar: Andes Tropicales

- Retroceso más rápido que el promedio global



Fuente: Ravatel et al. 2013, 2017



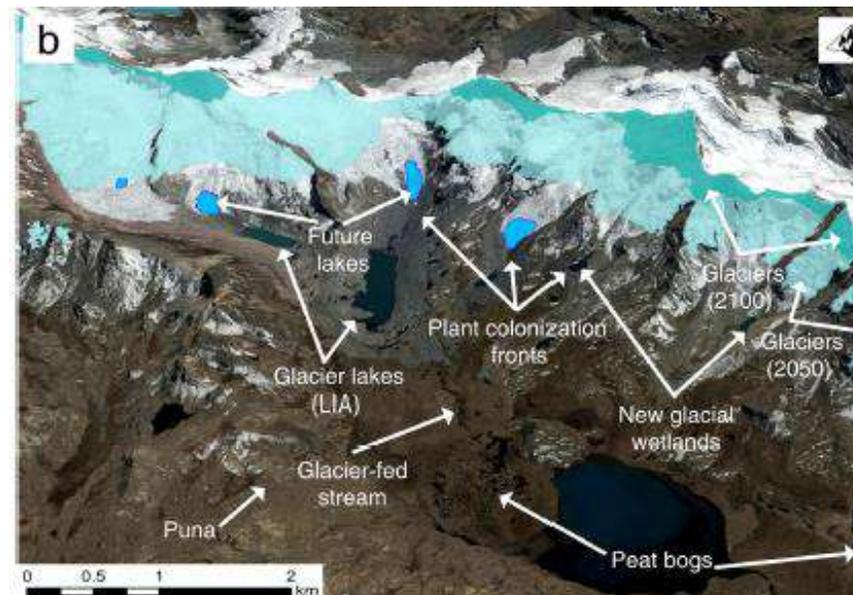
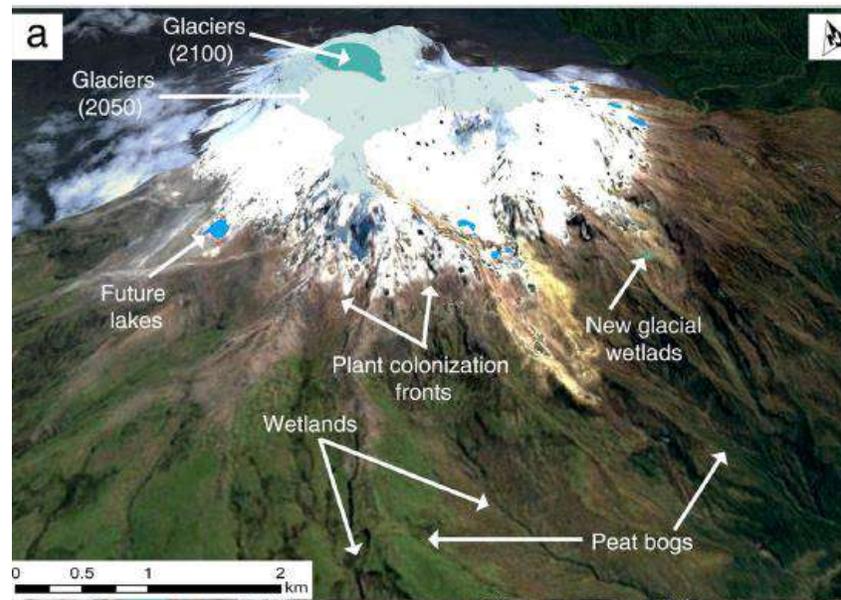
Cambios proyectados para 2100

Volcán Antisana (Ecuador) y Cordillera Vilcanota (Perú)

- ✓ Pérdida área glaciar predicha: 60-98%
- ✓ 10 a 16 nuevas lagunas proyectadas
- ✓ Antisana: efecto mínimo sobre caudales
- ✓ Vilcanota: reducción de contribución glaciar a caudal de 24% a 0%

- Cambios en la ecología de ríos y humedales
- Cambios en la distribución de los ecosistemas y especies
- Frentes de colonización vegetal: nuevas comunidades bióticas

Fuente: Cuesta, Llambí et al. (2019)



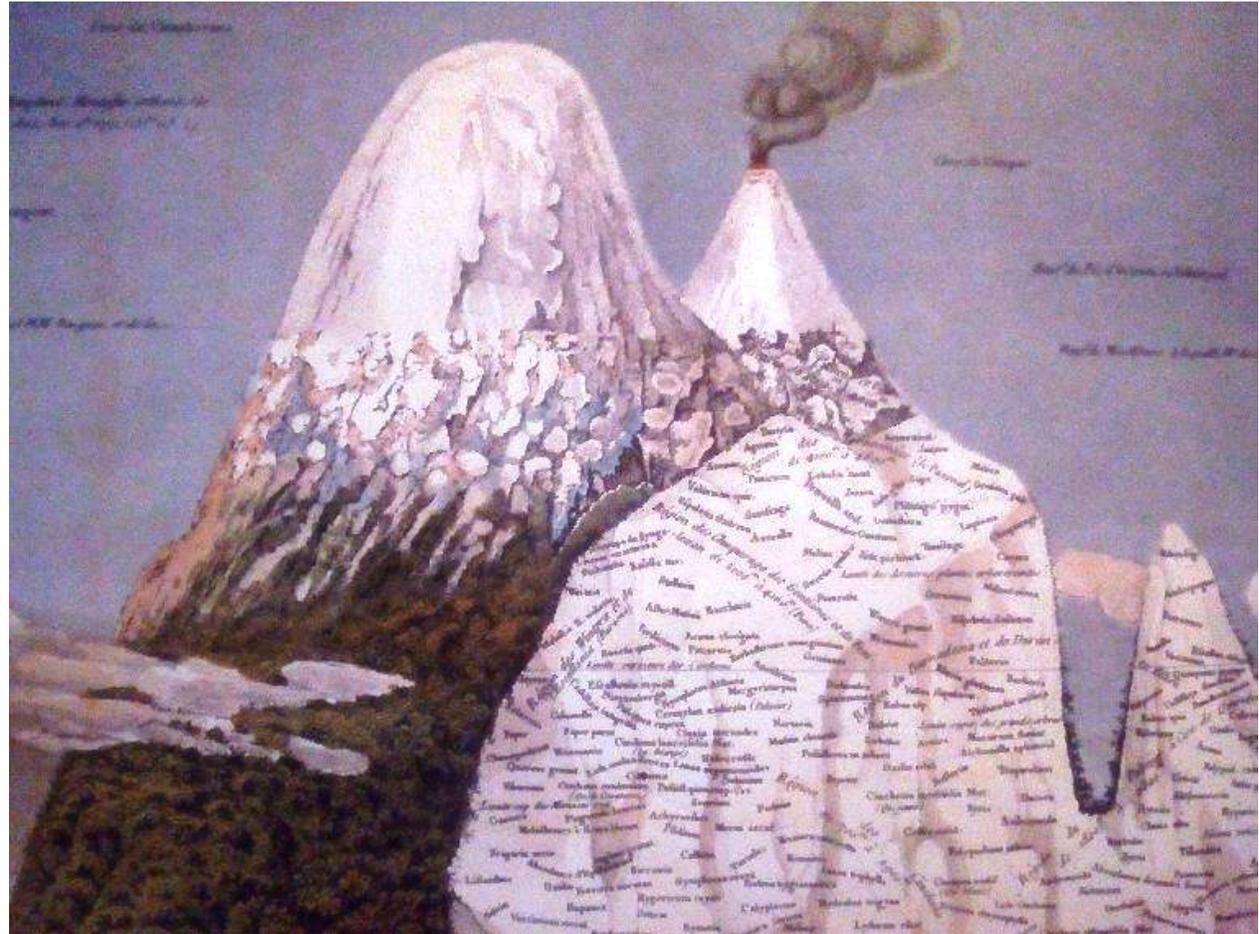
Estudios de largo plazo: ¡uso de registros históricos!

Ⓢ Distribución actual de plantas vs. observaciones de Humboldt en Chimborazo, Antisana y Cotopaxi (1802)

Ⓢ Desplazamiento vertical más de **250 m** en la posición de las especies de plantas



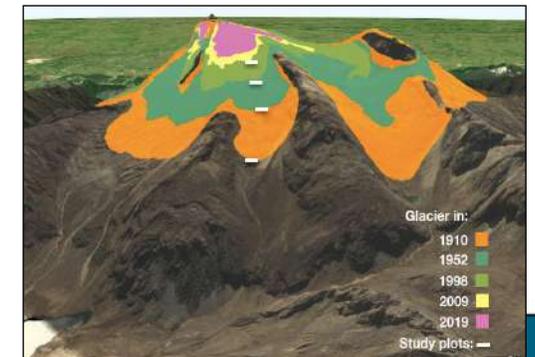
Tableau physique (1802)



Morueta-Holme et al. (2015) and Moret et al. (2019, 2021)

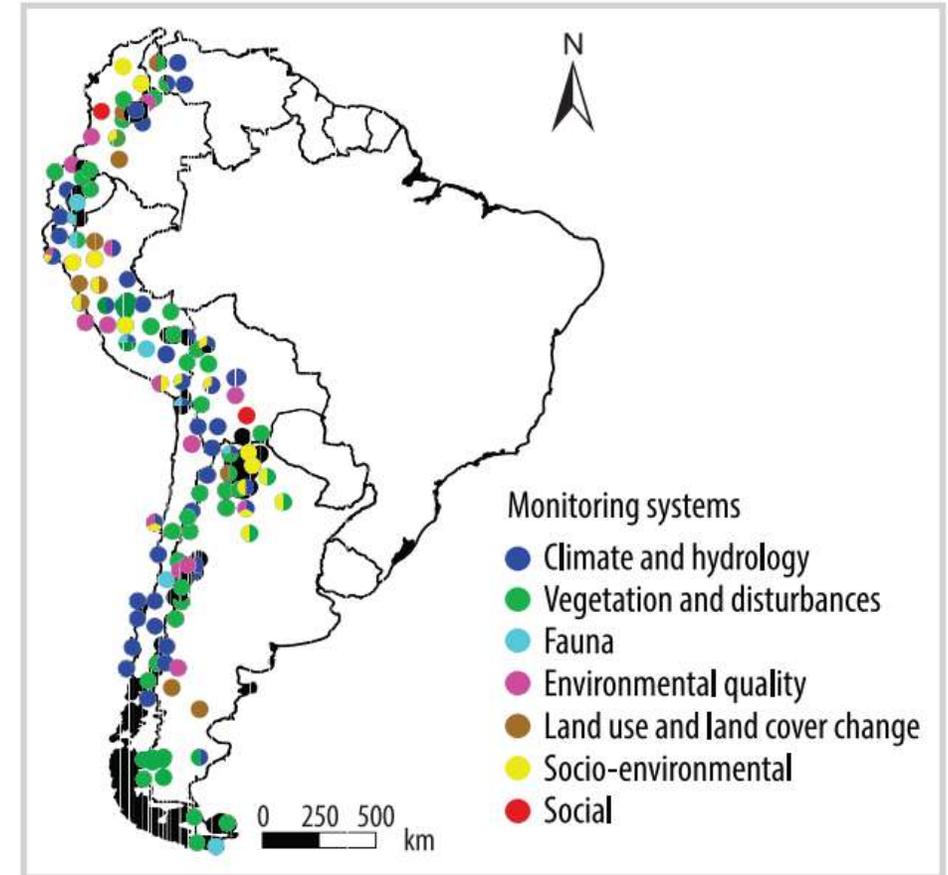
Redes Andinas de monitoreo: oportunidades

- ✓ Amplios gradientes latitudinales, altitudinales y de uso
- ✓ Estandarización de protocolos y manejo de información: garantizar comparabilidad a escala continental
- ✓ Promover procesos de cooperación Sur-Sur entre instituciones andinas: fortalecer capacidades.
- ✓ Generación de indicadores y síntesis regionales sobre los efectos del CC (diálogo ciencia-política).
- ✓ Vinculación del monitoreo con programas nacionales (cambio climático y biodiversidad).



