

Vegetación de alta-montaña y cambio global: una revisión en Los Andes



Lohengrin A. Cavieres^{1,2}, Luis Daniel Llambí^{3,4}, Fabien Anthelme⁵ & Robert Hofstede⁶

¹ Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

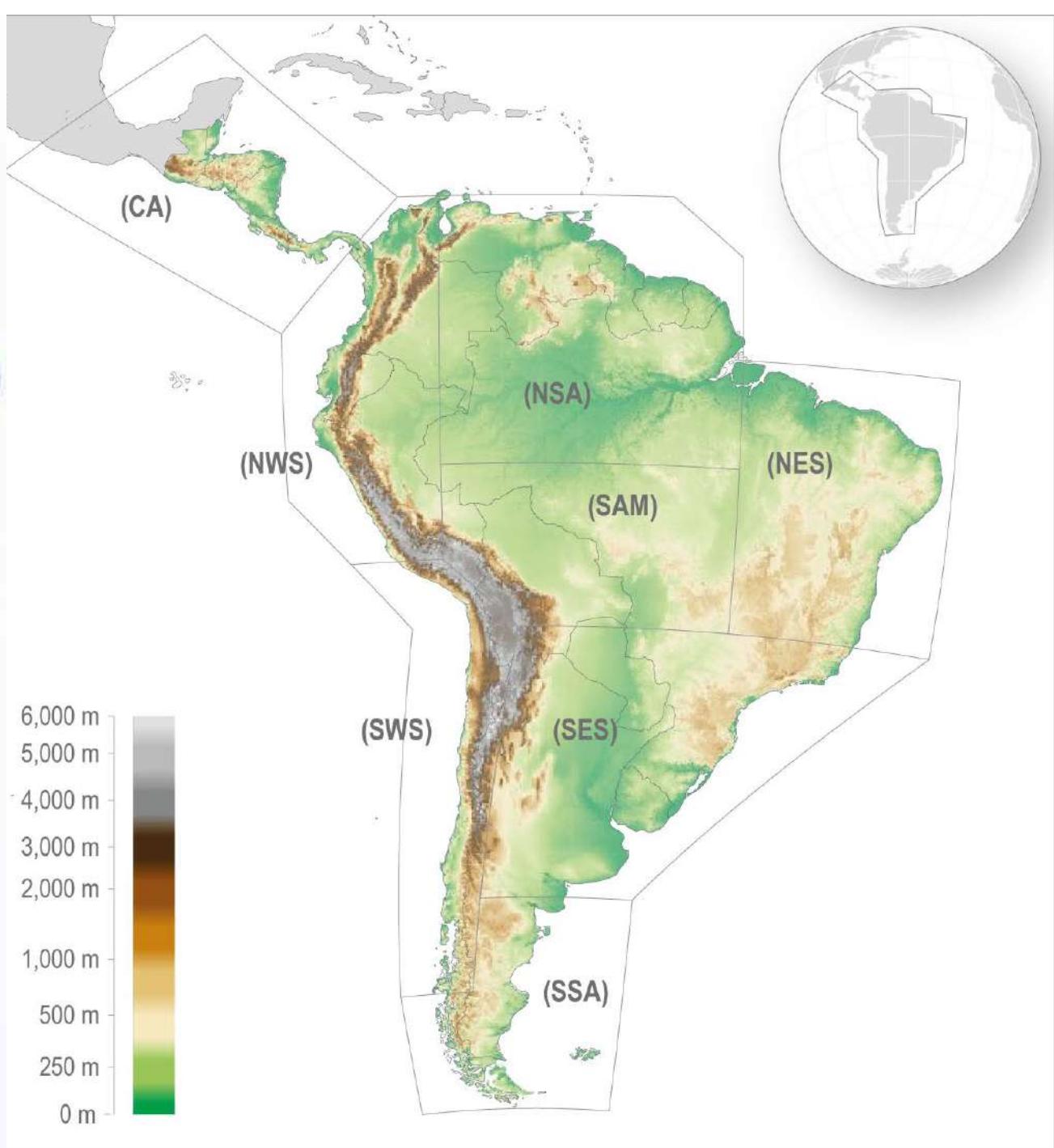
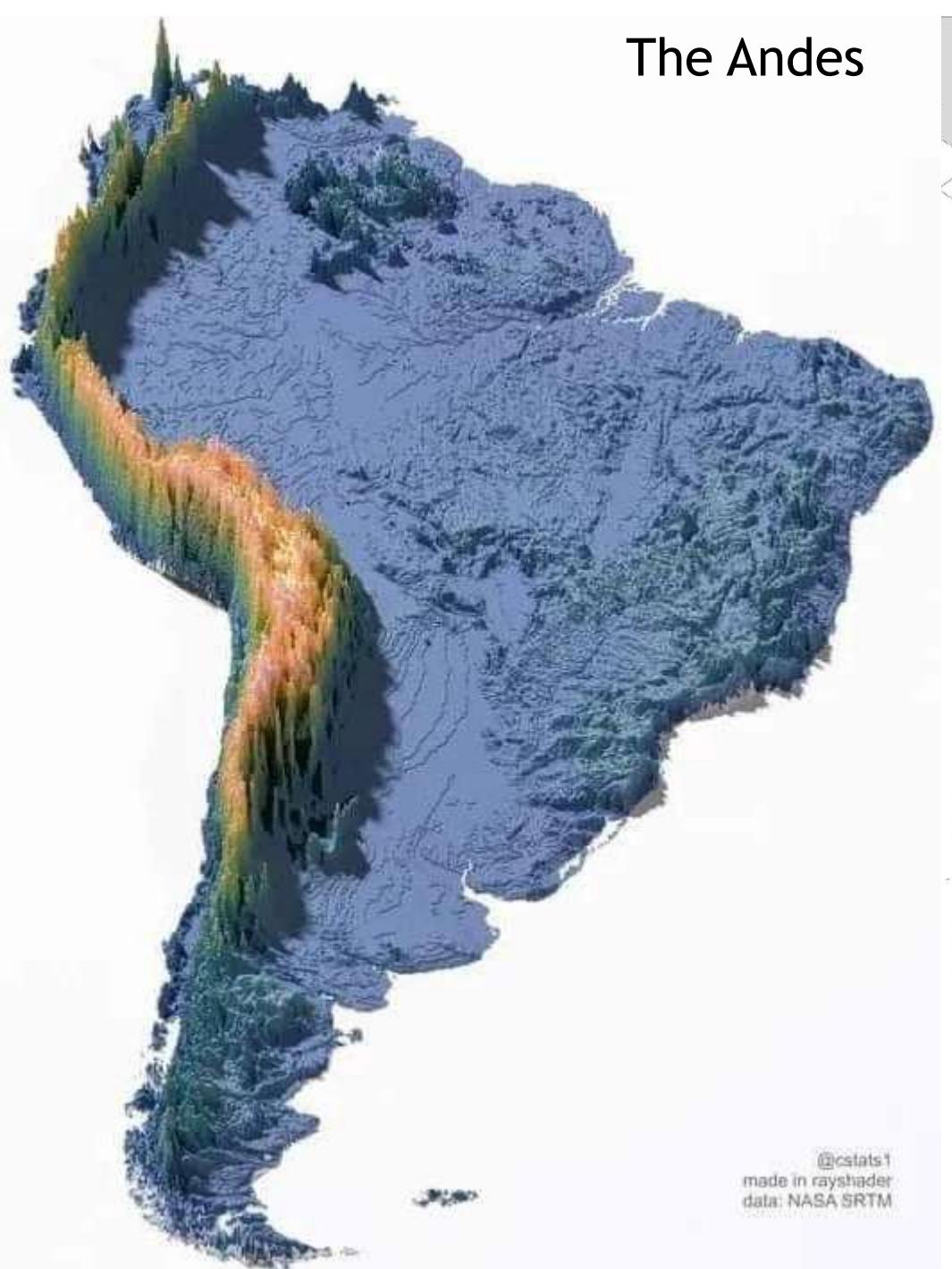
² Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Concepción, Chile.

³ Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Quito, Ecuador.

⁴ Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

⁵ AMAP, Univ Montpellier, IRD, CIRAD, CNRS, INRA, Montpellier, France.

⁶ Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

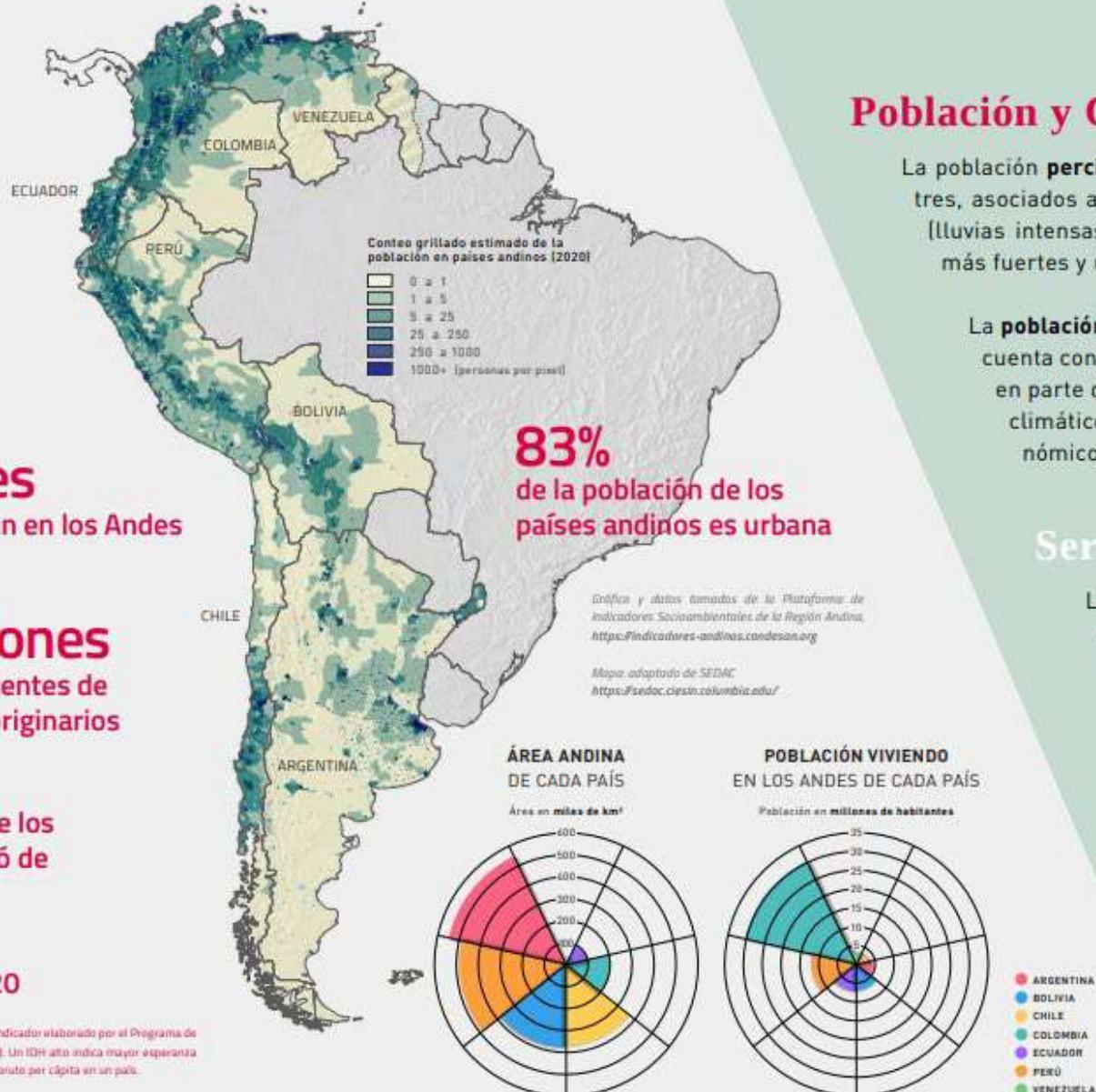


68 millones
de personas habitan en los Andes

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.

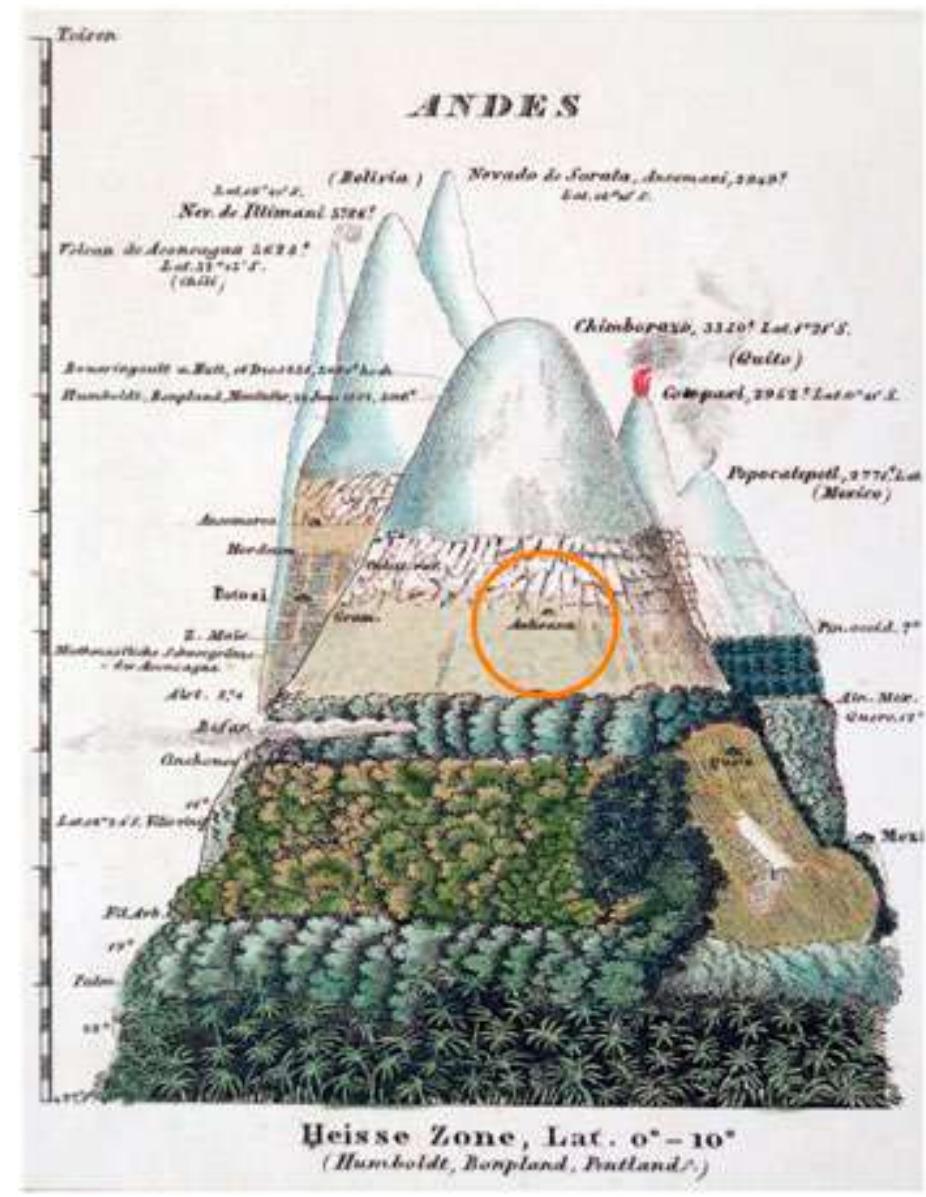
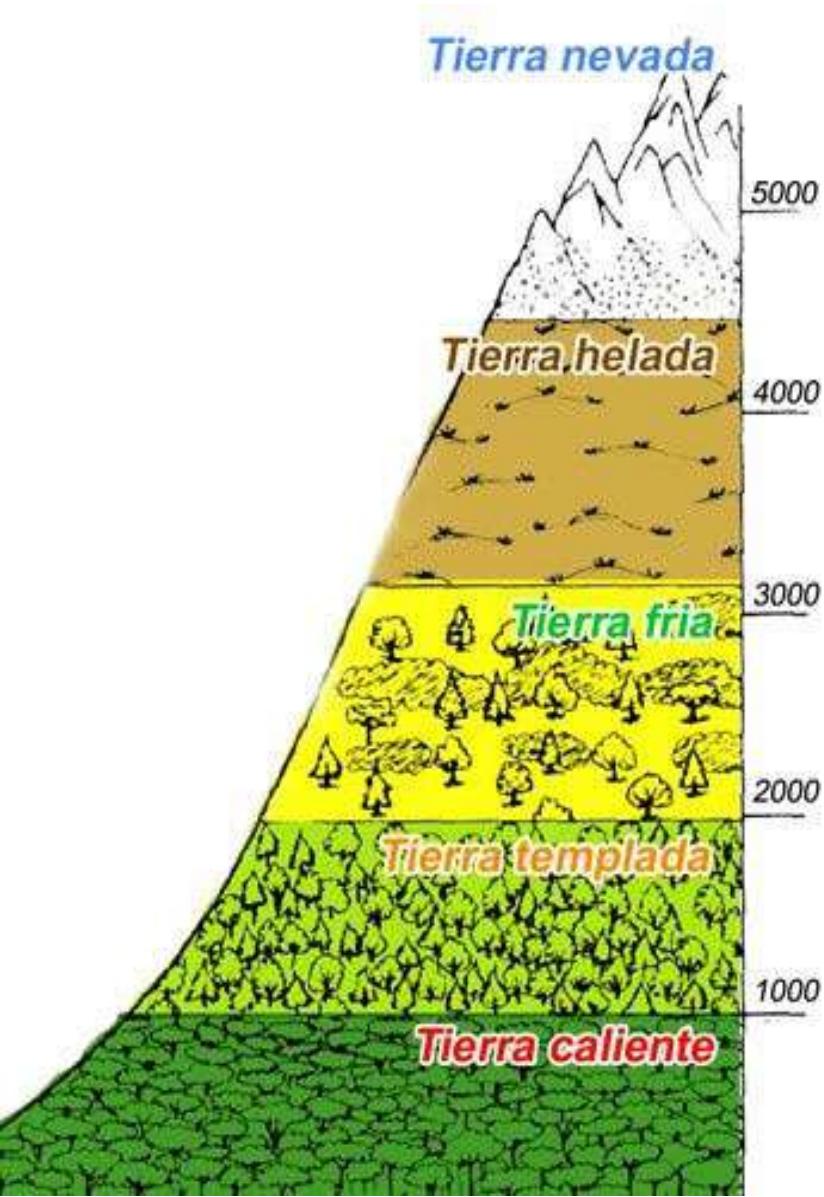
La **población asentada en los Andes** en poblados o ciudades, históricamente no cuenta con mecanismos eficientes de planificación. Su vulnerabilidad depende en parte de su capacidad de prevención, preparación y adaptación. El cambio climático es un desafío adicional al proceso de estabilidad y desarrollo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



Las vegetación de alta-montaña (alpina, alto-andina, etc.) es aquella que se desarrolla por sobre el límite altitudinal que crecen los árboles

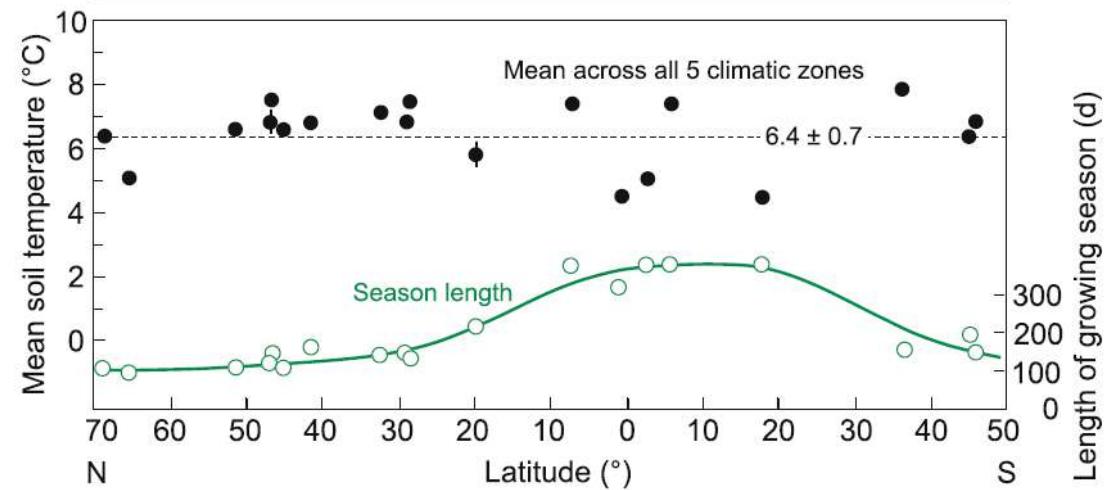
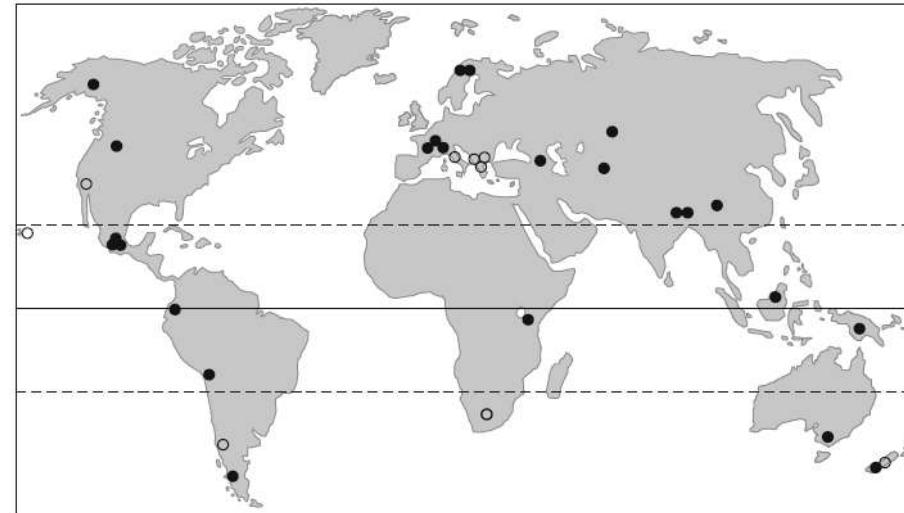


Fig. 4.10. Seasonal mean temperature and length of growing season at treeline across 40 locations worldwide, plotted against latitude (Körner and Paulsen 2004 and newer data). Closed symbols in the map are for climatic treelines, open symbols for non-treeline species limits. For regions with more than two sites only means are shown

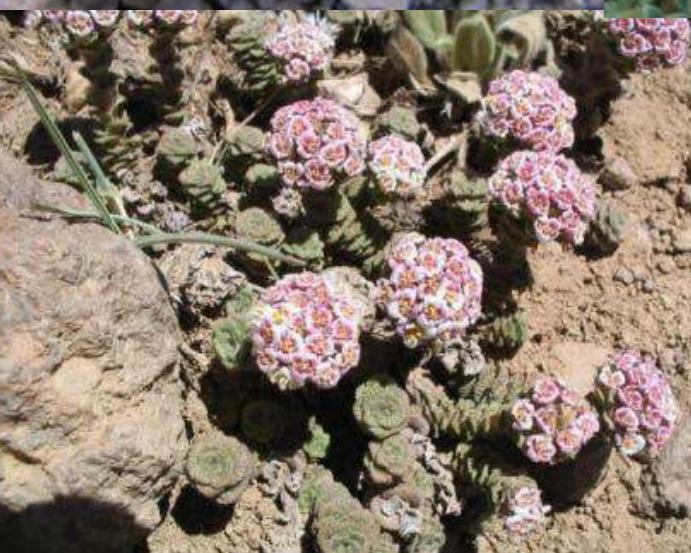
Habitats de alta-montaña son reconocidos por su rigurosidad climática



- Bajas temperaturas
- Fuertes vientos
- Sustratos inestables
- Corta estación favorable para el crecimiento