Monitoreo de Largo Plazo en Los Andes

- ✓ Avance significativo en la última década (vacío en monitoreo socio-ambiental):
- **GLORIA-Andes:** temperaturas y vegetación en cumbres
- **Red de Bosques Andinos:** dinámica árboles
- **IMHEA** – Monitoreo Hidrológico
- **Monitoreo glaciar:** Grupo de Trabajo en Hielos y Nieves Andinos.
- **Plataforma de Indicadores Socio-Ambientales de los Andes** (<https://indicadores-andinos.condesan.org>)
- **Creación de ROSA:** Red de Observatorios Socio-Ecológicos Andinos (7 observatorios/sitios de aprendizaje)



Carilla et al. (2023)

Red Gloria-Andes

- ✓ 17 sitios de monitoreo en los Andes
- ✓ 70 cumbres a lo largo de +6800 km (Venezuela a Tierra del Fuego)
- ✓ 272 sensores de T° a – 10 cm del suelo sobre los 3.000 metros.
- ✓ + 14 años continuos de registros de datos (2009-2023)
- ✓ 7 países andinos: páramos, punas, ecosistemas mediterráneos, estepa patagónica
- ✓ ~ 1000 spp plantas vasculares monitoreadas
- ✓ Transecto más extenso de Sur América en alta montaña

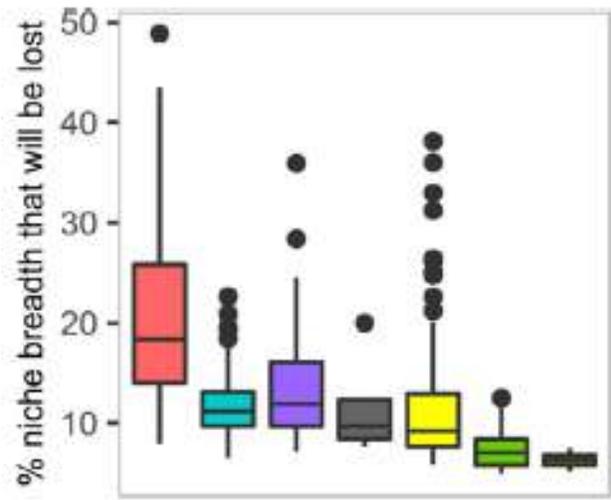
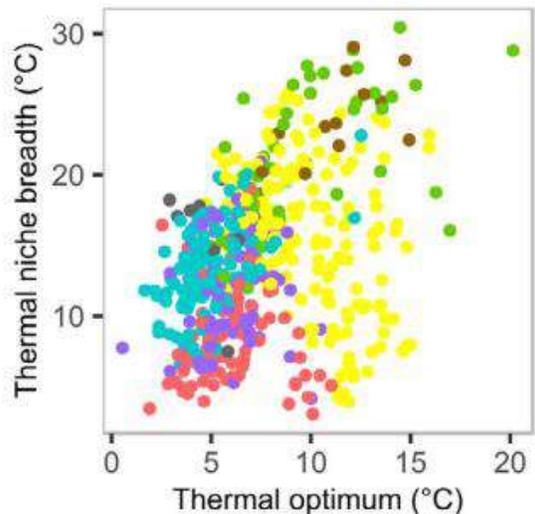
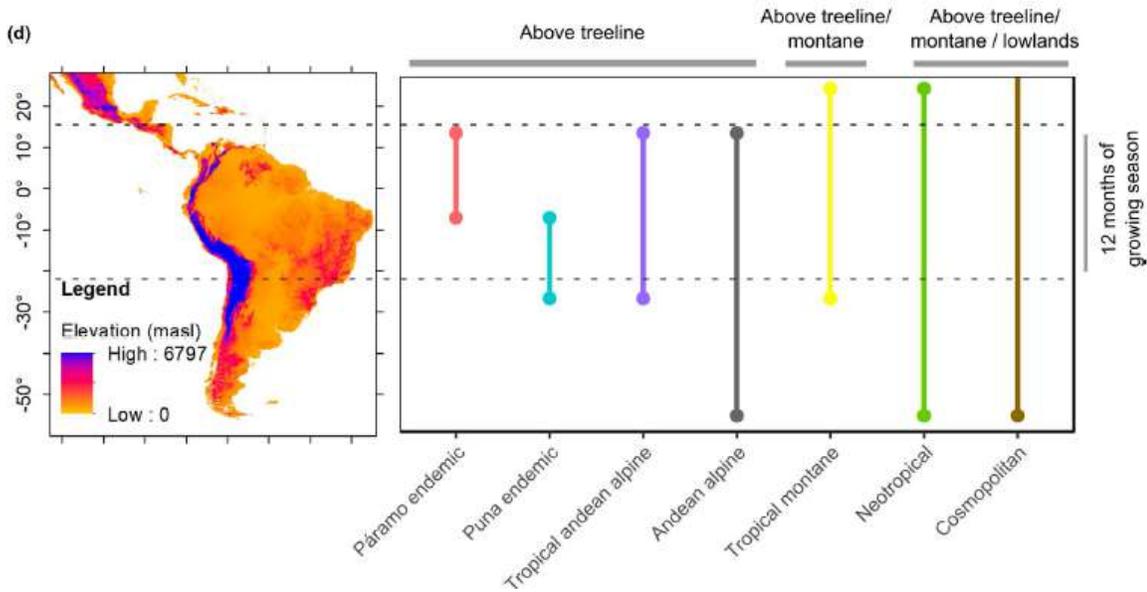


<https://redgloria.condesan.org/>

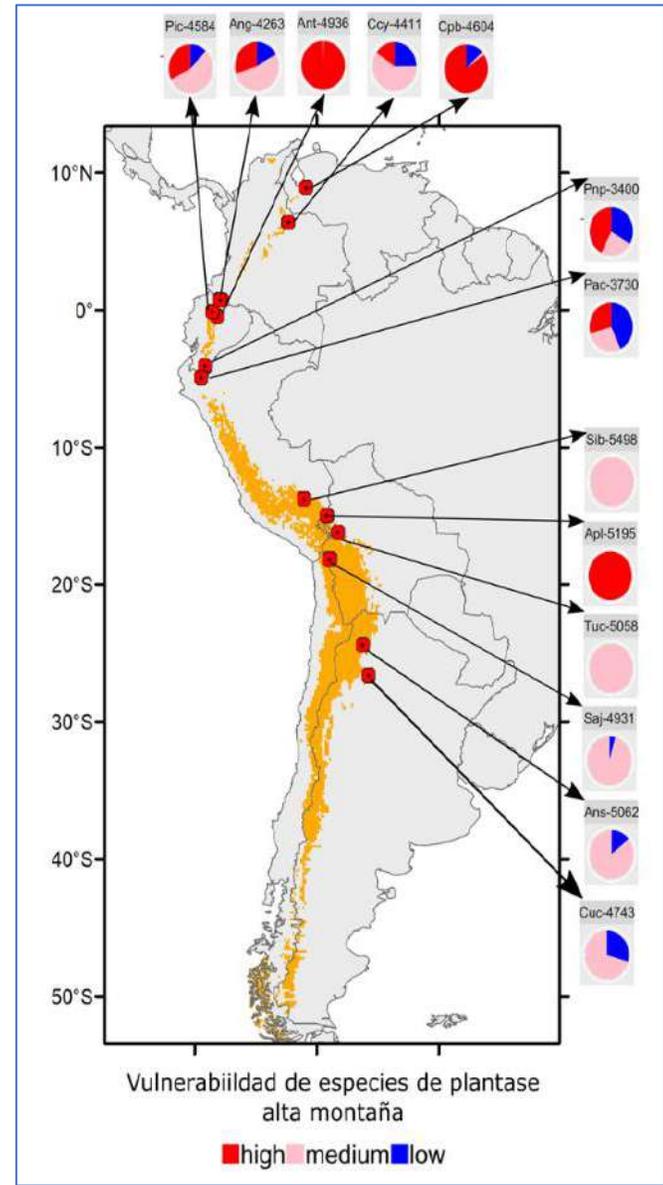


@ Vulnerabilidad al Cambio Climático: nicho térmico de especies y comunidades

Cuesta, et al. (2020)

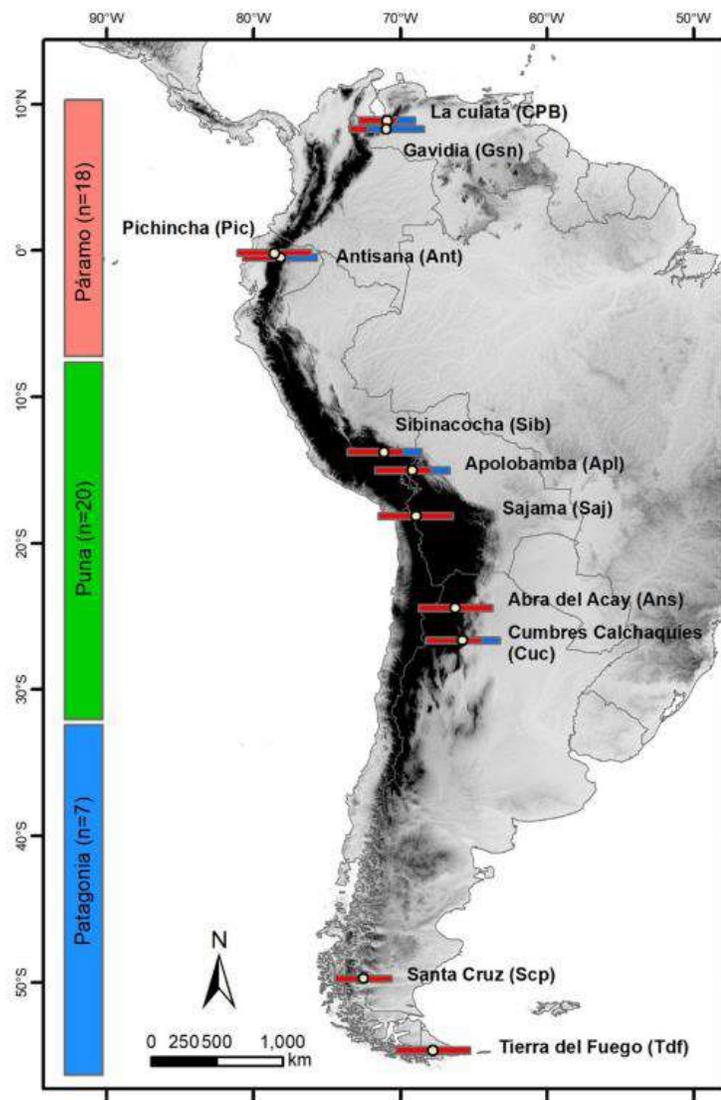


% Pérdida de nicho térmico (escenario + 1.5° C)



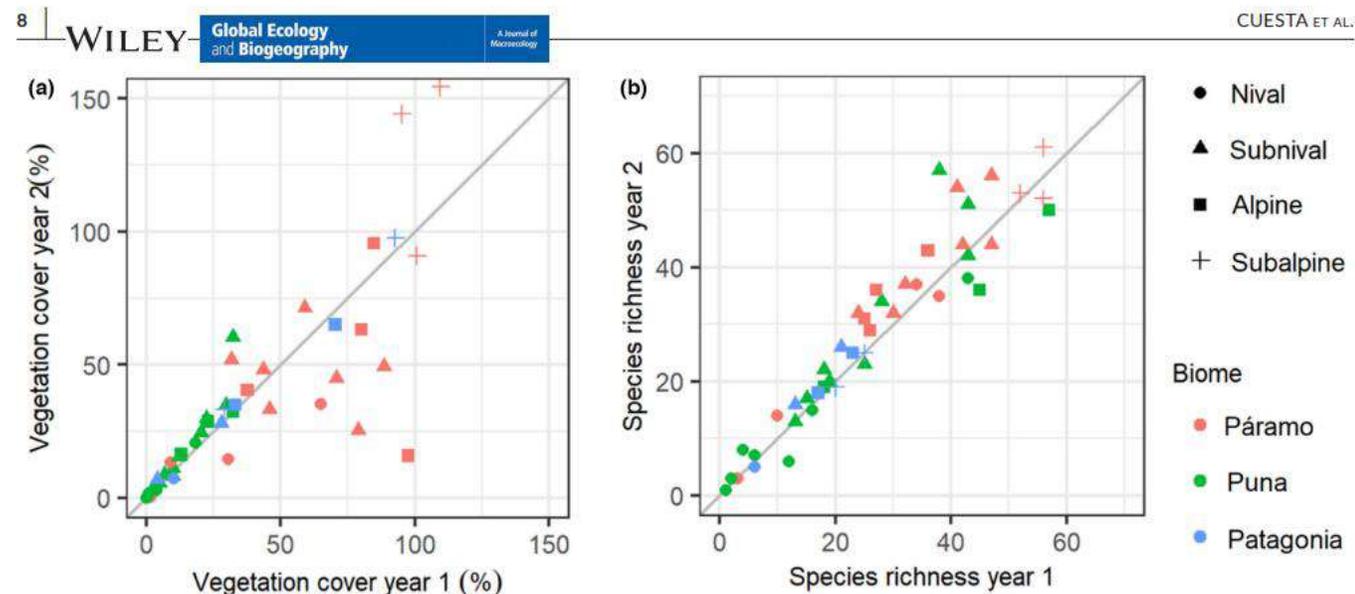
Definimos cumbres con mayor **vulnerabilidad** como aquellas dominadas por especies con nichos térmicos estrechos y óptimos térmicos bajos (**endémicas de páramos**)

Cambios observados en temperatura y vegetación de las cumbres (5-9 años)