ANDES MEDITERRÁNEOS



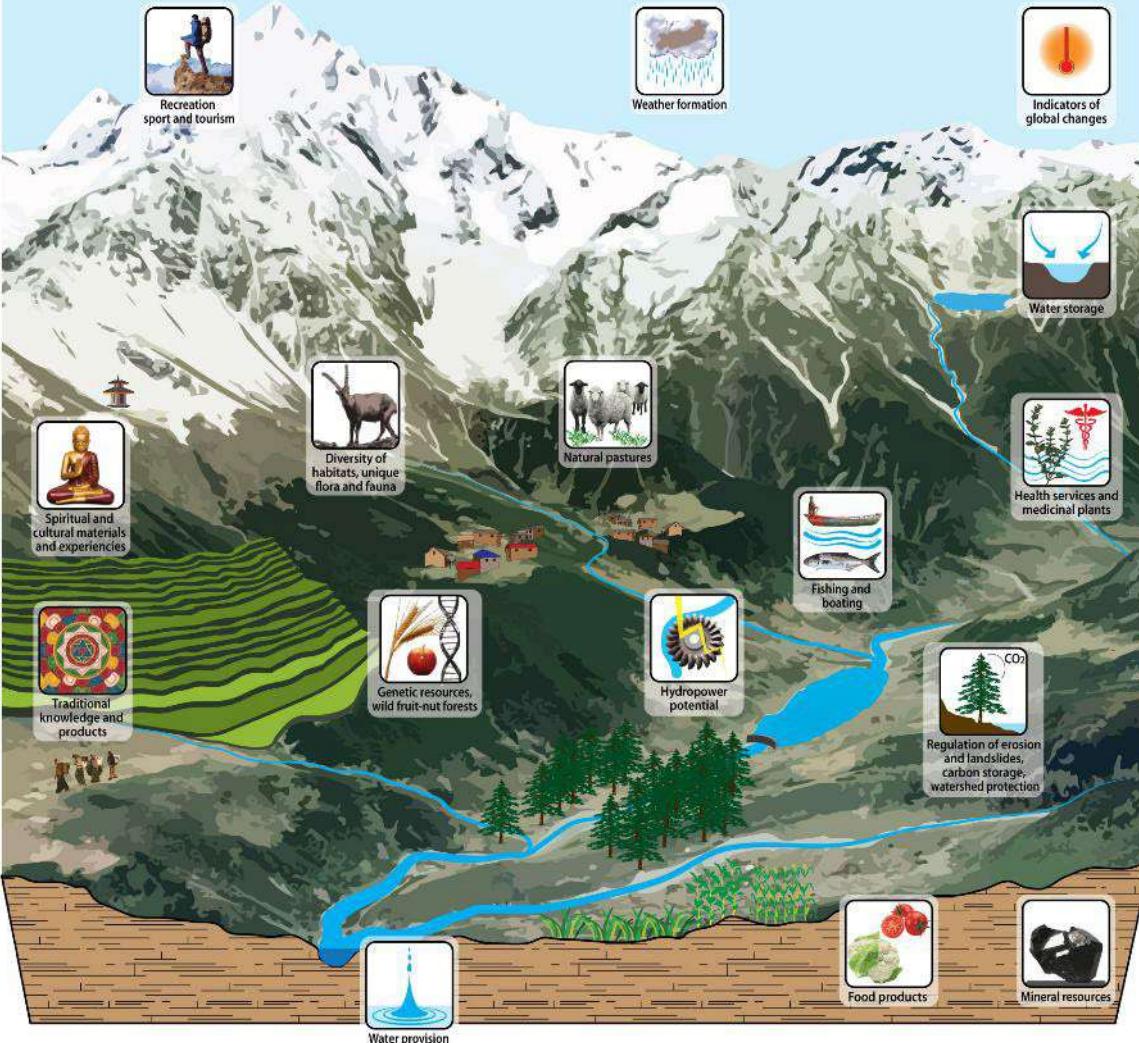
Cobertura global: ~2,6% de la tierra fuera de la Antártida. A pesar de condiciones extremas (temperaturas frías, alta radiación, suelos inestables, etc.) albergan ~10.000 especies de plantas.
Andes centrales, Himalaya HOT-SPOT de Biodiversidad

(a)



Importancia: Vital para la biodiversidad, la regulación del agua y el almacenamiento de carbono.

MOUNTAIN ECOSYSTEM GOODS AND SERVICES



Unstable slopes and landslides
Smaller glaciers, Thawing permafrost



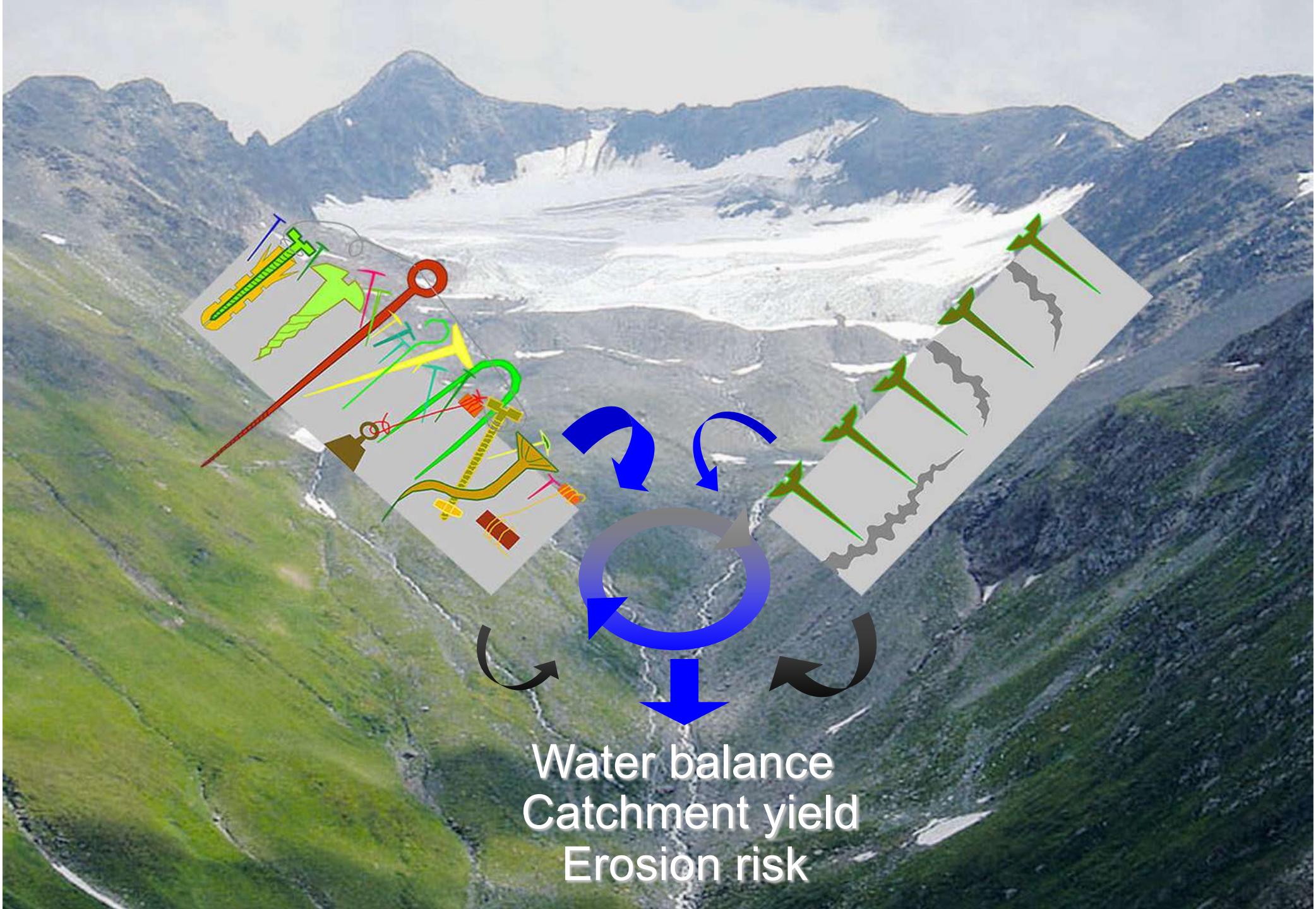
Snow avalanches
Less and wetter snow



Area of interest
Present Future

Social and infrastructure systems
Socio-economic development in the mountains and downhill



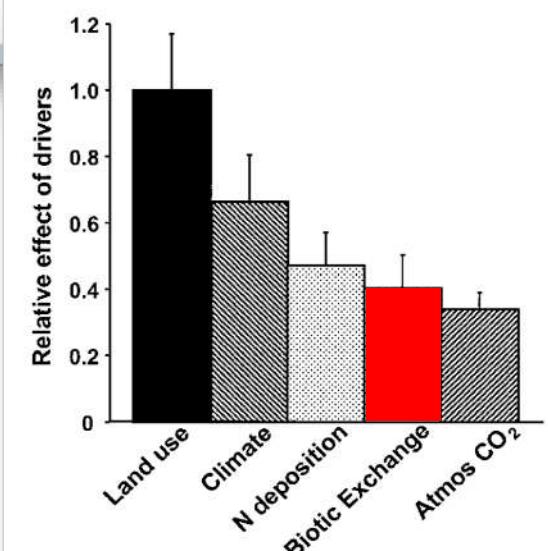
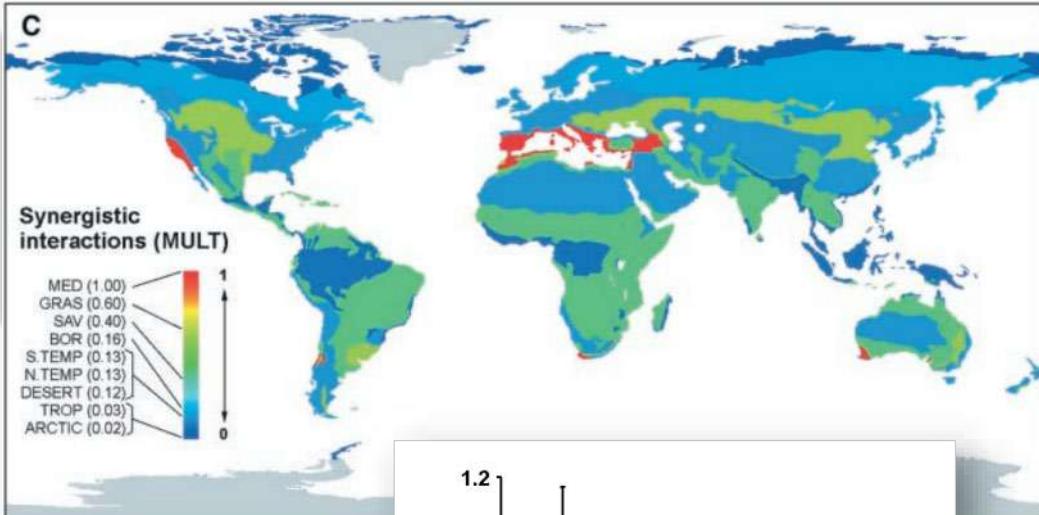


Water balance
Catchment yield
Erosion risk

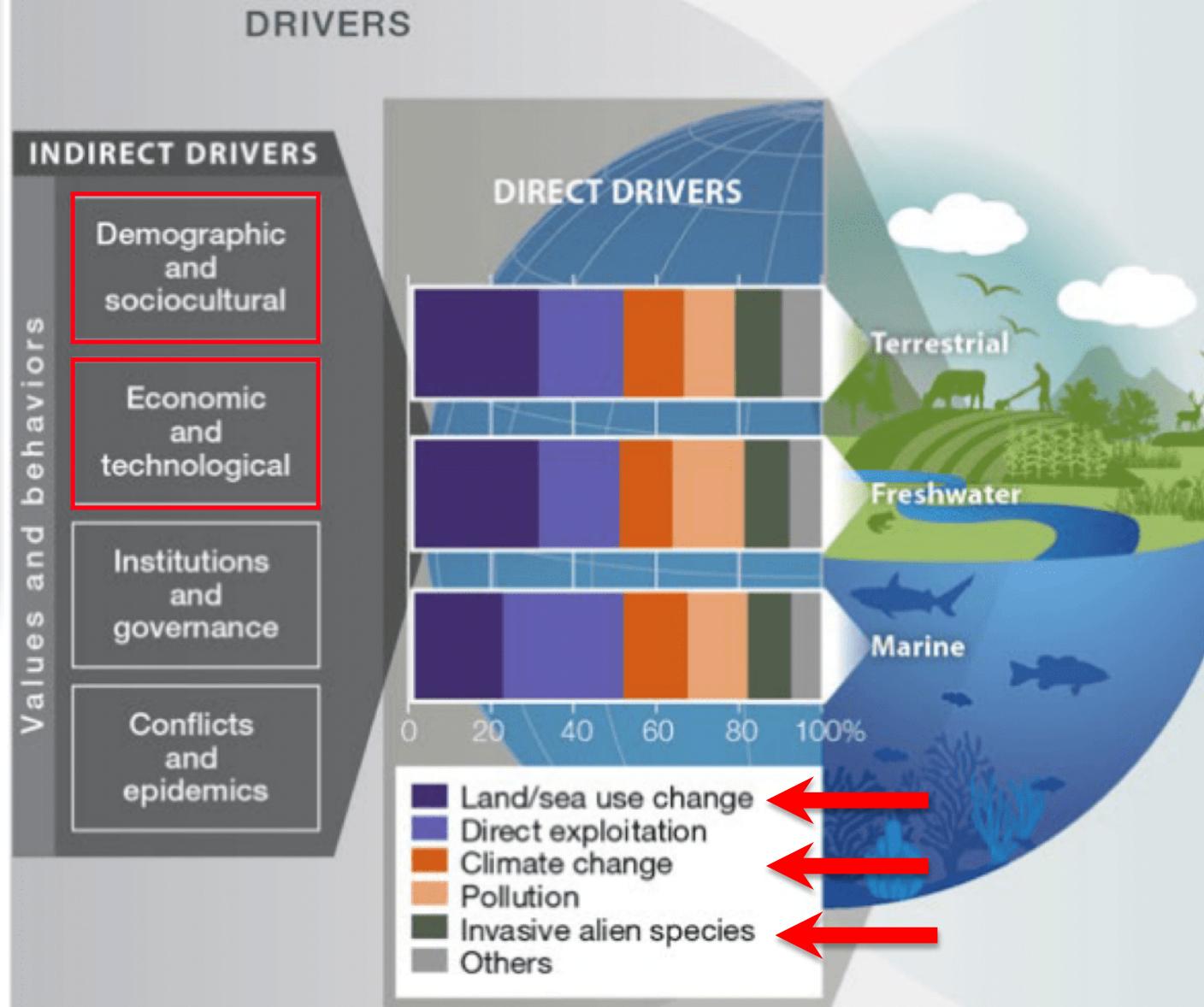


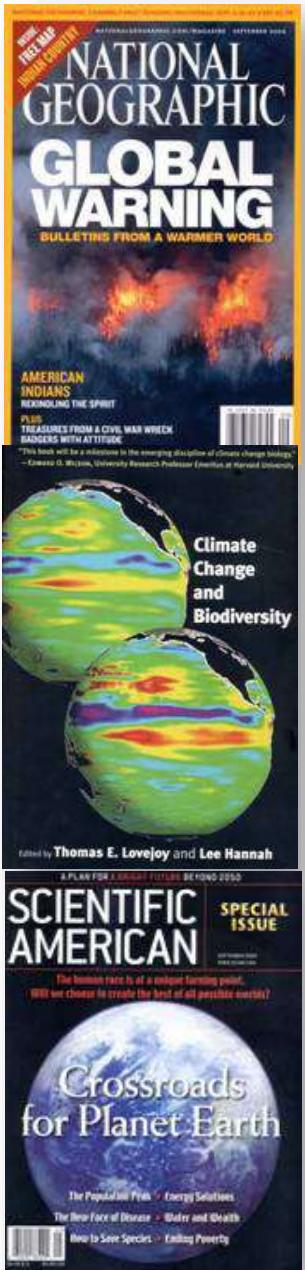
Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100

Osvaldo E. Sala,^{1*} F. Stuart Chapin III,² Juan J. Armesto,⁴ Eric Berlow,⁵ Janine Bloomfield,⁶ Rodolfo Dirzo,⁷ Elisabeth Huber-Sanwald,⁸ Laura F. Huenneke,⁹ Robert B. Jackson,¹⁰ Ann Kinzig,¹¹ Rik Leemans,¹² David M. Lodge,¹³ Harold A. Mooney,¹⁴ Martin Oesterheld,¹ N. LeRoy Poff,¹⁵ Martin T. Sykes,¹⁷ Brian H. Walker,¹⁸ Marilyn Walker,³ Diana H. Wall¹⁶

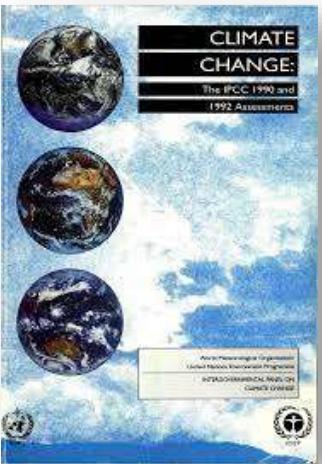


Relative effect of major drivers of changes on biodiversity.





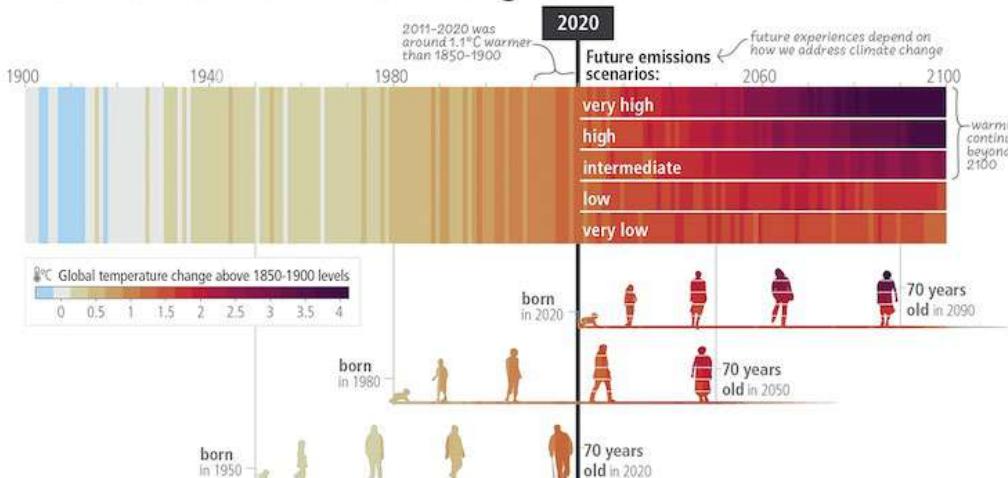
1990



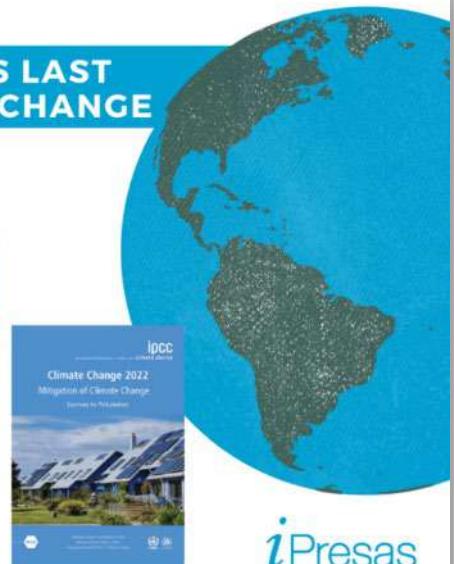
Global Warming Is Changing the World

An international climate assessment finds for the first time that humans are altering their world and the life in it by altering climate; looking ahead, global warming's impacts will only worsen

Just how bad climate change is for current and future generations depends on choices we make now – or very soon



IPCC PUBLISHES ITS LAST REPORT ON CLIMATE CHANGE





Humboldt's *Tableau Physique* revisited

Pierre Moret^{a,1,2}, Priscilla Muriel^b, Ricardo Jaramillo^b, and Olivier Dangles^{c,d,1}

1802-2012

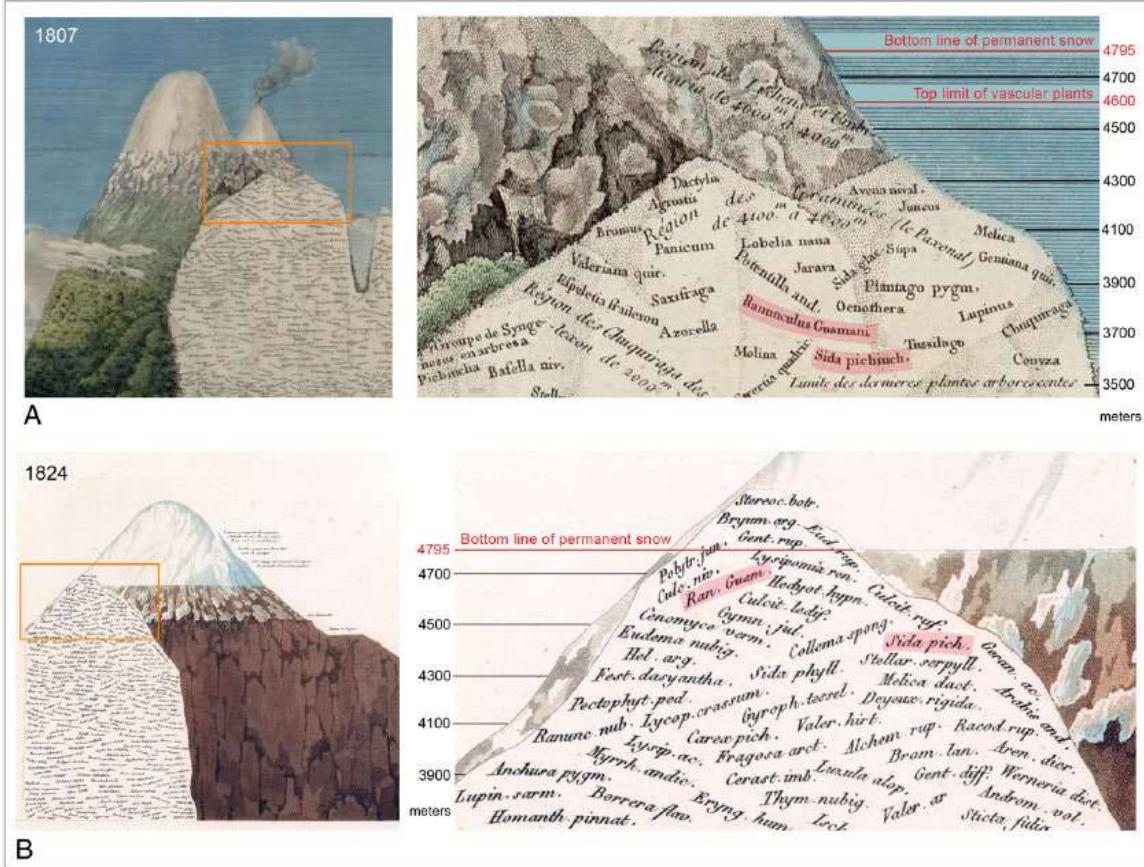


Fig. 1. Details of two sketches of the vegetation of the Andes by Humboldt. (A) From the *Tableau Physique*, 1807 (3). (B) From the *Sketch of the Geography of Plants in the Andes of Quito*, 1824 (17). On the enlarged panels, the added elevation lines are deduced from the lateral vertical scale of each tableau, not visible here (SI Appendix, section 1, Figs. S1 and S2). The bottom line of permanent snow at 4,795 m is the same in both cross-sections, but in 1824 two vascular plants were placed above this line, along with a moss and a lichen that are not included in our study. Species highlighted in red are examples of elevational shifts between the two sketches.