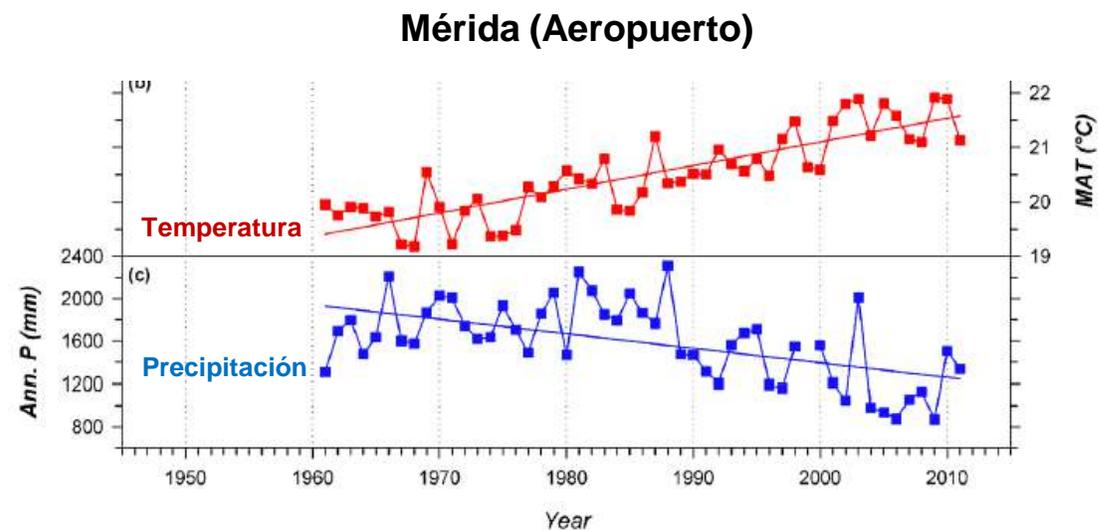
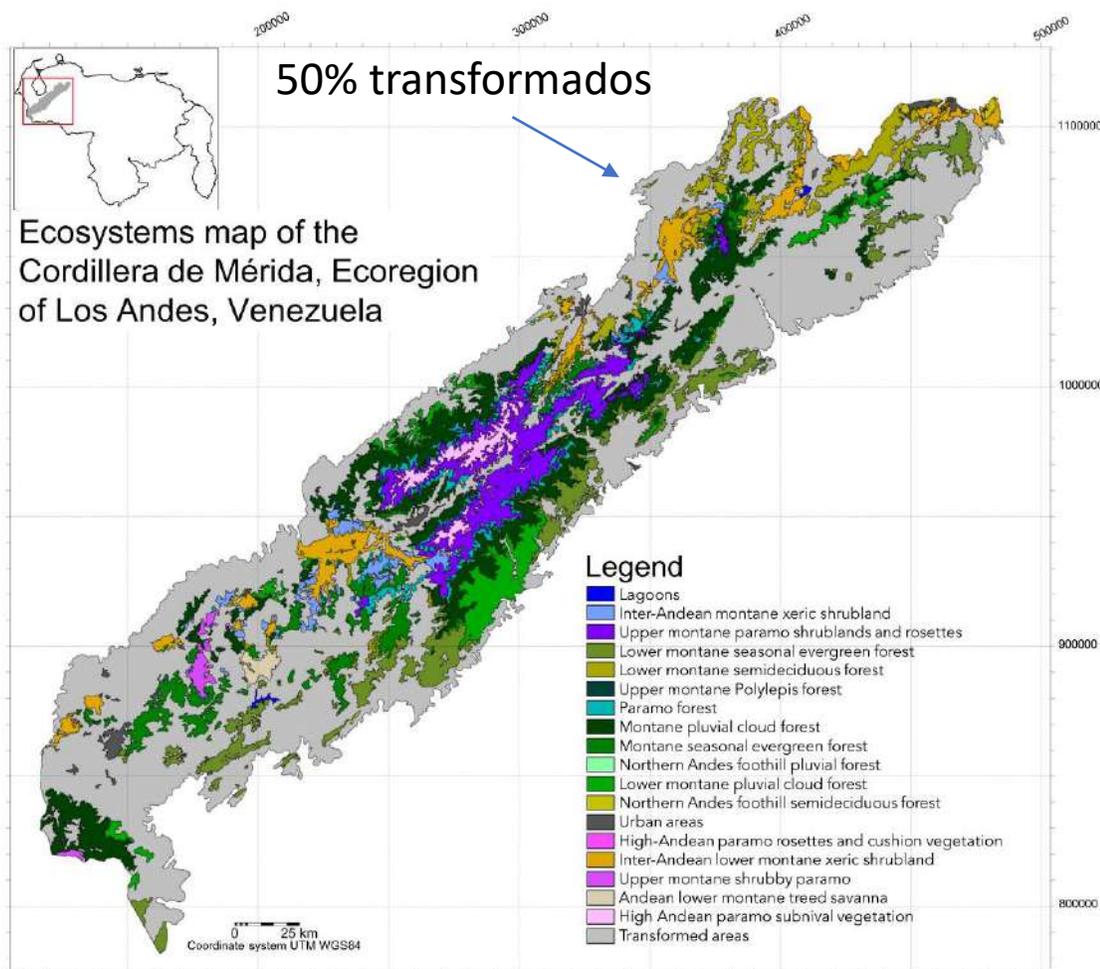


Cuesta et al. (2023)

- Predominan **cambios significativos en las temperaturas** (min, max, amplitud)
- Cambios heterogéneos en **cobertura de plantas**: aumento moderado en punas y Patagonia y reducción marcada en los páramos y en cumbres más altas
- Tendencia general a **aumento de la riqueza de plantas**: más marcado en el páramo y cumbres de baja elevación
- **Aumento abundancia de especies con nichos térmicos amplios y óptimos térmicos altos** (y reducción de abundancia de especies endémicas, especialmente en páramos)



Caso de Estudio: Cordillera de Mérida (Venezuela)

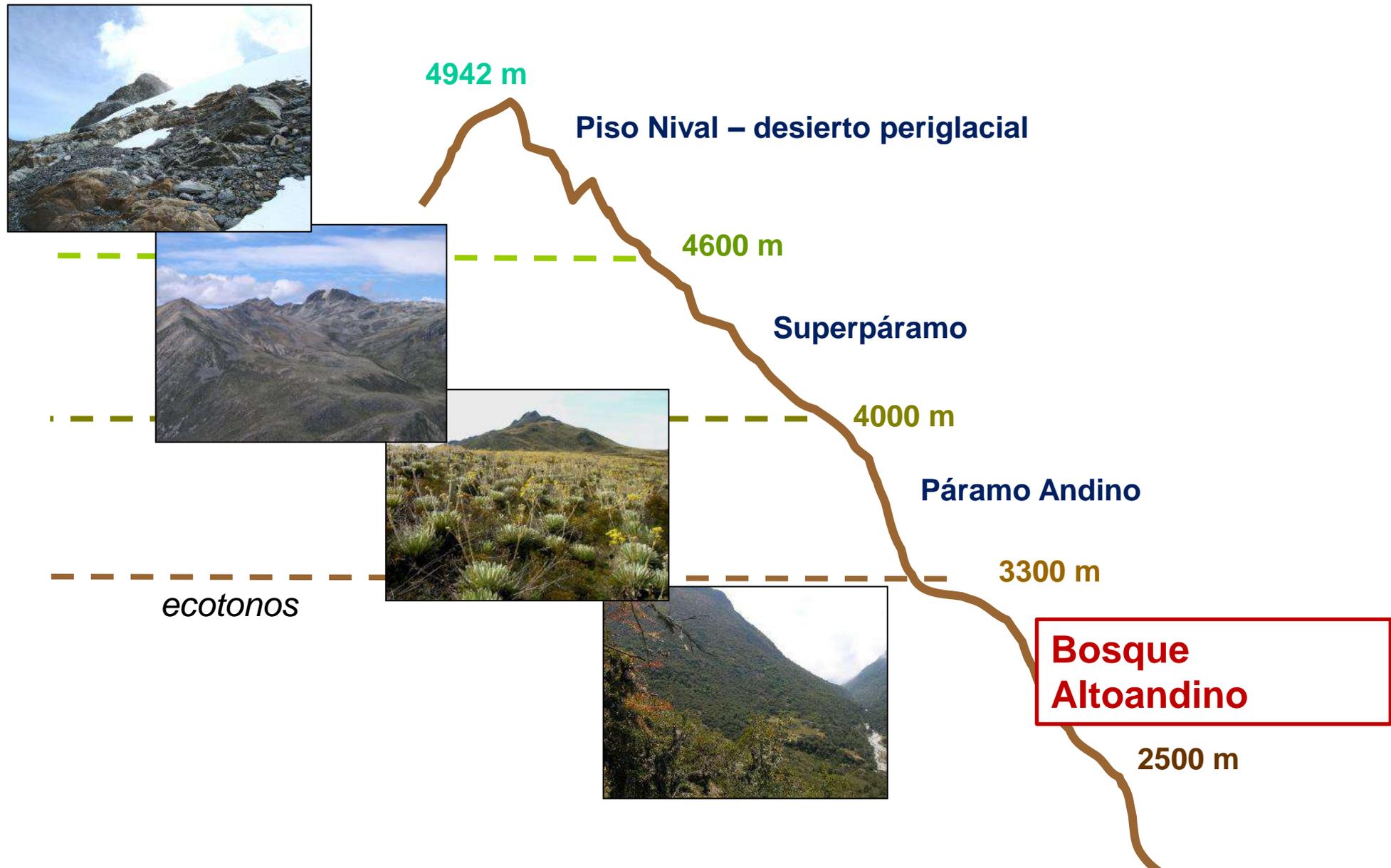


Braun y Bezada (2013)

NUESTRO RECORRIDO...



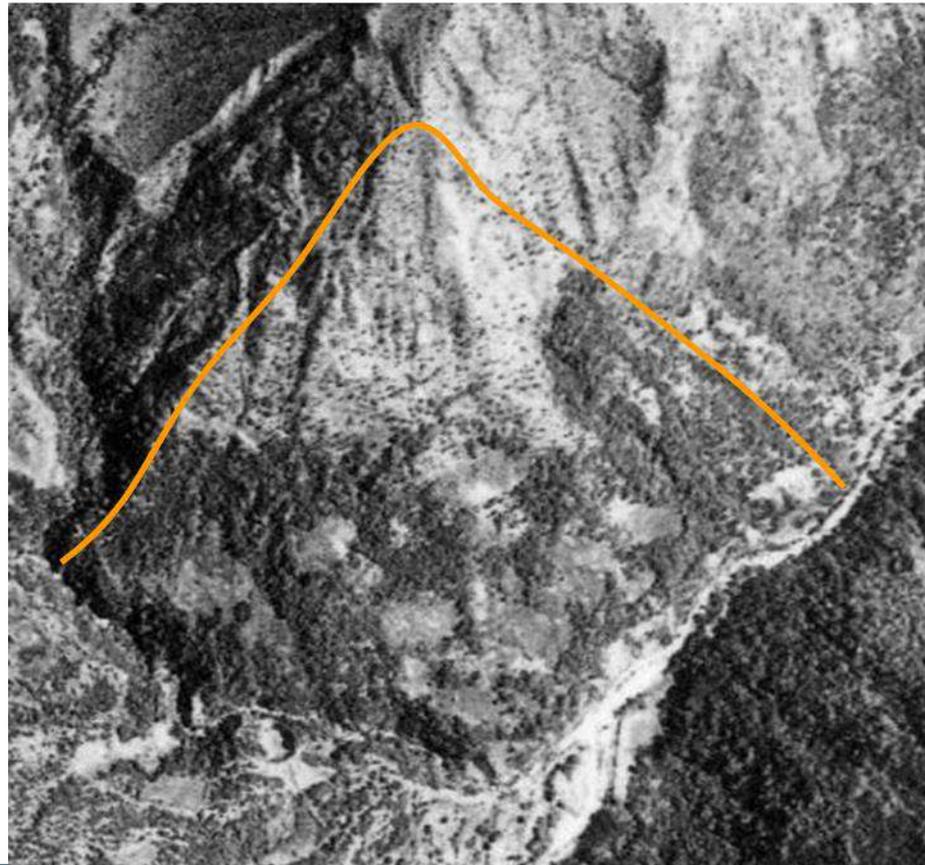
NUESTRO RECORRIDO...



Bosque Altoandino: dinámica del ecotono bosque-páramo

Sucesión SECULAR

Densificación/migración de vegetación del bosque



1952

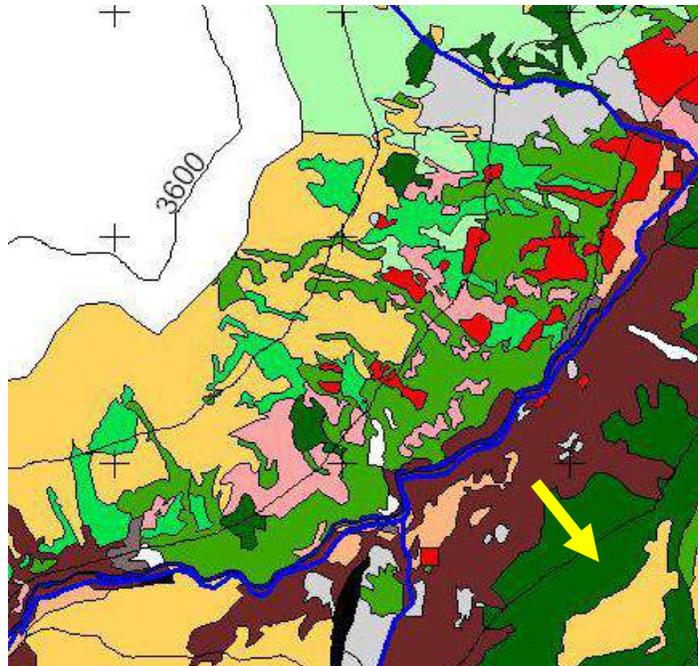


2008

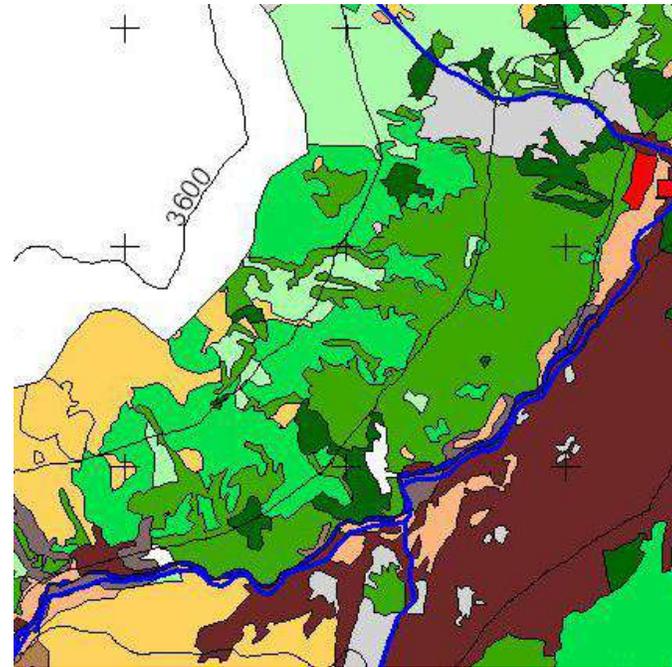
Bosque Altoandino: dinámica del ecotono bosque-páramo