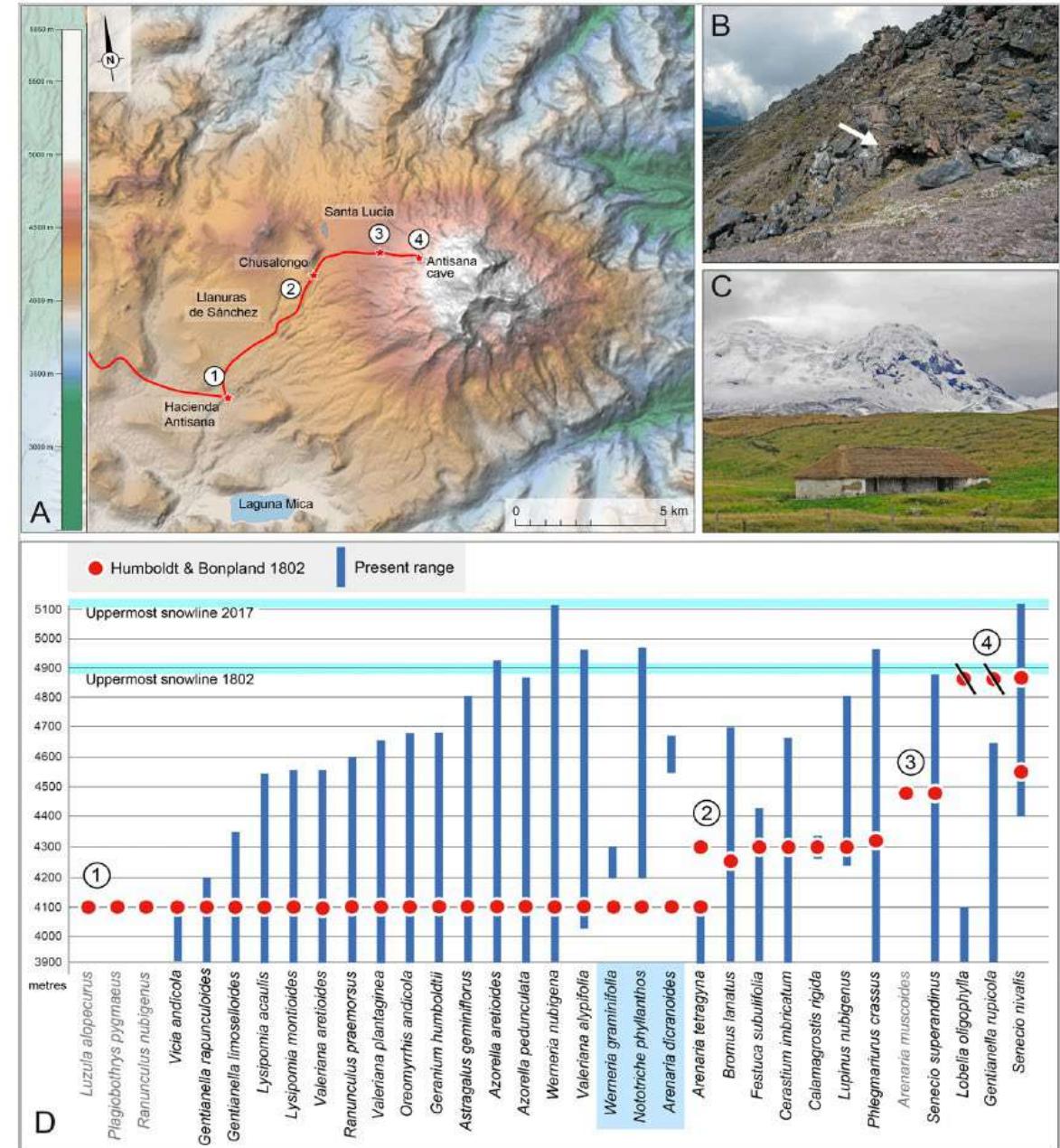
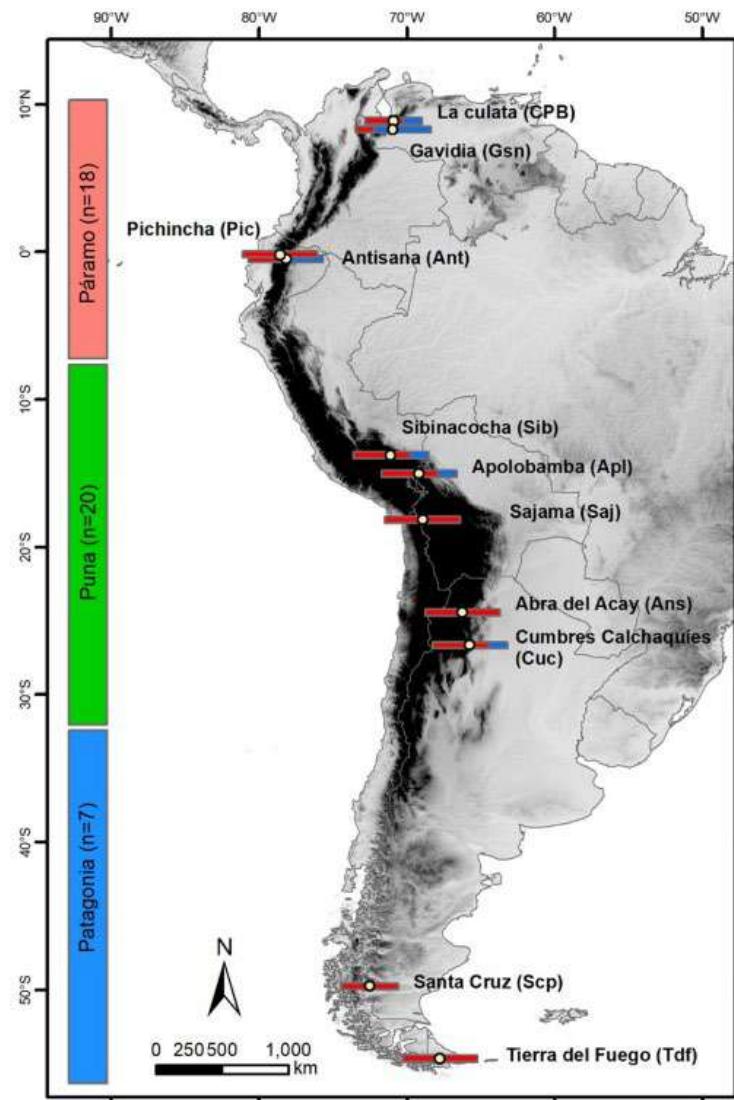
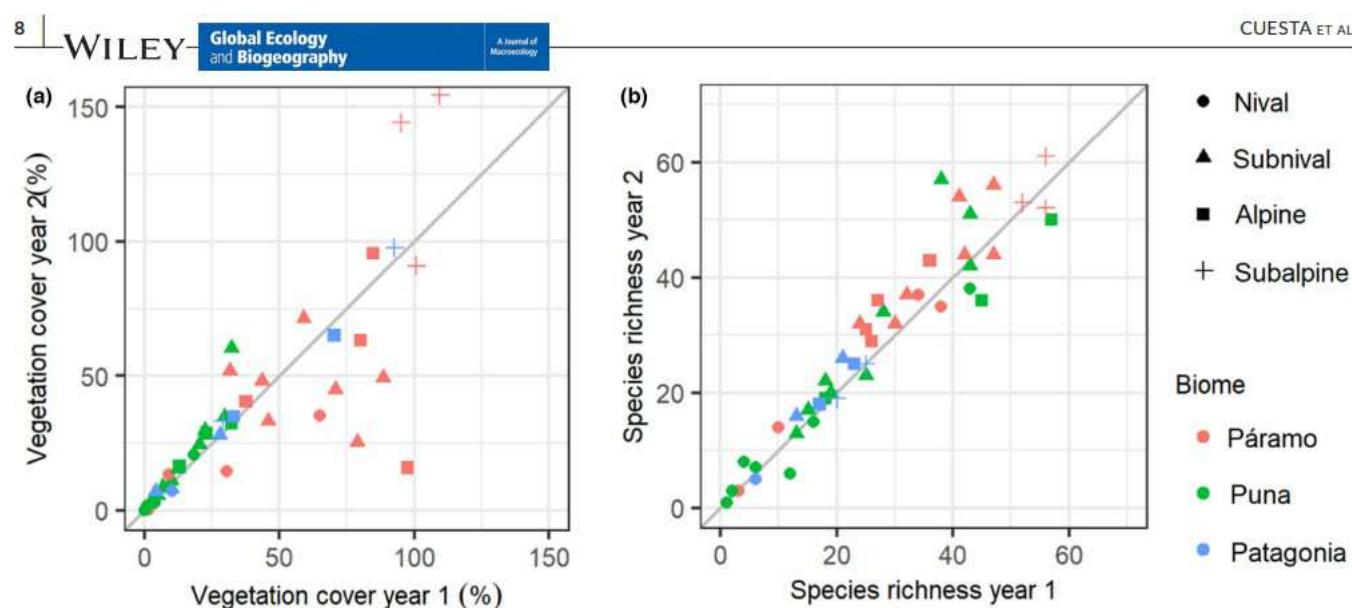


Fig. 4. Botanical resurvey of Mt. Antisana (Ecuador) guided by historical data. (A) Map of Antisana with the route taken by Humboldt and Bonpland in 1802 (in red). Place names and itinerary were retrieved from Humboldt's diary (SI Appendix, section 4). (B and C) Two pictures of the sites where Humboldt and Bonpland botanized (B: site 4, cave on the northwestern flank of Mt. Antisana; C: site 1, Hacienda Antisana with the volcano in the background). (D) Past (1802) and current elevational range of the species collected by Bonpland and Humboldt at Antisana. Names in gray: not resampled species (SI Appendix, section 3.4); struck-through red dots: wrong data (SI Appendix, section 3.3); blue box: suggested upslope shift of the bottom limit.