Sucesión SECULAR

Densificación/migración de vegetación del bosque



1952



1999



-  Bosques
-  Páramo de arbustal

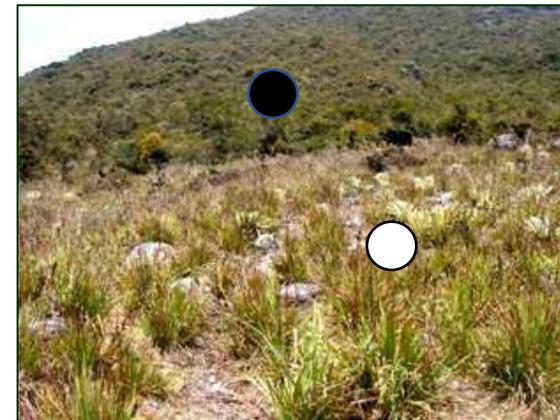
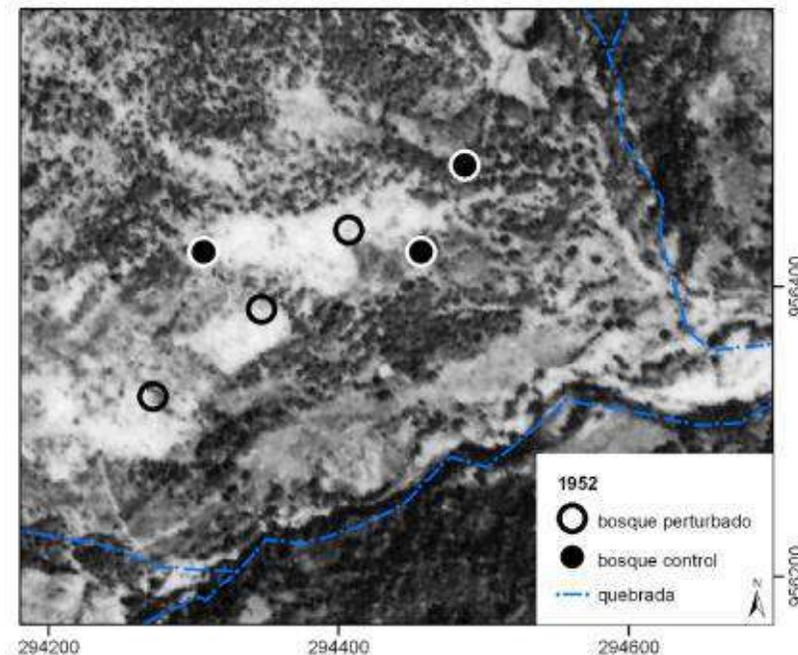
- Aumento en densidad de leñosas y avance de *especies* del bosque sobre el páramo

Bosque Altoandino

REEMPLAZO (paramización)

Colonización de plantas del páramo en el bosque

- Enfoque sincrónico (González et al. 2011):
- Parcelas cultivadas y abandonadas en los años 1960 (50 años sucesión secundaria)
- Comparación con parcelas de bosque no cultivado (control)

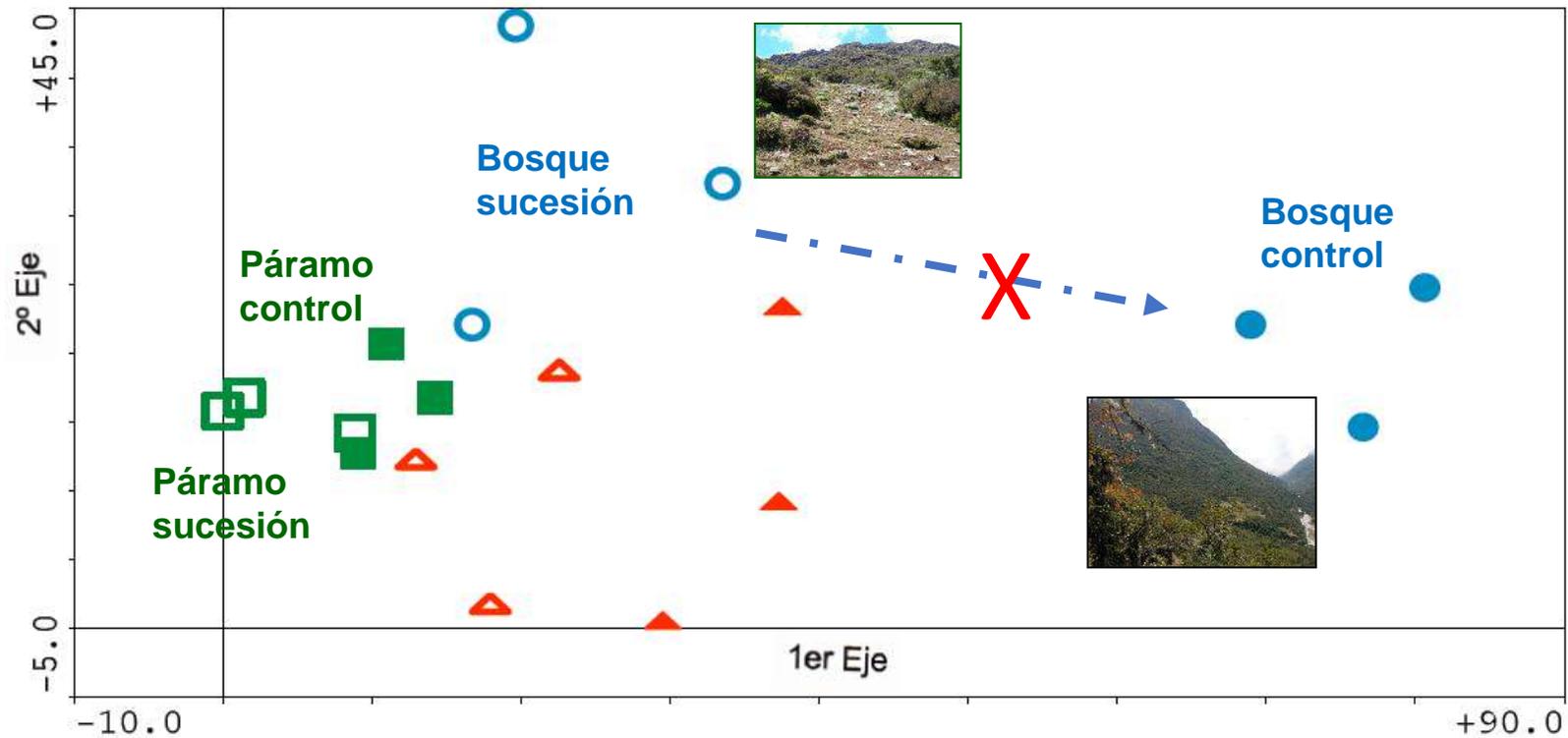


Bosque Altoandino

REEMPLAZO (paramización)

Colonización de pioneras del páramo en el bosque

📍 Análisis multivariado: Parcelas en sucesión (50 años) vs. control no cultivado



NUESTRO RECORRIDO...



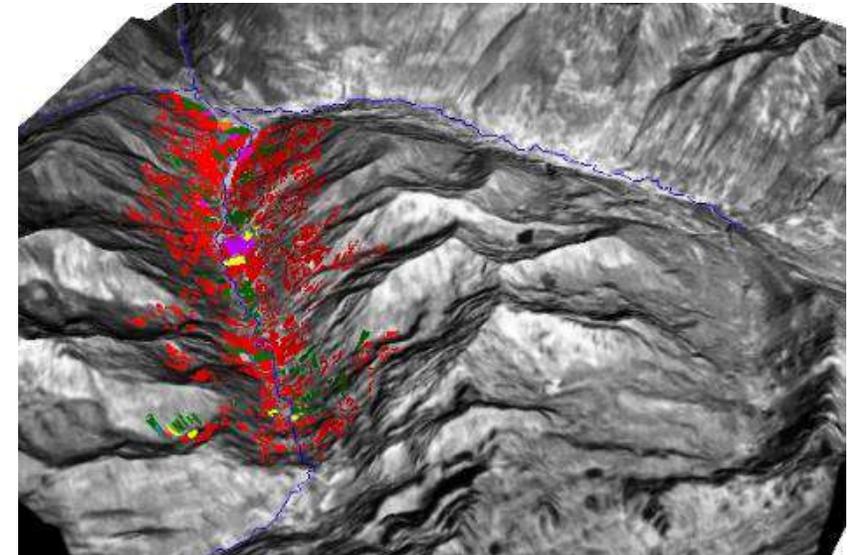
Paramo Andino: VERTIENTES HUMEDAS (Agricultura papera con descansos)

Sucesión SECUNDARIA

Recuperación efectiva de la fisionomía de la vegetación

Historia de uso: menos de 100 años

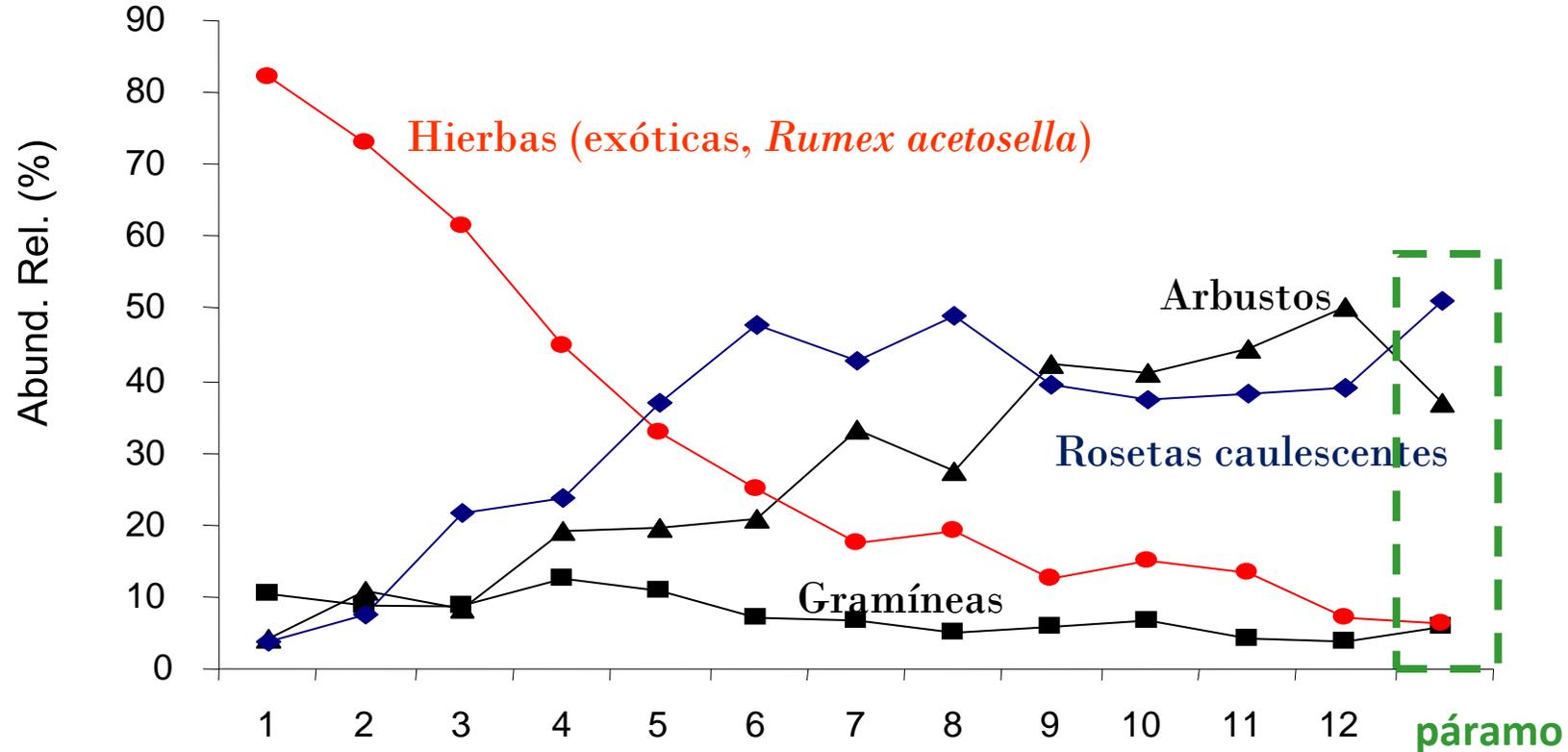
- Enfoque sincrónico (Sarmiento y Llambí 2011):
- Parcelas cultivadas en descanso: 1 a 12 años en sucesión
- Comparación con páramos no cultivados (control)



Paramo Andino: VERTIENTES HUMEDAS

Sucesión SECUNDARIA

Recuperación efectiva de la fisionomía de la vegetación



Tiempo de descanso

Sucesión secundaria

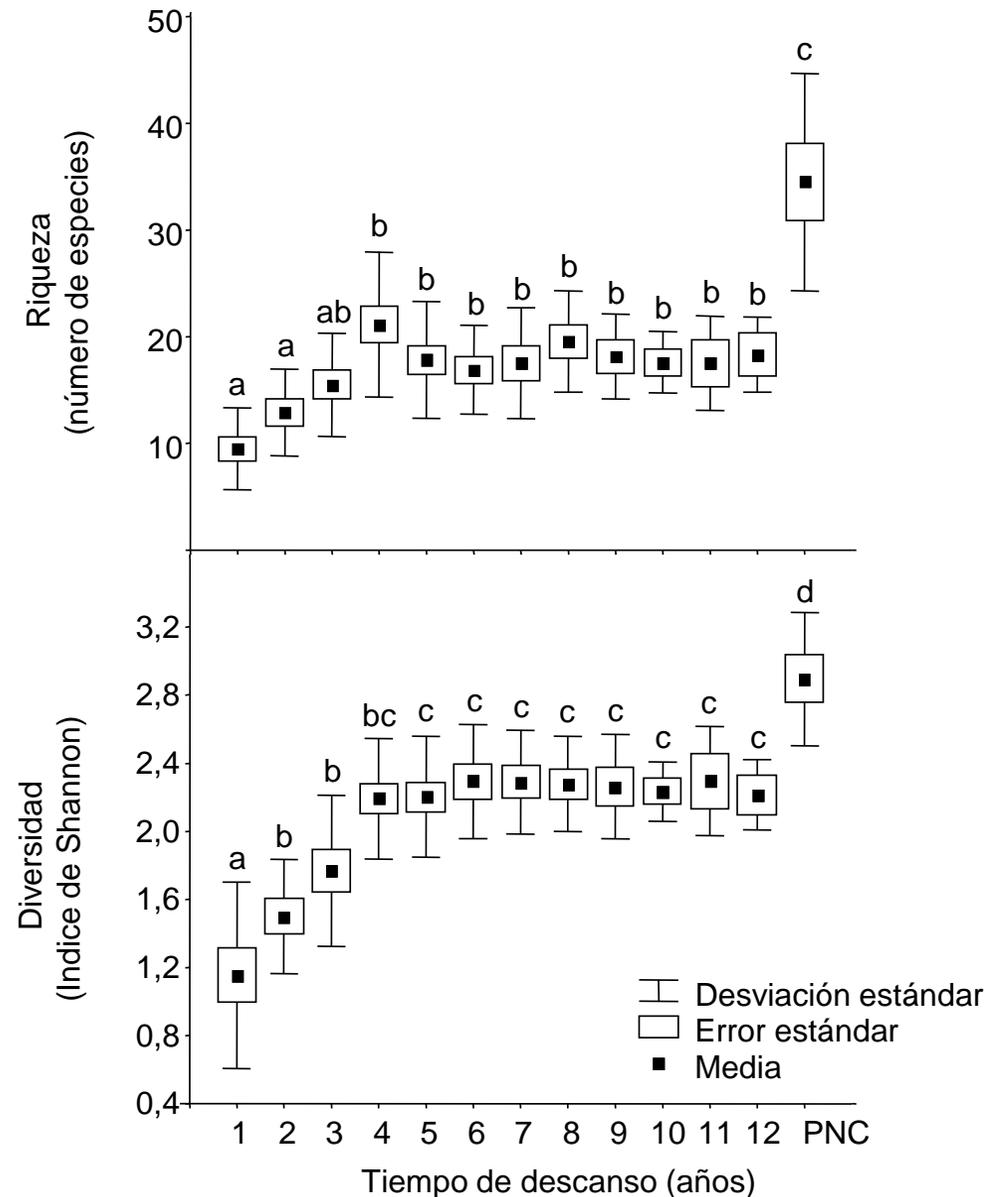


Paramo Andino: VERTIENTES HUMEDAS

Cambio en la riqueza y diversidad de especies

- Recuperación efectiva de la fisionomía de la vegetación pero incompleta de la riqueza /diversidad de especies

Fuente: Sarmiento et al. (2003)

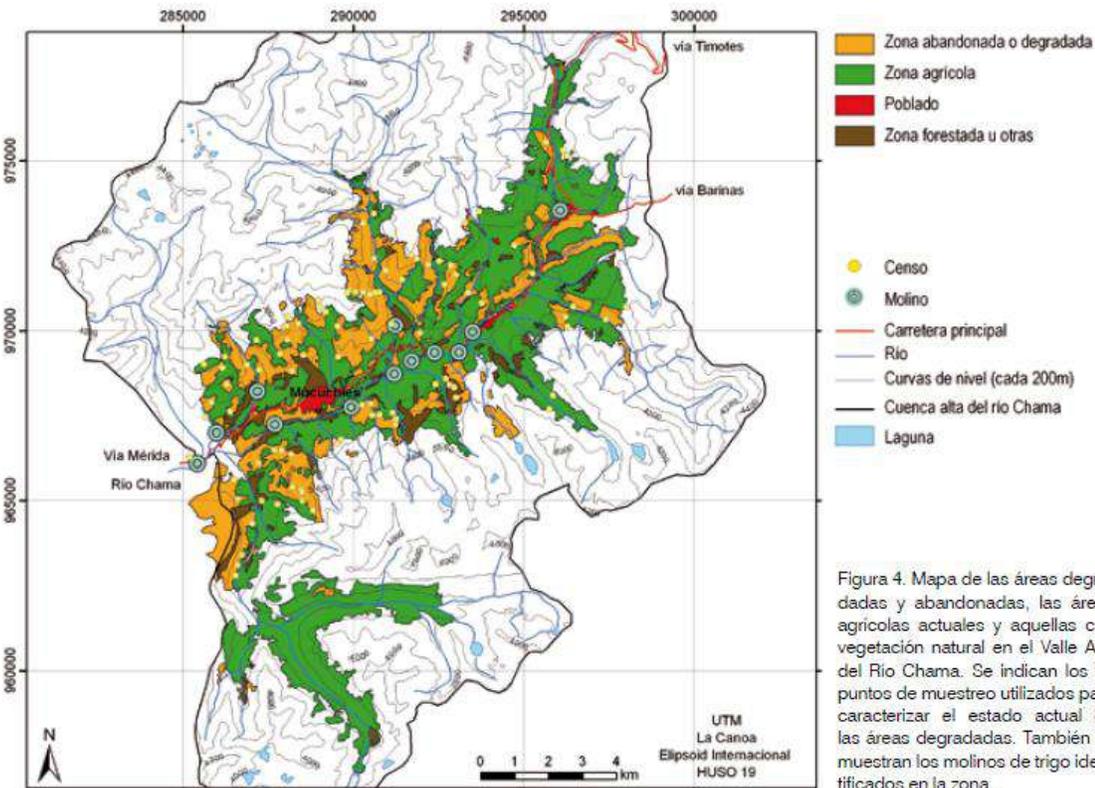


Paramo Andino: VERTIENTES SECAS (Bolsones Sermi-áridos)

Sucesión CONGELADA

Limitación colonización de plantas / suelos decapitados

- Enfoque sincrónico (Sarmiento et al. 2015):
- Áreas abandonadas de cultivo de TRIGO
- Comparación con páramos no transformados (control)



Historia de uso: más de 300 años



Paramo Andino: VERTIENTES SECAS (Agricultura Triguera en Bolsones Semi-áridos)

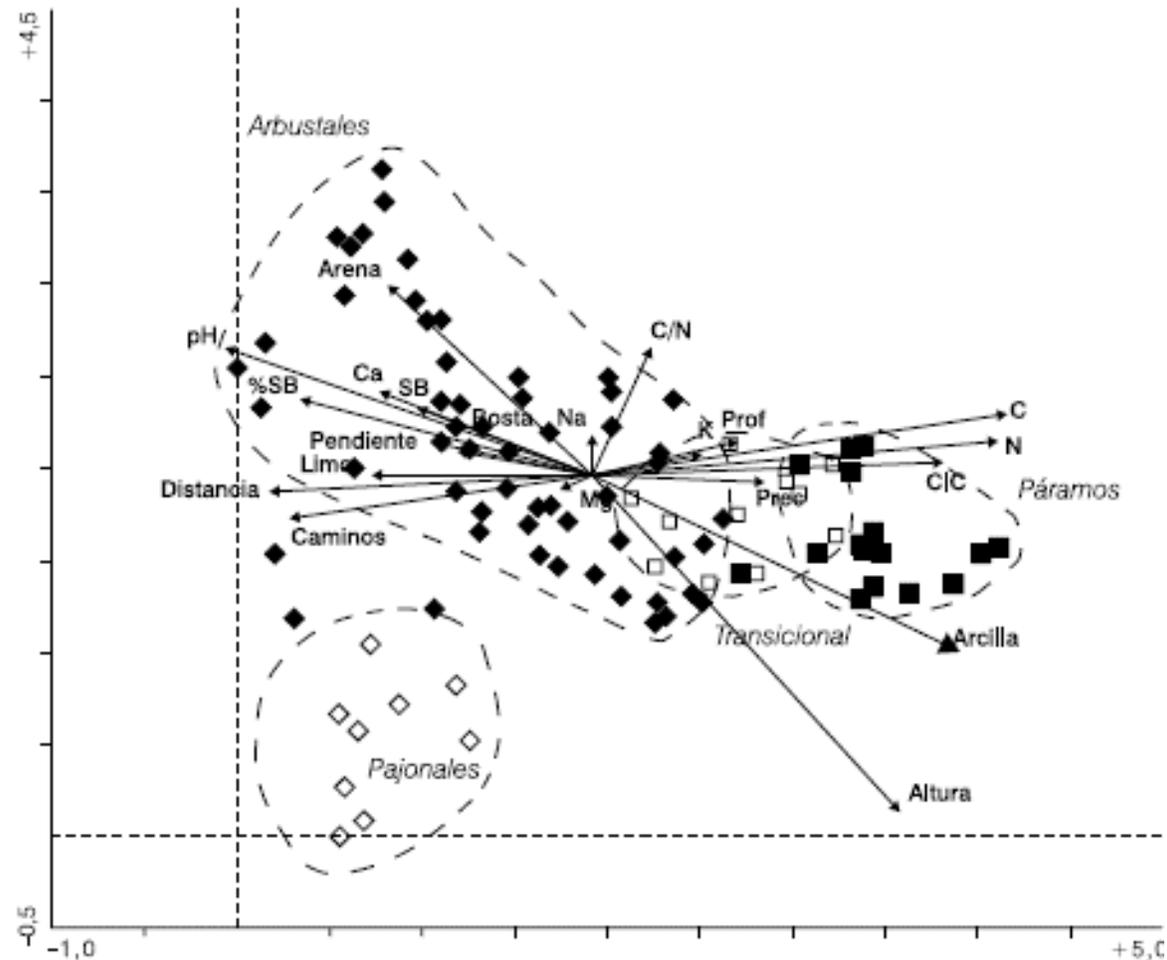
Sucesión CONGELADA

Limitación colonización de plantas / suelos decapitados

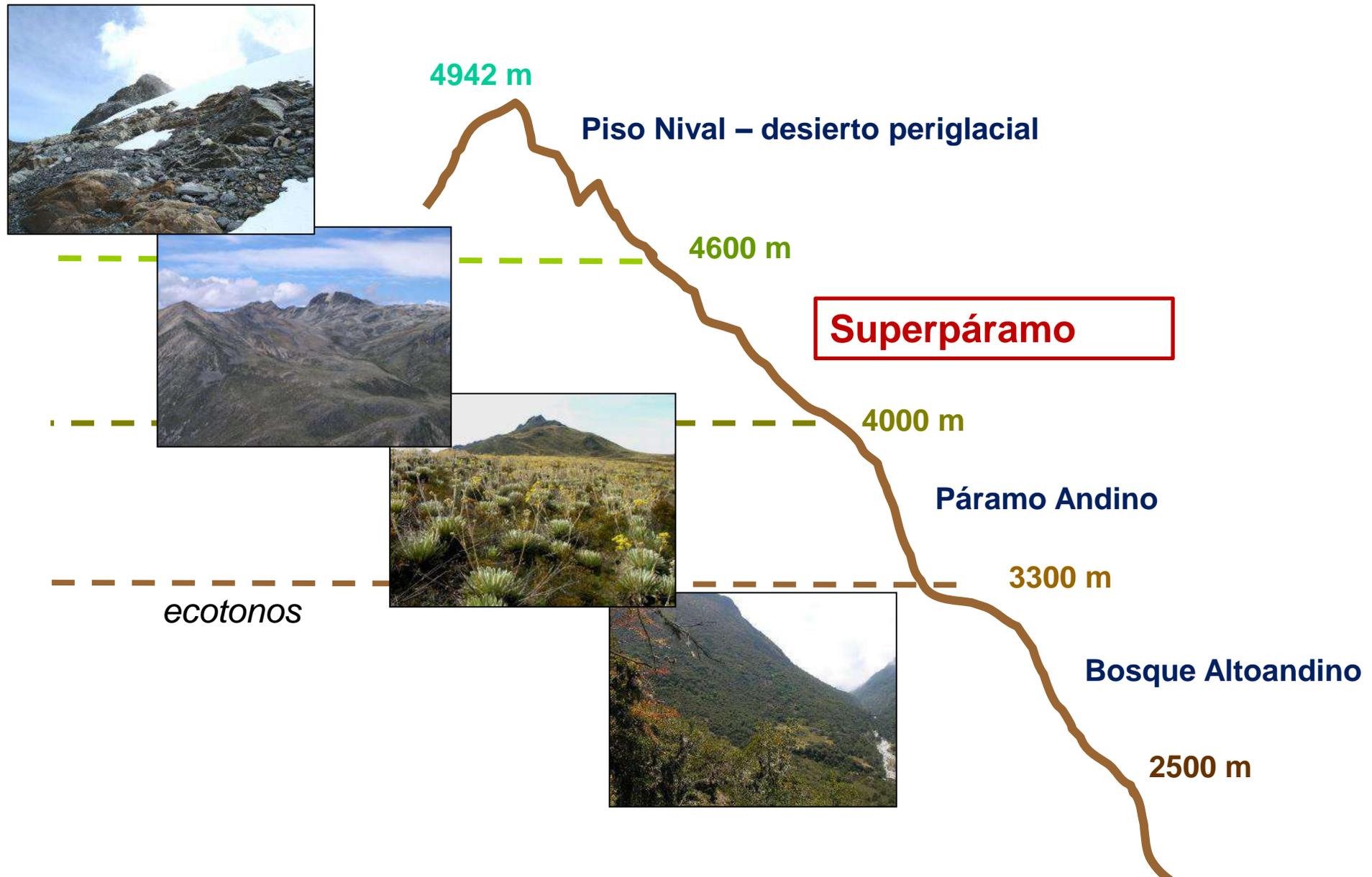
Pajonales (degradados)



Páramos Naturales



NUESTRO RECORRIDO...