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

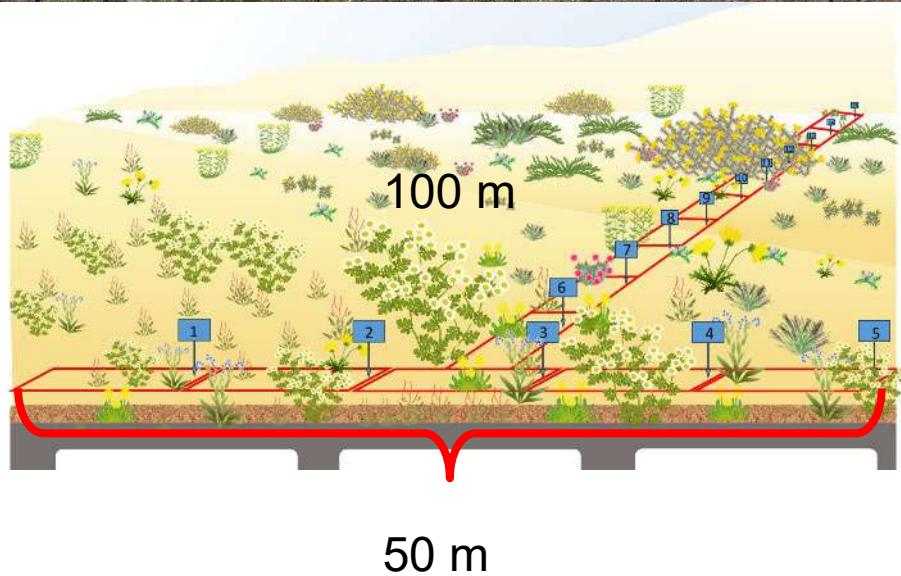
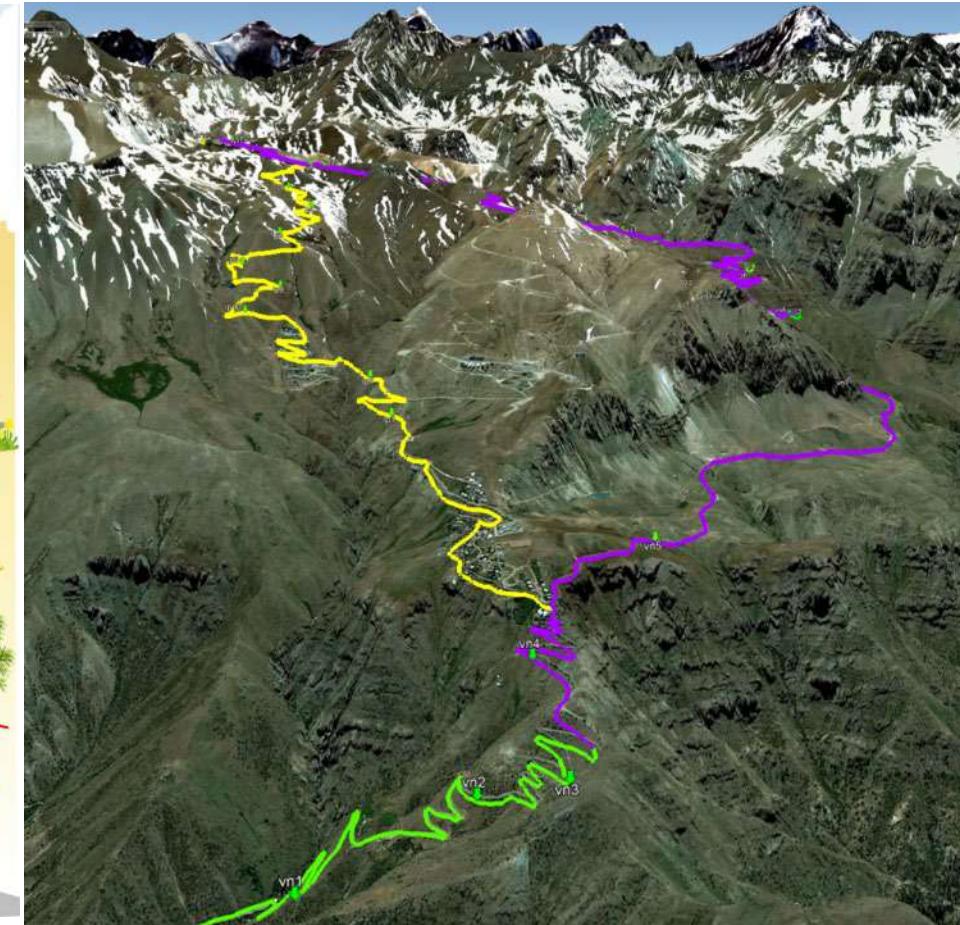
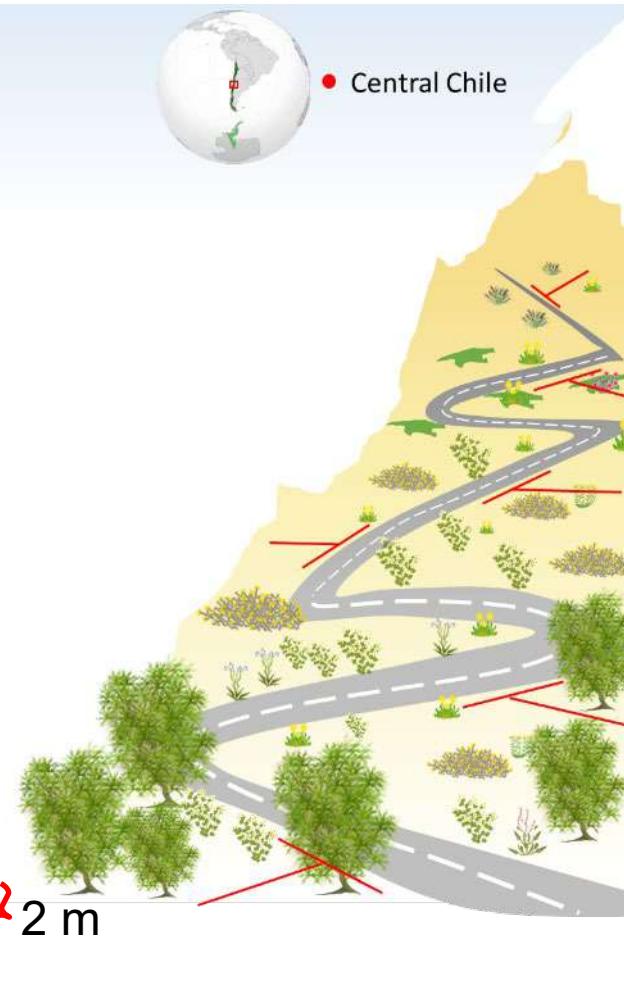


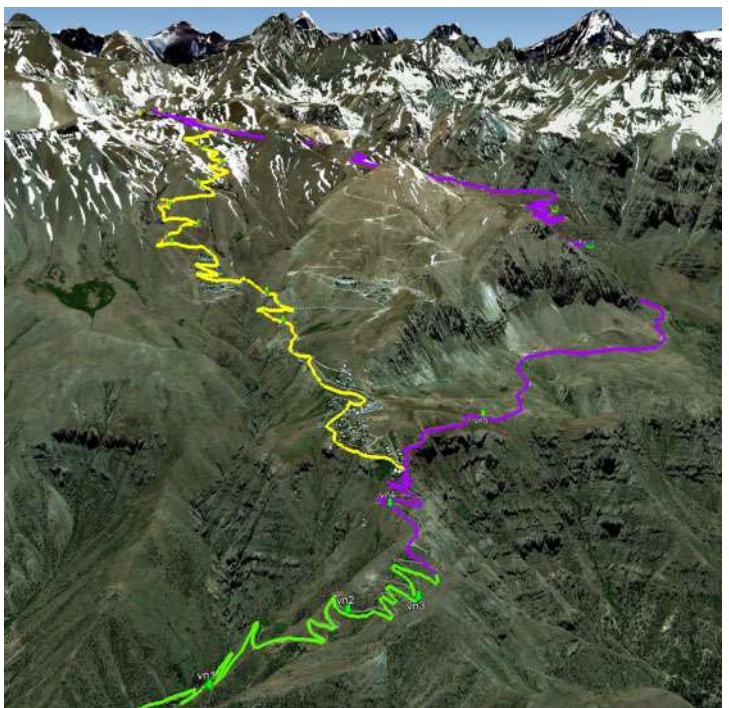
- Predominan **cambios significativos en las temperaturas** (min, max, amplitud)
- Cambios heterogéneos en **cobertura de plantas**: aumento moderado en Punas y Patagonia y reducción marcada en los páramos y en cumbres más altas
- Tendencia general a **aumento de la riqueza de plantas**: más marcado 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)





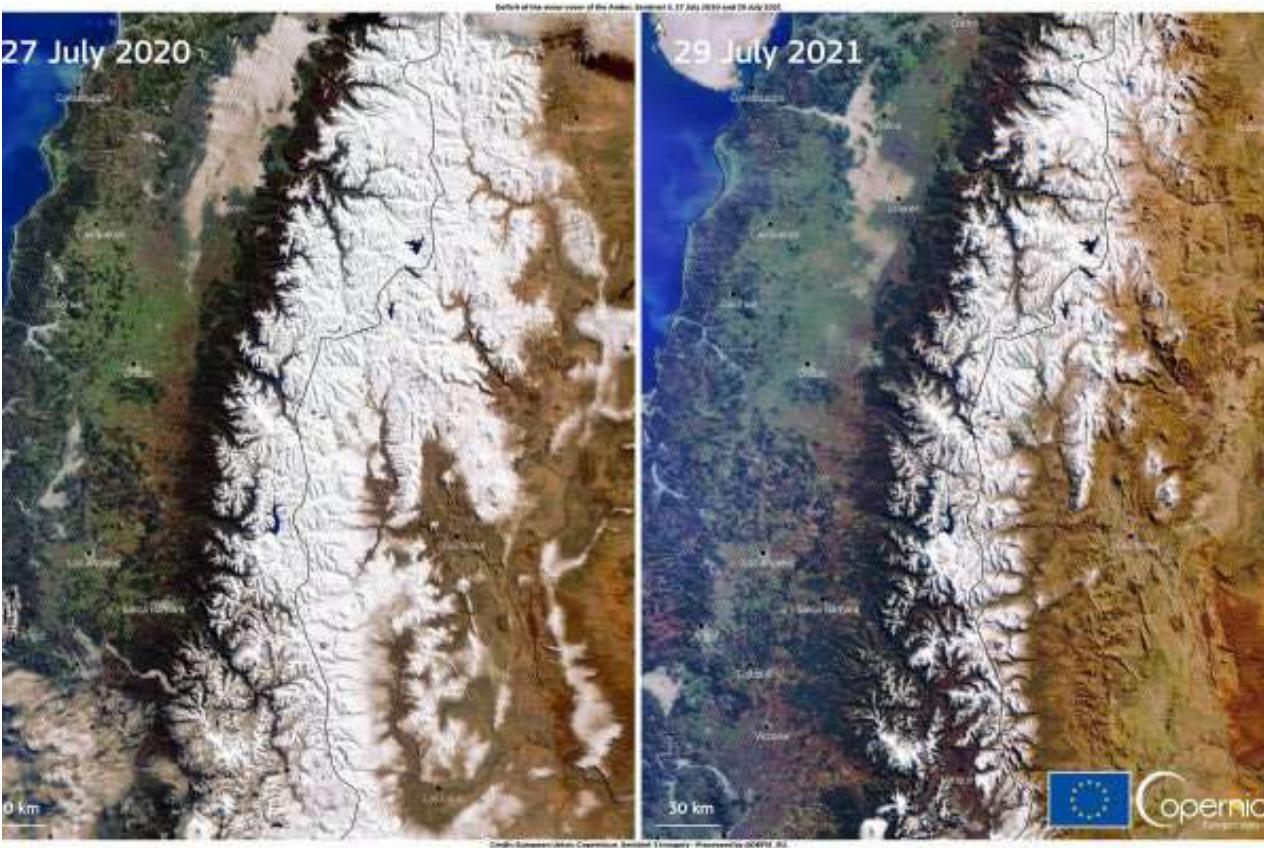
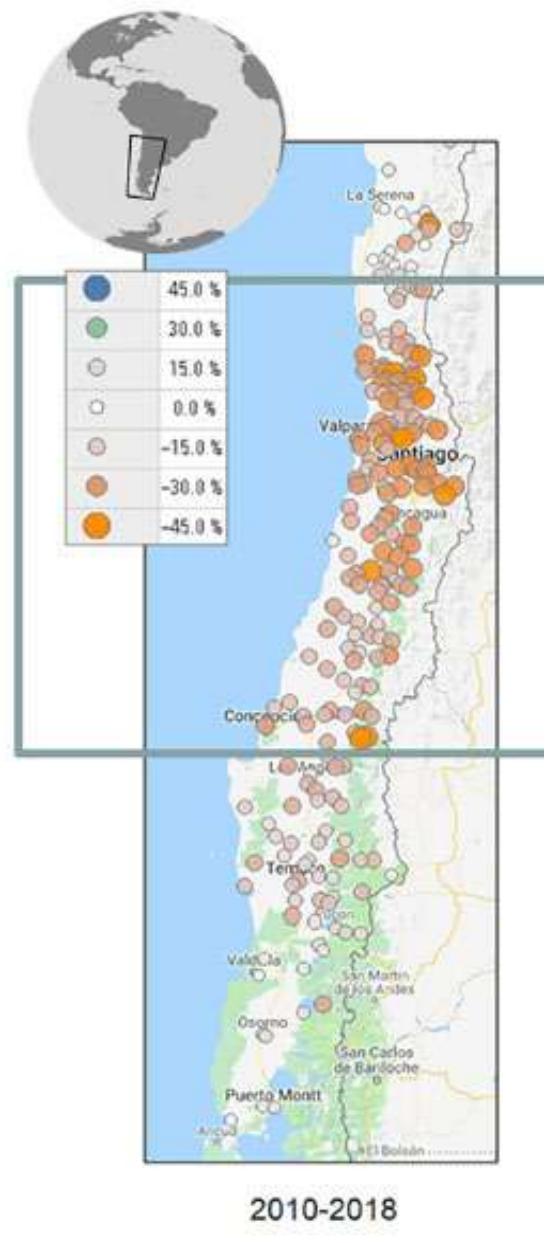
¿Cuál es la distribución altitudinal de las plantas nativas y exóticas?