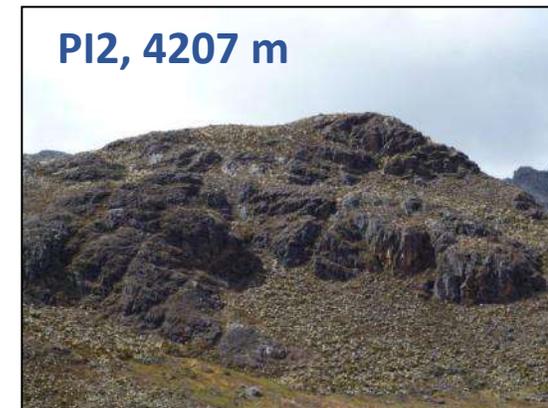
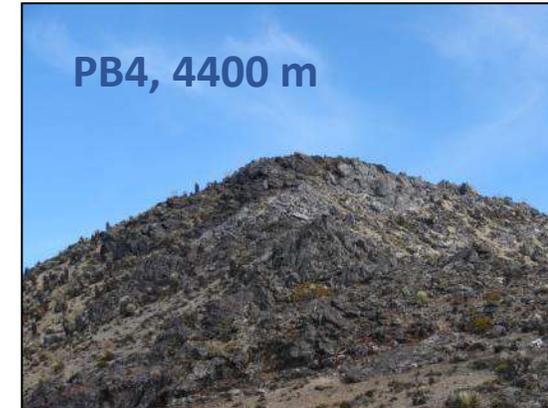
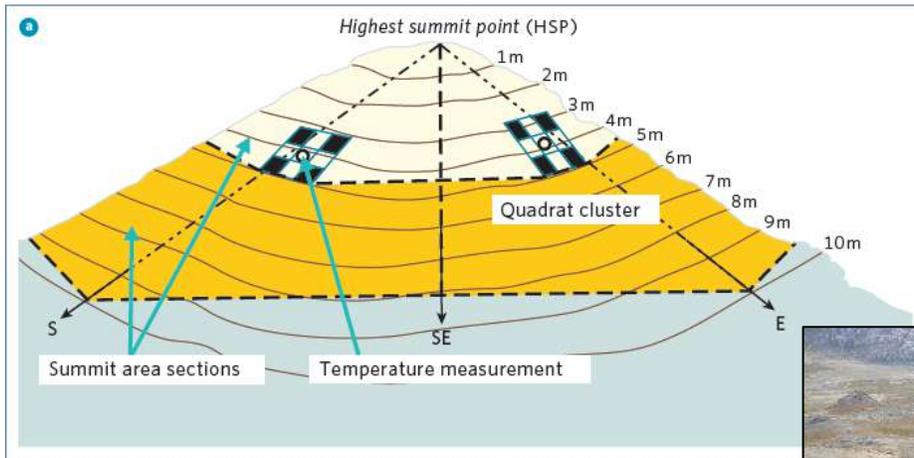
Superpáramo

Instalación 2012
Re-muestreo 2017

Sucesión SECULAR

Colonización de plantas desde elevaciones inferiores

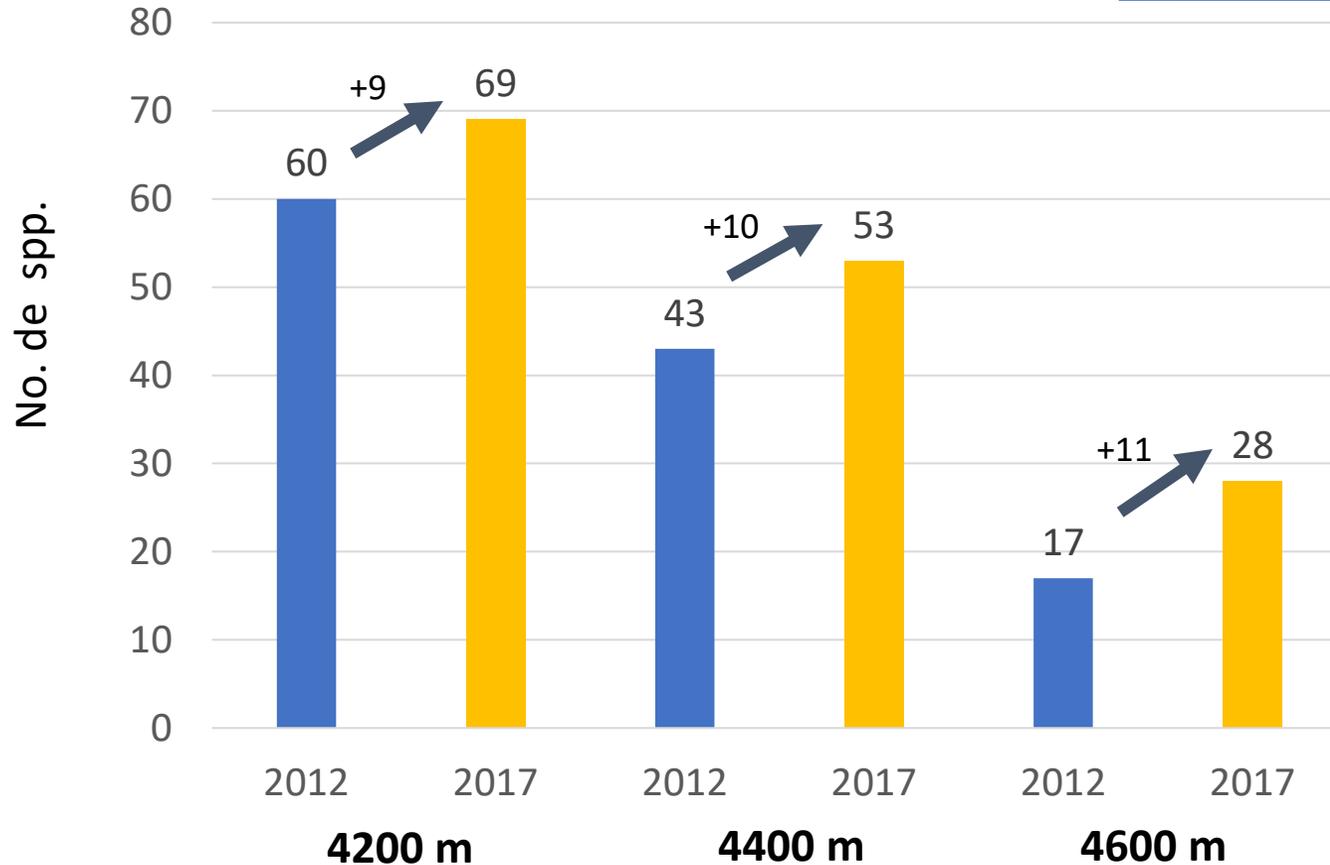
- Enfoque diacrónico (Llambí et al. 2023):
- Monitoreo de cumbres Red GLORIA-Andes
- 3 cumbres Parque Nacional La Culata
- Comparación de censos 2012-2017



Riqueza Total

Número de plantas vasculares

CAMBIOS EN TODA LA CUMBRE



Cambios en Parcelas de 1x1 m

Cumbre 4400 m

2012 → 2017

Agrostis tolusensis

Bartsia spp.

Castilleja fissifolia

Gnaphalium meridanum

Pentacalia imbricatifolia

Rumex acetosella

- Riqueza: **6 spp.**
- Cobertura: **56%**

- Riqueza: **8 spp.**
- Cobertura: **73%**

Agrostis tolusensis

Castilleja fissifolia

Conyza mima

Pentacalia imbricatifolia

Pluchea biformis

Rumex acetosella

Senecio funkii

Syrinchium tinctorium

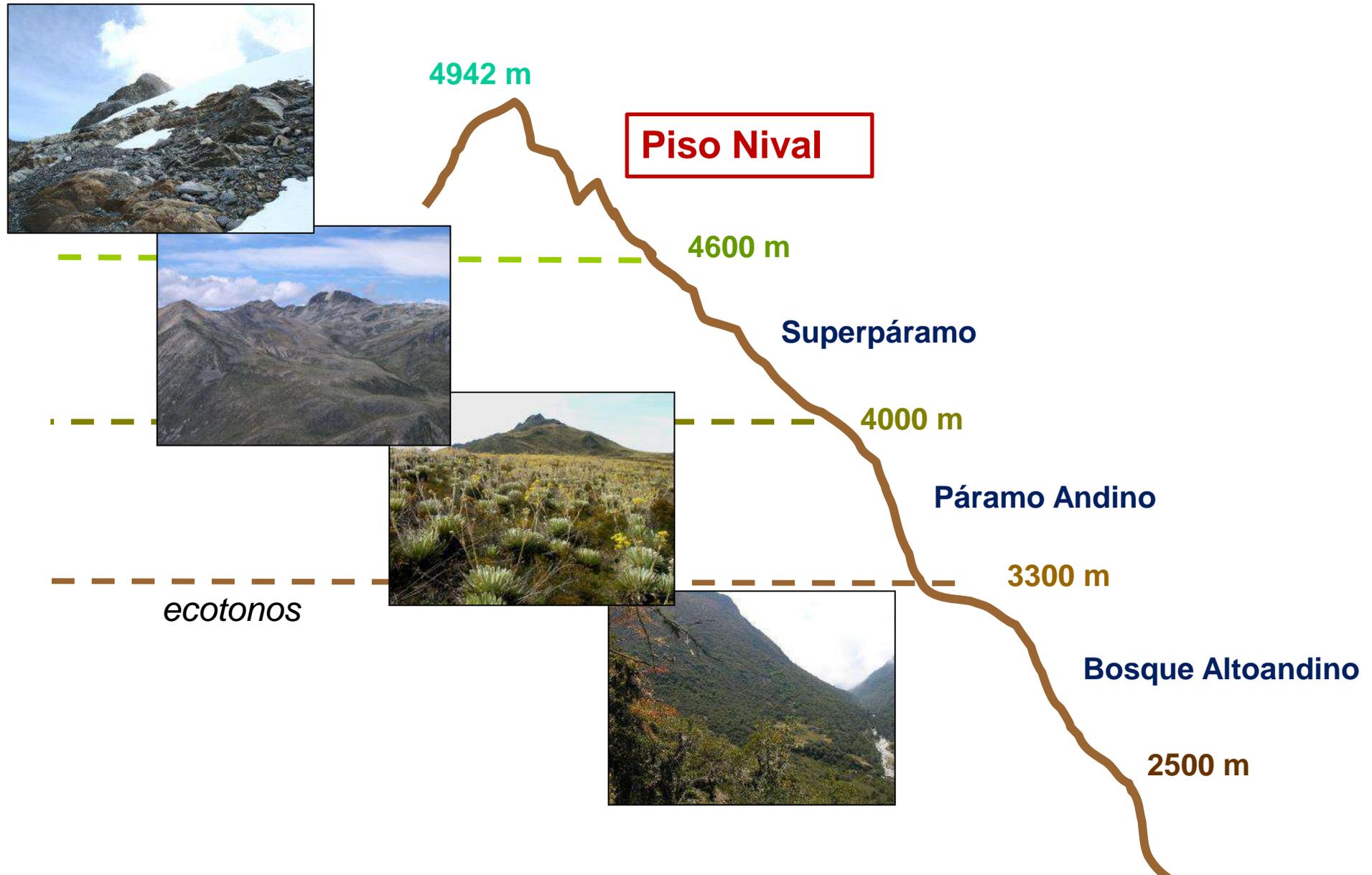


@ *Rumex acetosella* (exótica invasora) se ha convertido en una especie dominante en el superpáramo (sobre los 4000 m elevación)



Cumbre
monitoreo
(GLORIA)
4400 m

NUESTRO RECORRIDO...

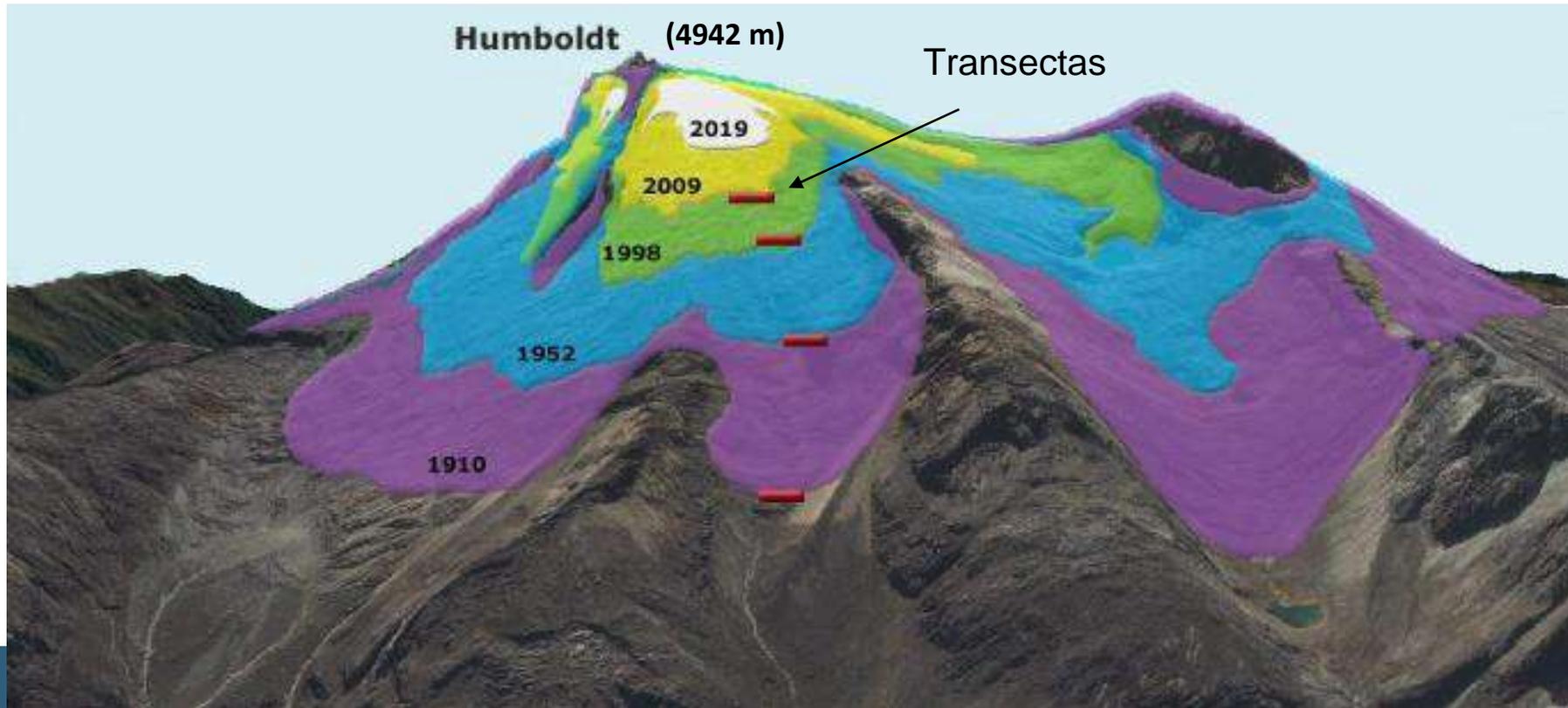


Piso nival – desierto periglacial:

Sucesión PRIMARIA

Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar

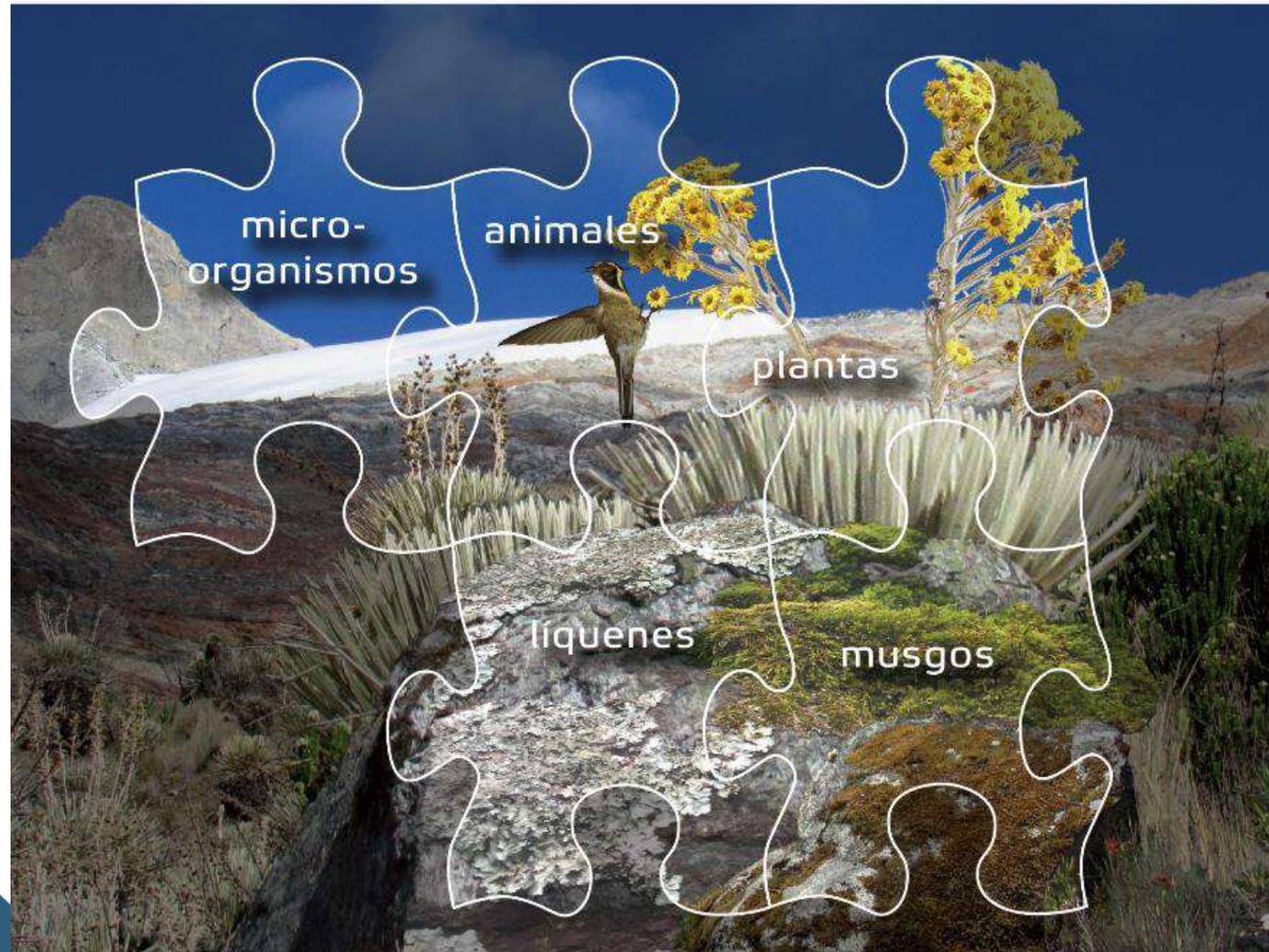
- Enfoque sincrónico (Ramírez et al. 2020, Llambí et al. 2021):
- Cronosecuencia en zonas de retroceso del último glaciar de Venezuela



Sucesión PRIMARIA

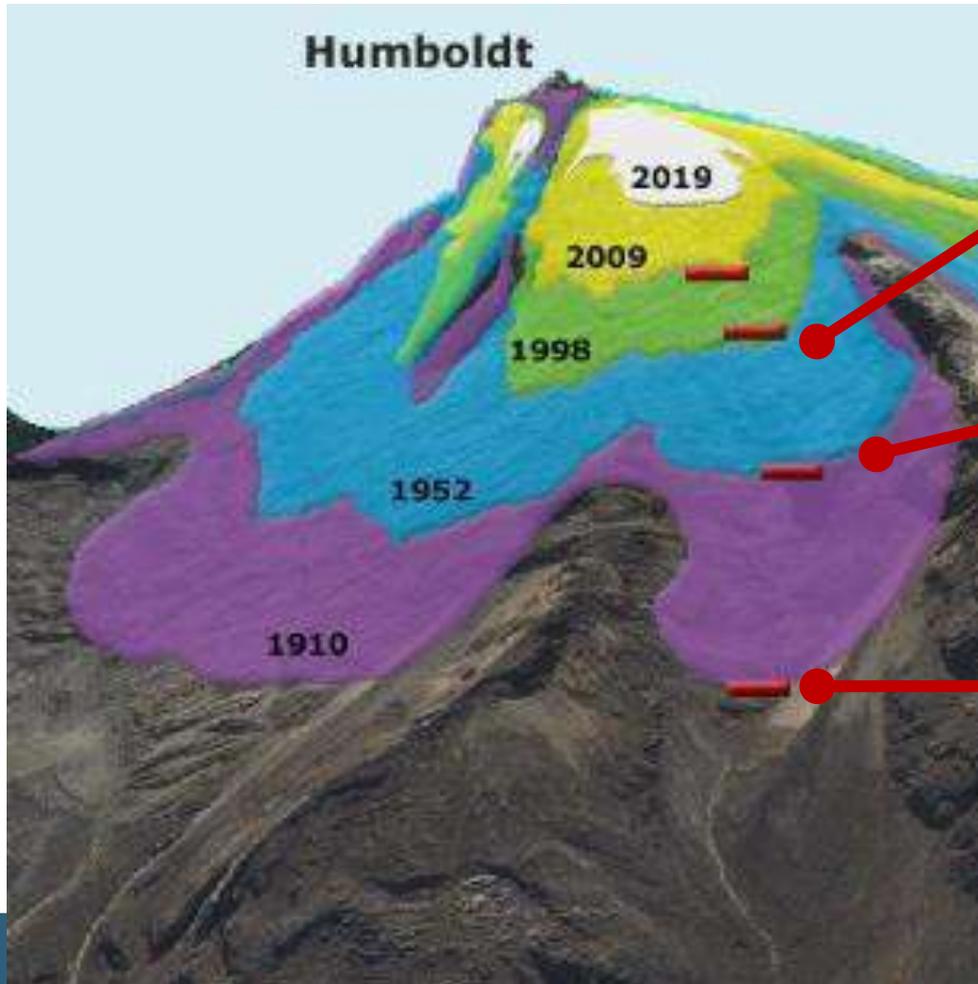
Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar

EL ROMPECABEZAS DE LAS INTERACCIONES
DURANTE LA SUCESIÓN PRIMARIA



Piso nival – desierto periglacial:

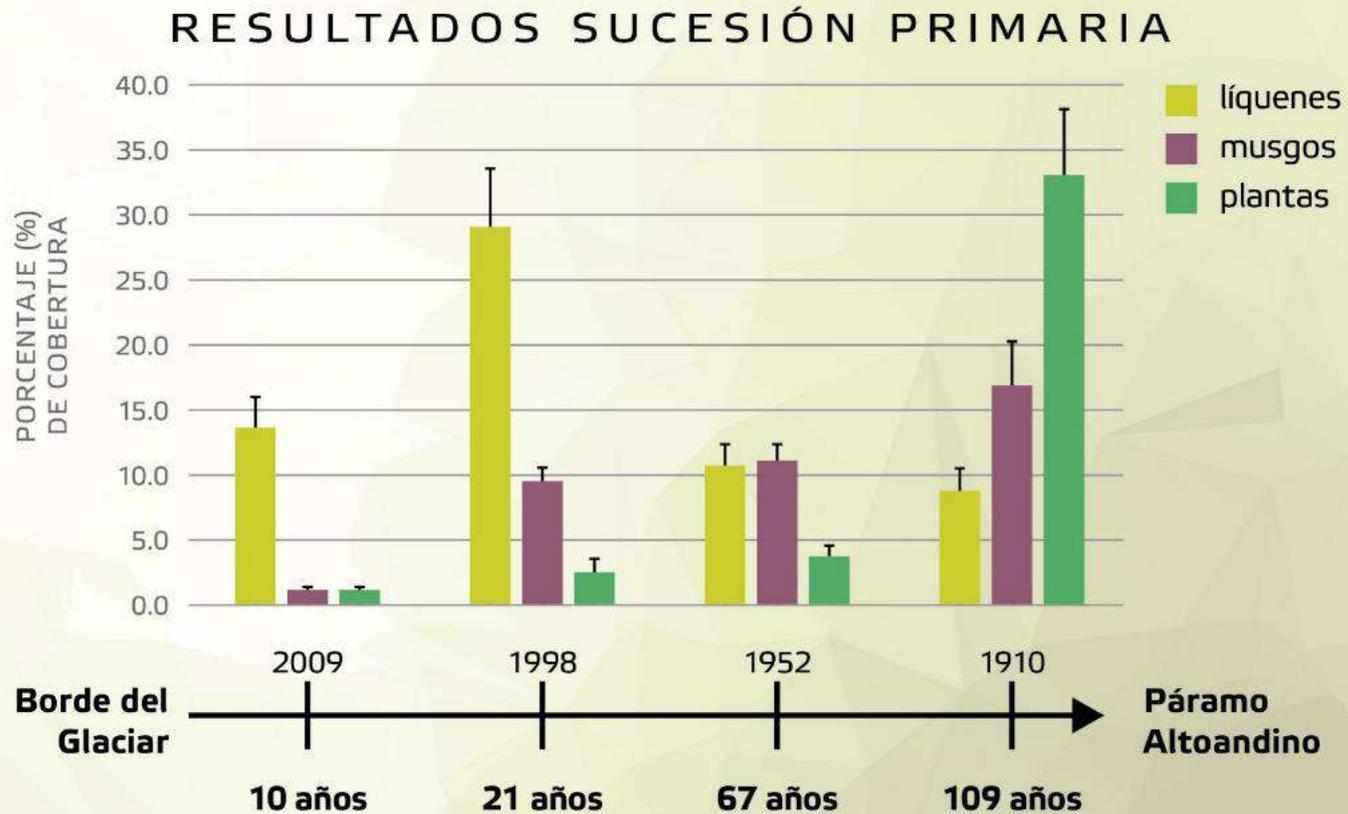
Sucesión PRIMARIA



Piso nival – desierto periglacial:

Sucesión PRIMARIA

Desarrollo lento, nuevos ecosistemas en zonas de retroceso glaciar



Líquenes



Musgos



Plantas vasculares



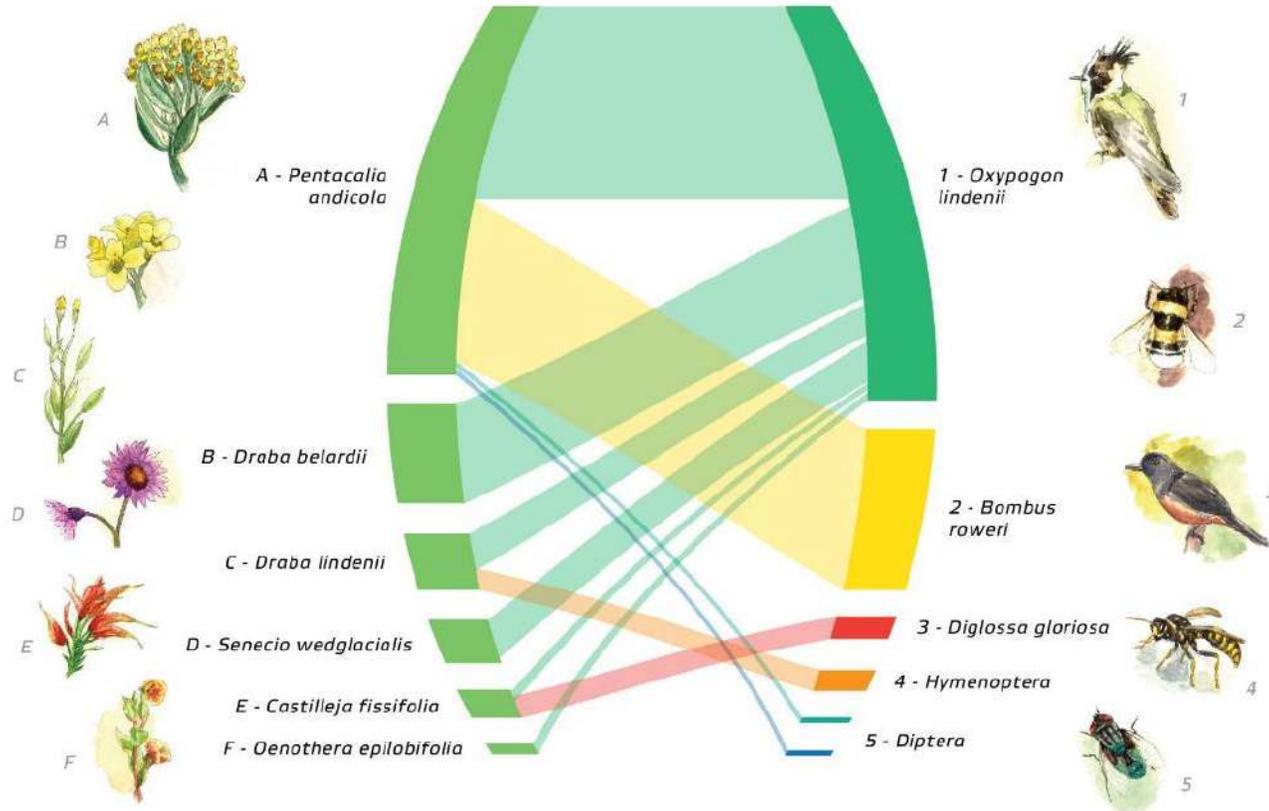
Piso nival – desierto periglacial:

Sucesión PRIMARIA

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



RED PLANTA-POLINIZADOR



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

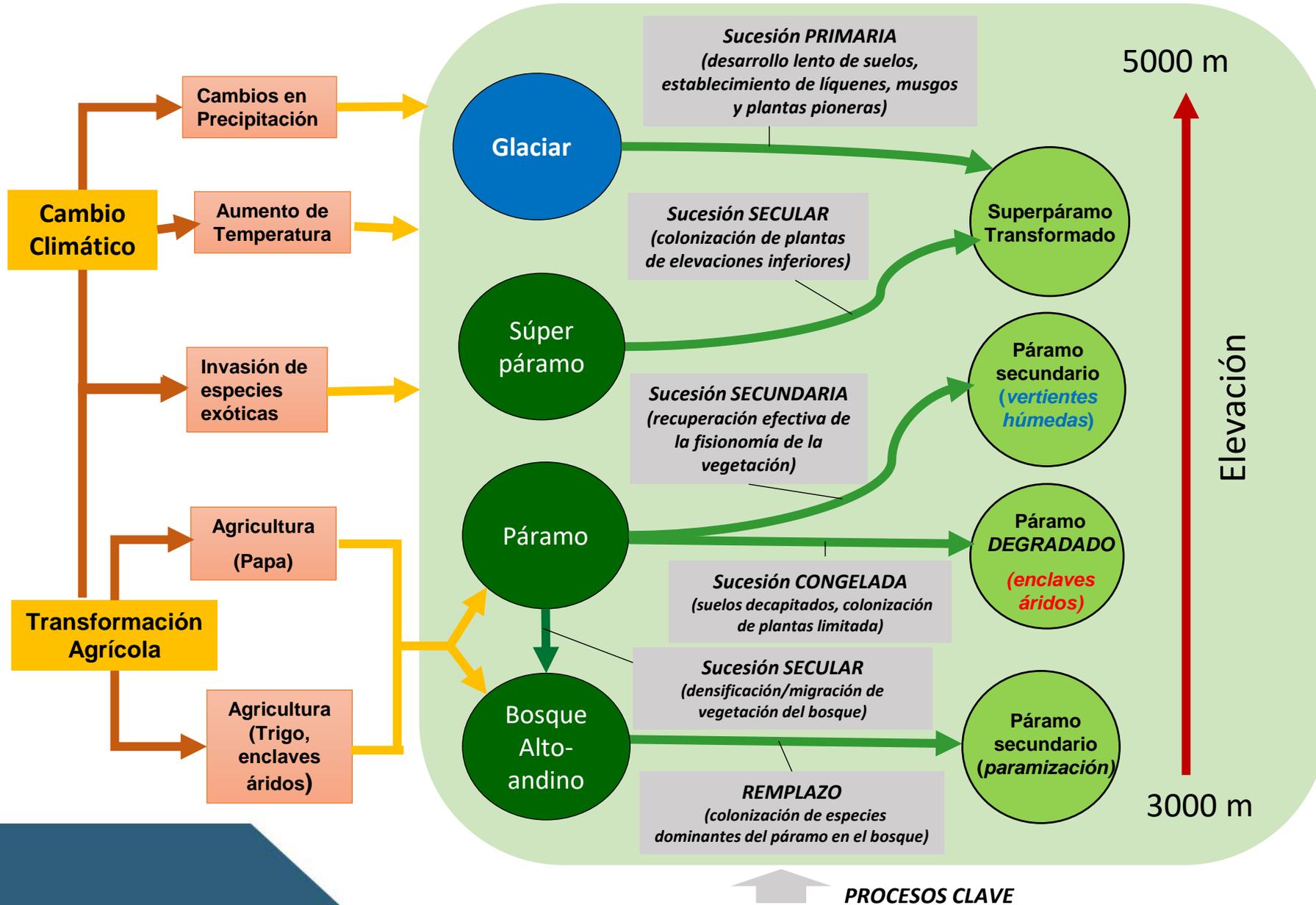
Motores: Cambio Climático y CUT

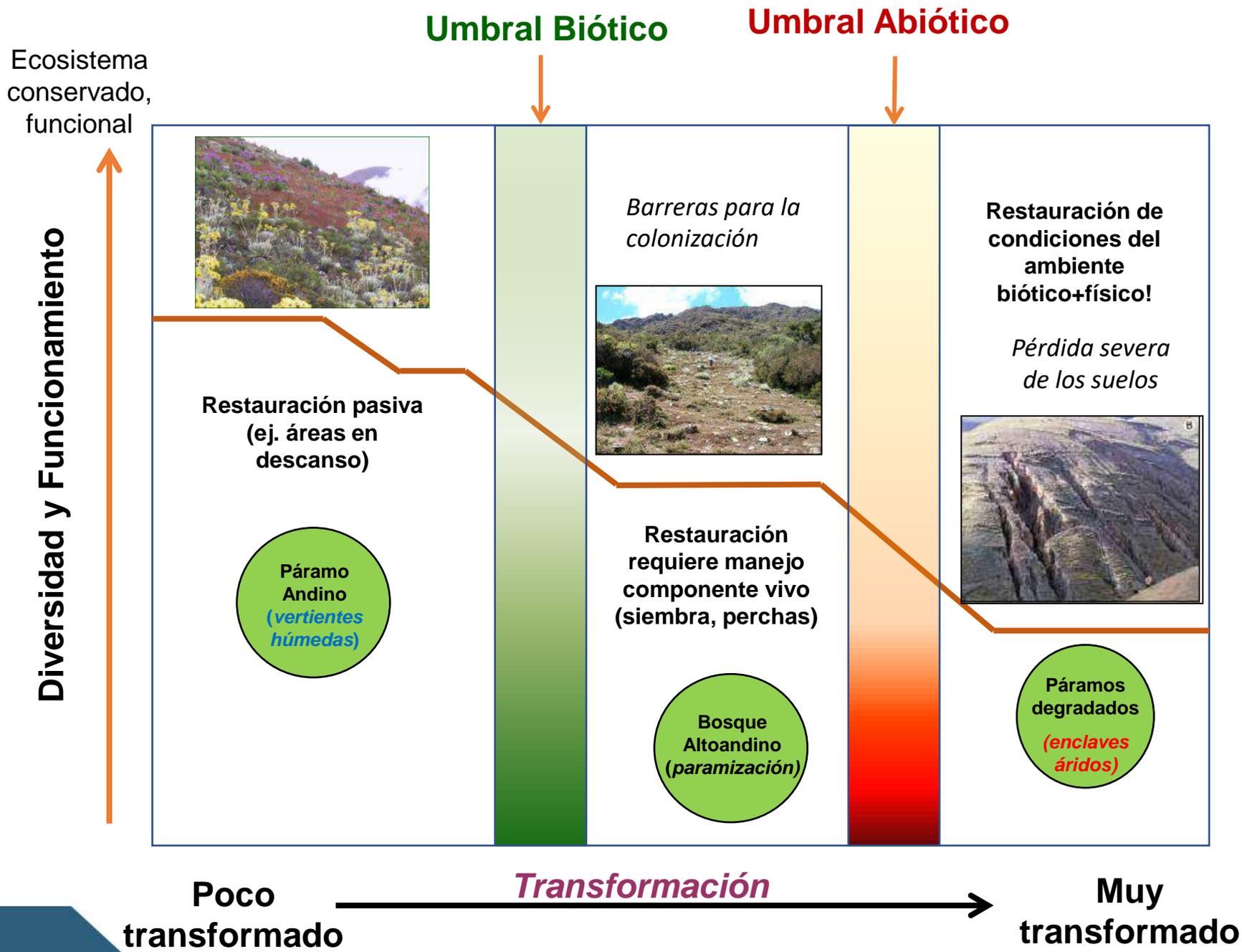


Ecosistemas

Transformación Sucesión

Ecosistemas transformados / nuevos





Modificado de: Cramer et al. (2007)

Algunos mensajes a manera de conclusión...

- Para entender la dinámica de los ecosistemas y la vegetación clave integrar **múltiples escalas** espaciales y temporales de análisis
- Dinámicas de **uso de la tierra + cambio climático** han generado (están generando) **transformaciones profundas** a lo largo de los Andes
- Cambios no ocurren a la misma tasa / dirección en áreas con diferentes condiciones ambientales o historias de uso: **nuevas combinaciones de motores** de transformación
- Necesario analizar estos cambios en paisajes de montaña a lo largo de **gradientes ambientales** (elevación) **+ gradientes de transformación**
- Análisis puede combinar el uso de **estrategias sincrónicas** (cronosecuencias) **+ estrategias diacrónicas** (monitoreo)
- Fundamental considerar la **historia de transformación y la heterogeneidad ambiental** para entender paisajes de montaña y diseñar estrategias de manejo /restauración efectivas: no sirven recetas de cocina!
- *ES FUNDAMENTAL DOCUMENTAR, REPORTAR Y COMPARTIR SUS EXPERIENCIAS A LO LARGO DE LOS ANDES*

Referencias recomendadas...

- Iniciativa Andina de Montañas. Infografías: *Gente en Los Andes*, *Cambio Climático en Los Andes*, *Biodiversidad en Los Andes* (iam-andes.org)
- Plataforma de Indicadores Socio-Ambientales de los Andes (<https://indicadores-andinos.condesan.org/>)
- Gloria Andes: <https://redgloria.condesan.org/>

- Carilla, J., Araoz, E, Osinaga O, Malizia A, Malizia M, Jiménez J, , Peralvo, M, Garcés A, Lasso G and Llambí, LD. 2023. **Long-term environmental and social monitoring in the Andes: state of the art, knowledge gaps and priorities for an integrated agenda.** Mountain Research and Development 43(2):A1-A9.
- Cuesta F, Llambí LD, Huggel C, Drenkhan F, Gosling WD, Muriel P, Jaramillo R, Tovar C. 2019. **New land in the Neotropics: a review of biotic community, ecosystem and landscape transformations in the face of climate and glacier change.** Regional Environmental Change 19(6):1623–1642.
- Llambí LD. 2015. **Estructura, diversidad y dinámica de la vegetación en el ecotono bosque-páramo: revisión de la evidencia en la Cordillera de Mérida.** Acta Biológica Colombiana 20(3):5-20.
- Cuesta F, Tovar C, Llambí LD, et al. 2020. **Thermal niche traits of high alpine plant species and communities across the tropical Andes and their vulnerability to global warming.** Journal of Biogeography 47(2):408-420.
- Cuesta, F., Carilla, J., Llambí, L.D. et al. 2023. **Compositional shifts of alpine plant communities across the high Andes.** Global Ecology and Biogeography. DOI: 10.1111/geb.13721
- Llambí LD, Rada F. 2019. **Ecological research in tropical alpine ecosystems of the Venezuelan páramo: past, present and future.** Plant Ecology and Diversity 12(6): 519-538. <https://doi.org/10.1080/17550874.2019.1680762>

Referencias recomendadas...

- Llambí LD et al. 2021. **Vegetation assembly, adaptive strategies and positive interactions during primary succession in the forefield of the last Venezuelan glacier.** *Frontiers in Ecology and Evolution* 9. doi.org/10.3389/fevo.2021.657755.
- Morueta-Holme, et al. 2015. **Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 12741–12745
- Rabatel, et al. 2013. **Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change.** *The Cryosphere* 7:81–102. doi:10.5194/tc-7-81-2013.
- Sarmiento, L. y Llambí, L.D. 2011. **Regeneración del Páramo Luego de un Disturbio Agrícola: síntesis de dos décadas de investigaciones en sistemas con descansos largos de la Cordillera de Mérida.** En: Herrera, F. y Herrera, I. (eds.). “La Restauración Ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias”. Ediciones IVIC, Caracas. Pp. 123-145.
- Tovar, C., Arnillas, C.A., Cuesta, F., Buytaert, W. 2013. **Diverging Responses of Tropical Andean Biomes under Future Climate Conditions.** *PLoS One* 8. doi:10.1371/journal.pone.0063634

Gracias!¿Preguntas?