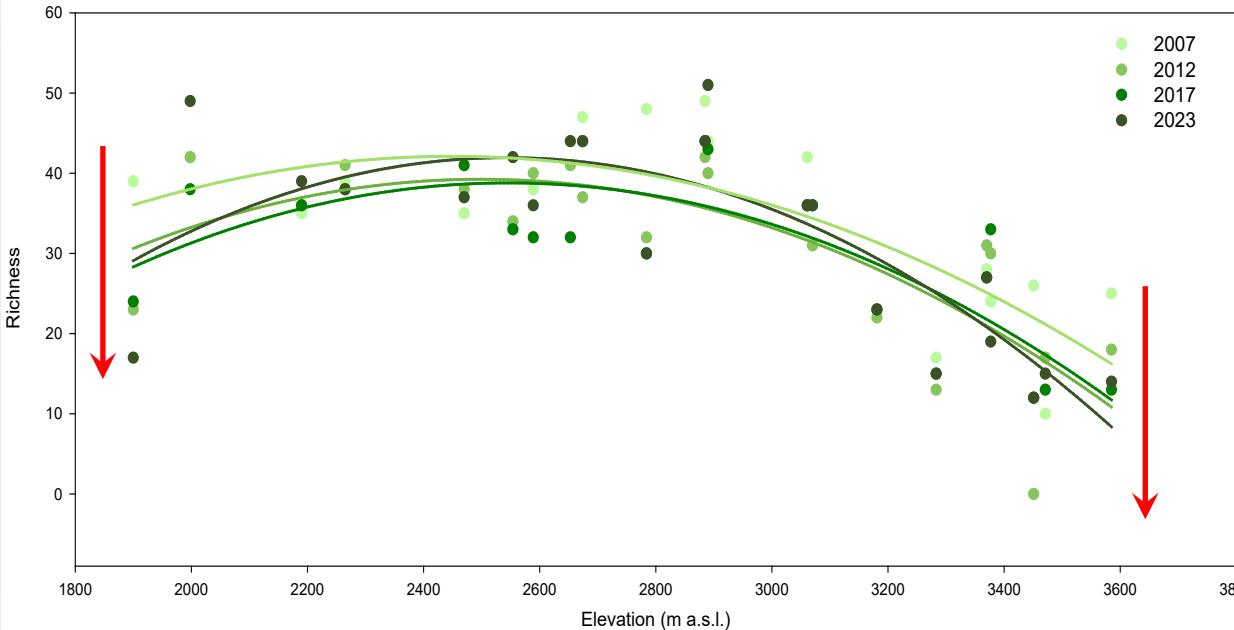


¿Qué ha pasado en 15 años?





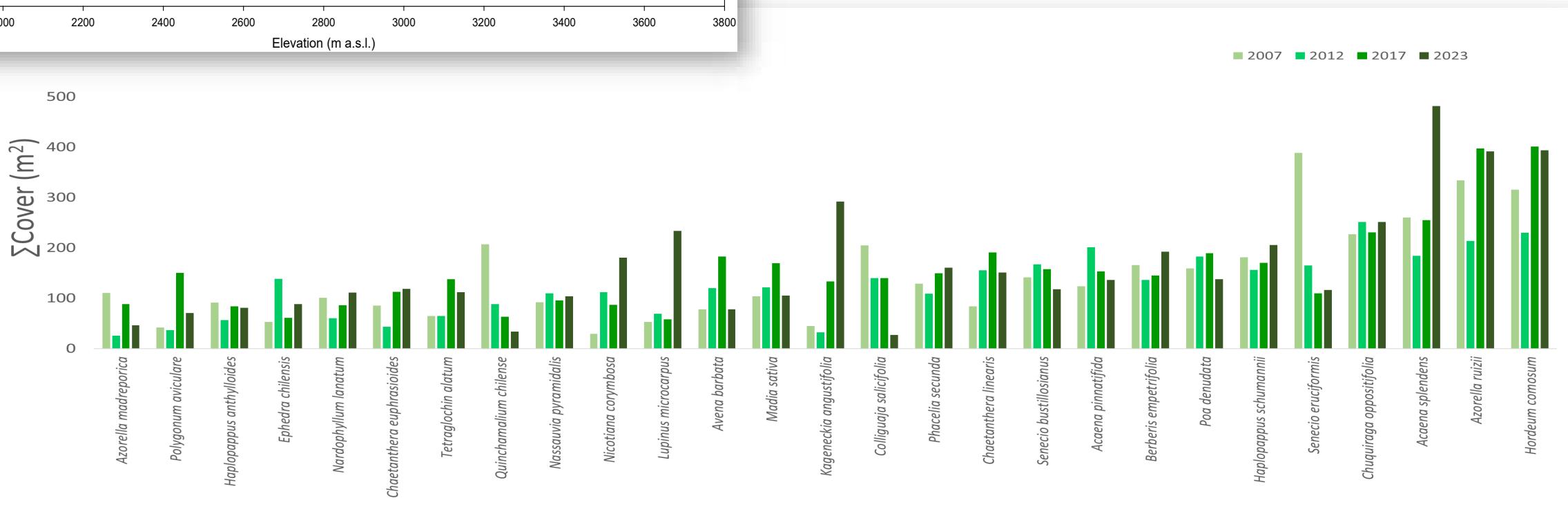
Riqueza especies (2007-2023)

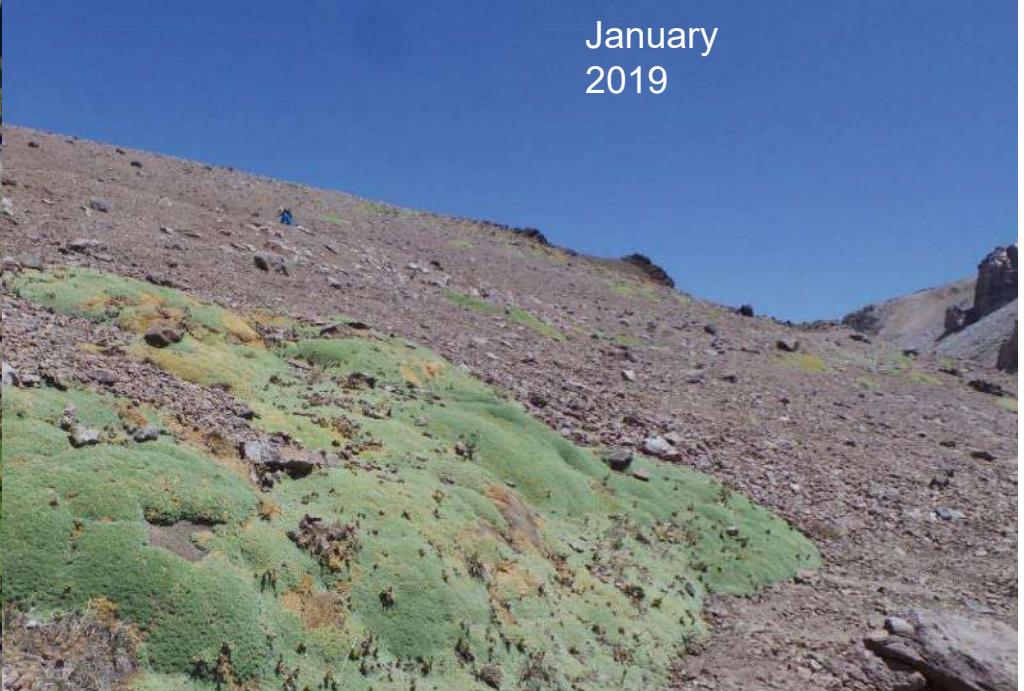


Losers

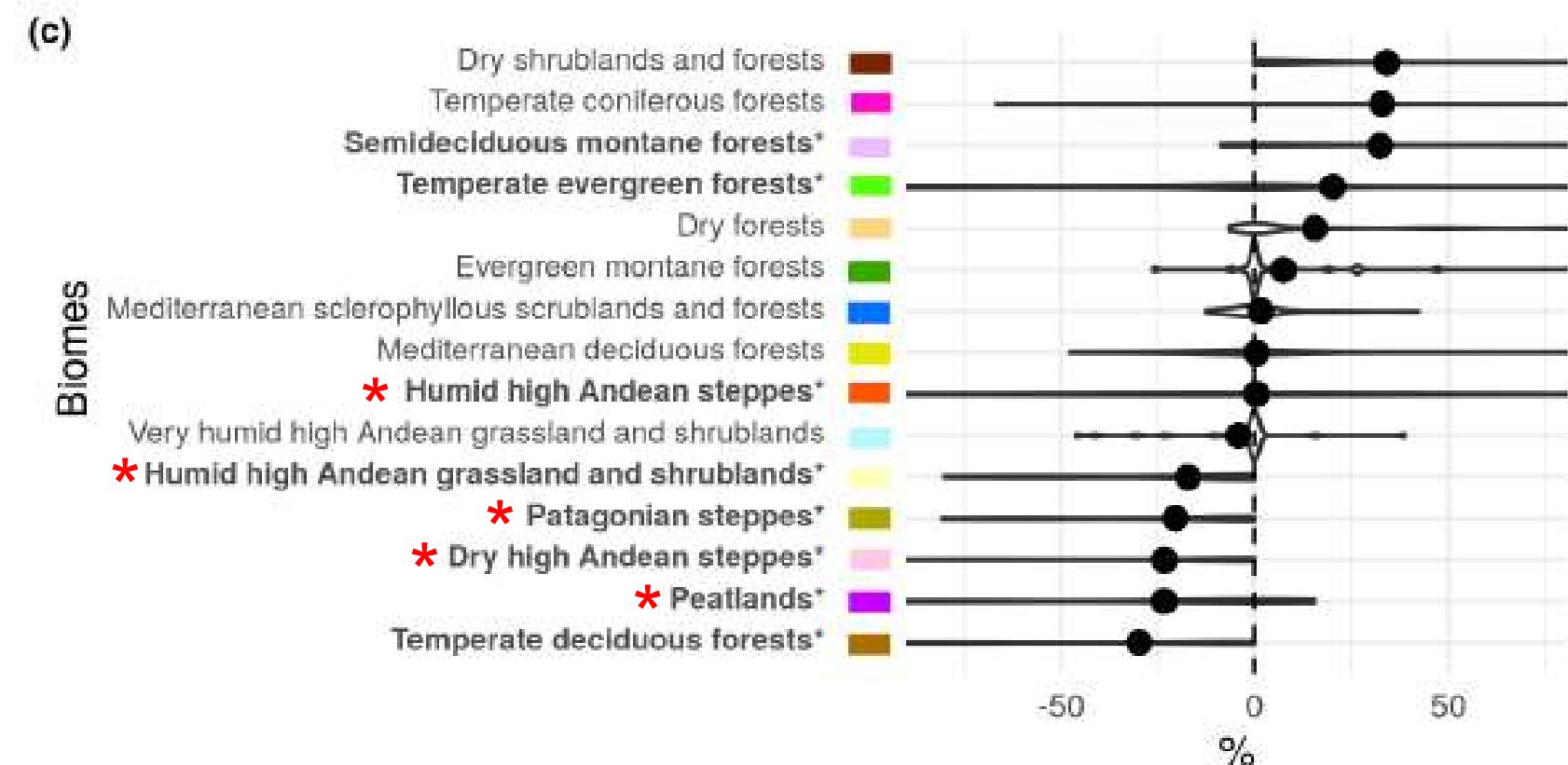
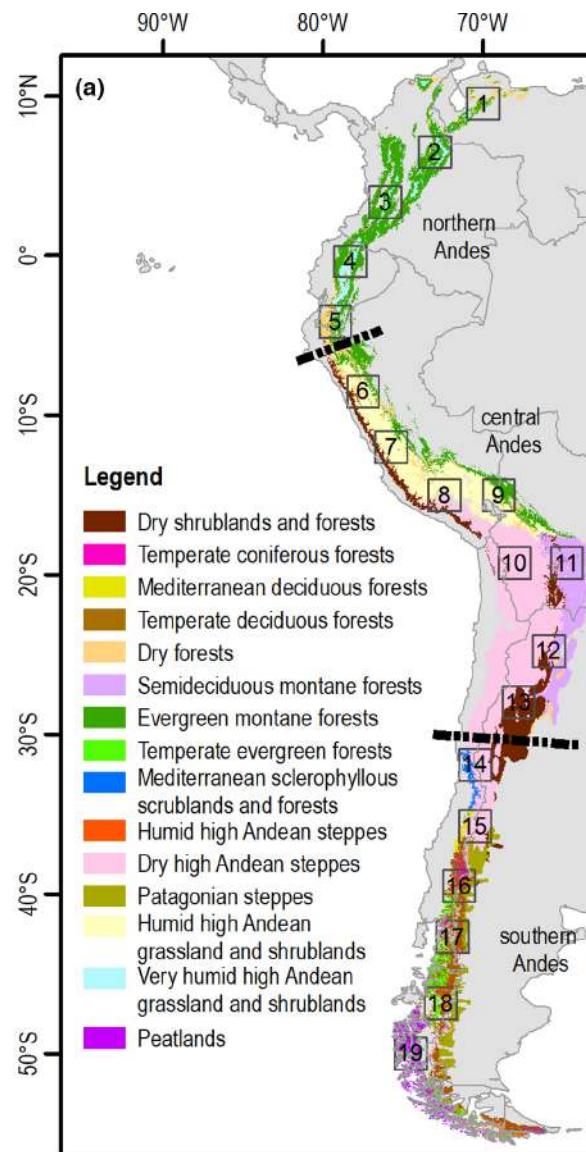


Legend: 2007 (light green), 2012 (medium green), 2017 (dark green), 2023 (black)





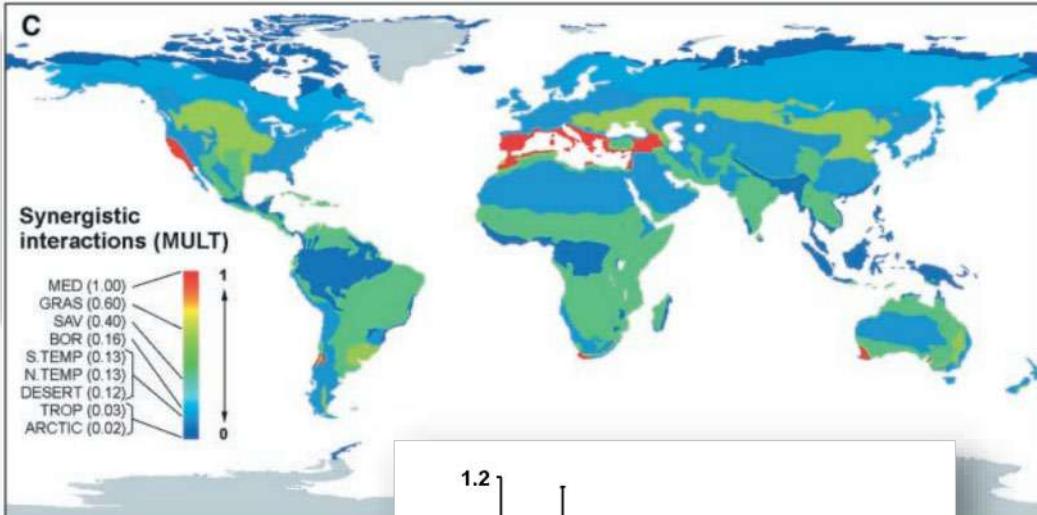
Understanding climate change impacts on biome and plant distributions in the Andes: Challenges and opportunities





Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100

Osvaldo E. Sala,^{1*} F. Stuart Chapin III,² Juan J. Armesto,⁴ Eric Berlow,⁵ Janine Bloomfield,⁶ Rodolfo Dirzo,⁷ Elisabeth Huber-Sanwald,⁸ Laura F. Huenneke,⁹ Robert B. Jackson,¹⁰ Ann Kinzig,¹¹ Rik Leemans,¹² David M. Lodge,¹³ Harold A. Mooney,¹⁴ Martin Oesterheld,¹ N. LeRoy Poff,¹⁵ Martin T. Sykes,¹⁷ Brian H. Walker,¹⁸ Marilyn Walker,³ Diana H. Wall¹⁶



DRIVERS

INDIRECT DRIVERS

Demographic and sociocultural

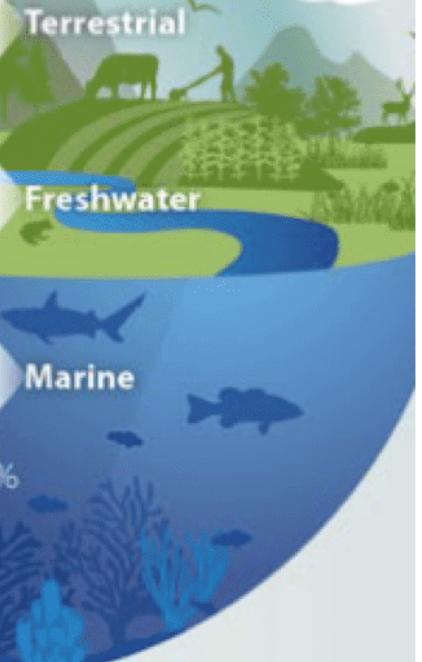
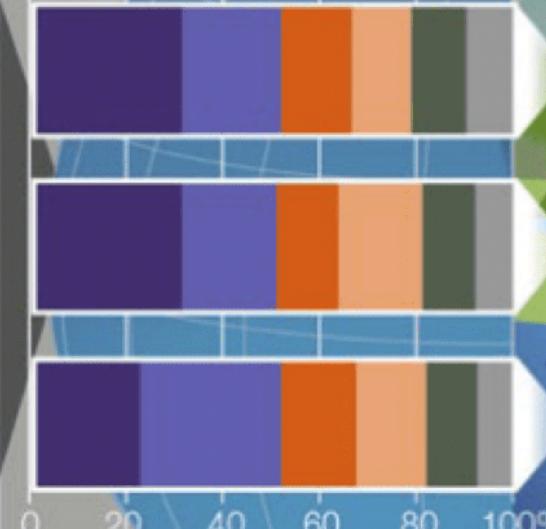
Economic and technological

Institutions and governance

Conflicts and epidemics

Values and behaviors

DIRECT DRIVERS



- Land/sea use change
- Direct exploitation
- Climate change
- Pollution
- Invasive alien species
- Others

Invasiones por especies no-nativas



La severidad ambiental junto con otros factores (por ejemplo, pocas perturbaciones humanas) sugerían una escasa presencia de especies no-nativas



Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations

Aníbal Pauchard^{1*}, Christoph Kueffer², Hansjörg Dietz³, Curtis C Daehler², Jake Alexander³, Peter J Edwards³, José Ramón Arévalo⁴, Lohengrin A Cavieres¹, Antoine Guisan⁵, Sylvia Haider⁶, Gabi Jakobs², Keith McDougall⁷, Constance I Millar⁸, Bridgett J Naylor⁹, Catherine G Parks⁹, Lisa J Rew¹⁰, and Tim Seipel¹⁰

479

Plant Ecol (2008) 197:17–29
DOI 10.1007/s11258-007-9356-z

Introduced plants on Kilimanjaro: tourism and its impact

Andreas Hemp

Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.) (2009) 15, 502–512



Contrasting patterns of genetic variation and structure in plant invasions of mountains

Jake M. Alexander*, Myriam Poll, Hansjörg Dietz and Peter J. Edwards



Plant invasions along mountain roads: the altitudinal amplitude of alien Asteraceae forbs in their native and introduced ranges

Jake M. Alexander, Bridgett Naylor, Myriam Poll, Peter J. Edwards and Hansjörg Dietz

Ecography 32: 334–344, 2009

doi: 10.1111/j.1600-0587.2008.05605.x

© 2009 The Authors. Journal compilation © 2009 Ecography

Subject Editor: Francisco Pugnaire. Accepted 22 September 2008

Science Peaks

Mountains as Model Systems for Understanding Drivers of Plant Invasion

Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.) (2009) 18, 652–661

RESEARCH PAPER



Contrasting response of native and alien plant species richness to environmental energy and human impact along alpine elevation gradients

Lorenzo Marini^{1*}, Kevin J. Gaston², Filippo Prosser³ and Philip E. Hulme⁴

Mountain Research and Development Vol 21 No 3 August 2001: 284–291

Frances M. Johnston and Catherine M. Pickering

Alien Plants in the Australian Alps

Spread of Non-Native Plant Species into Mountains: Now is the Time to Act

Keith McDougall, Sylvia Haider, Tim Seipel, Christoph Kueffer and MIREN Consortium

ORIGINAL RESEARCH

WILEY *Ecology and Evolution*

Natives and non-natives plants show different responses to elevation and disturbance on the tropical high Andes of Ecuador

Verónica Sandoya^{1,2,3} | Aníbal Pauchard^{4,5} | Lohengrin A. Cavieres^{3,5}

2100 m a.s.l.



2600 m a.s.l.



3200 m a.s.l.



Central Chile Andes

© *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



Primeros colonizadores después del retroceso glaciar: plantas introducidas!

24 November 2018



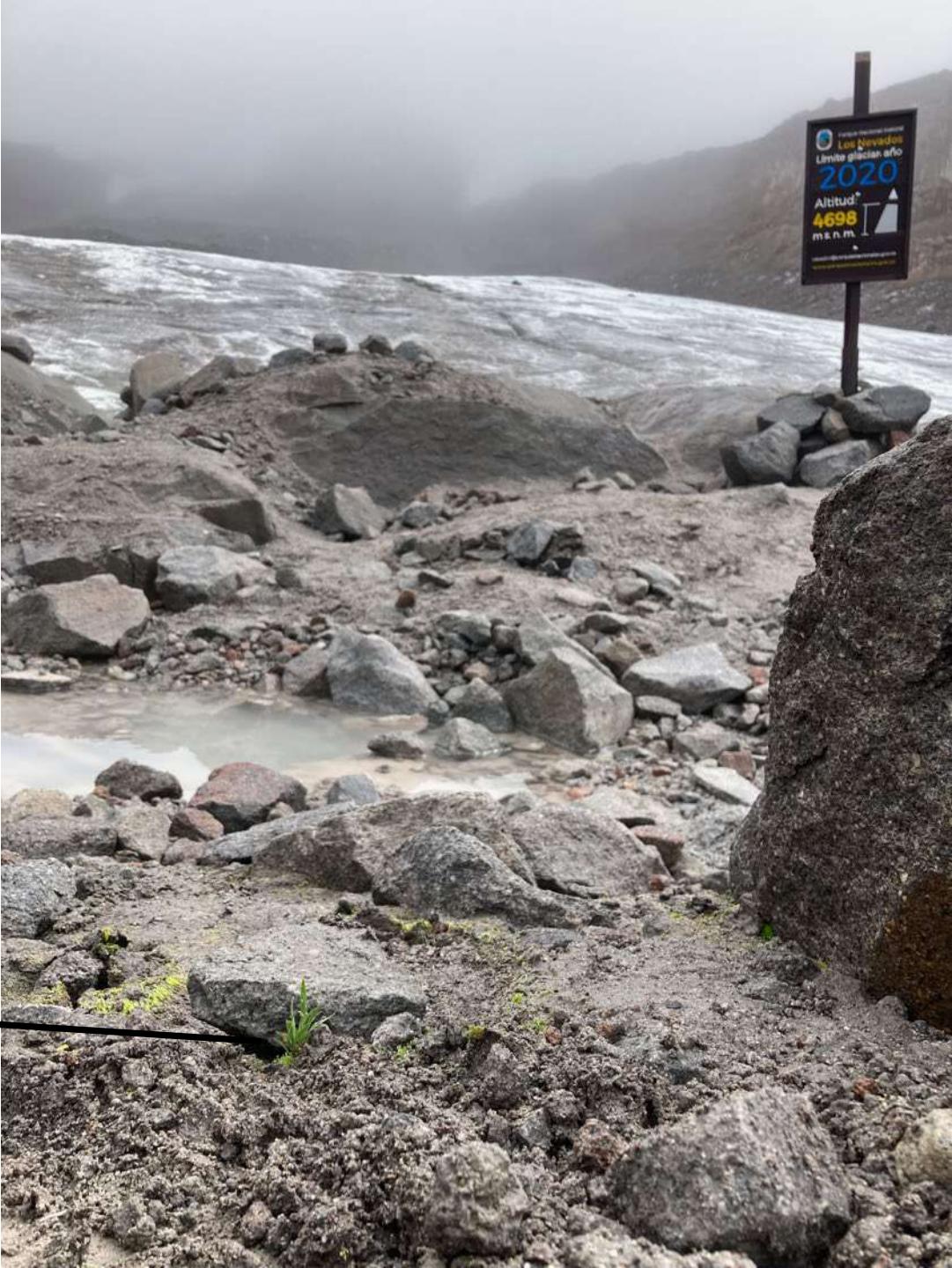
+ 3.5
years

18 March 2022



Colombia, glaciar Conejeras

Poa annua



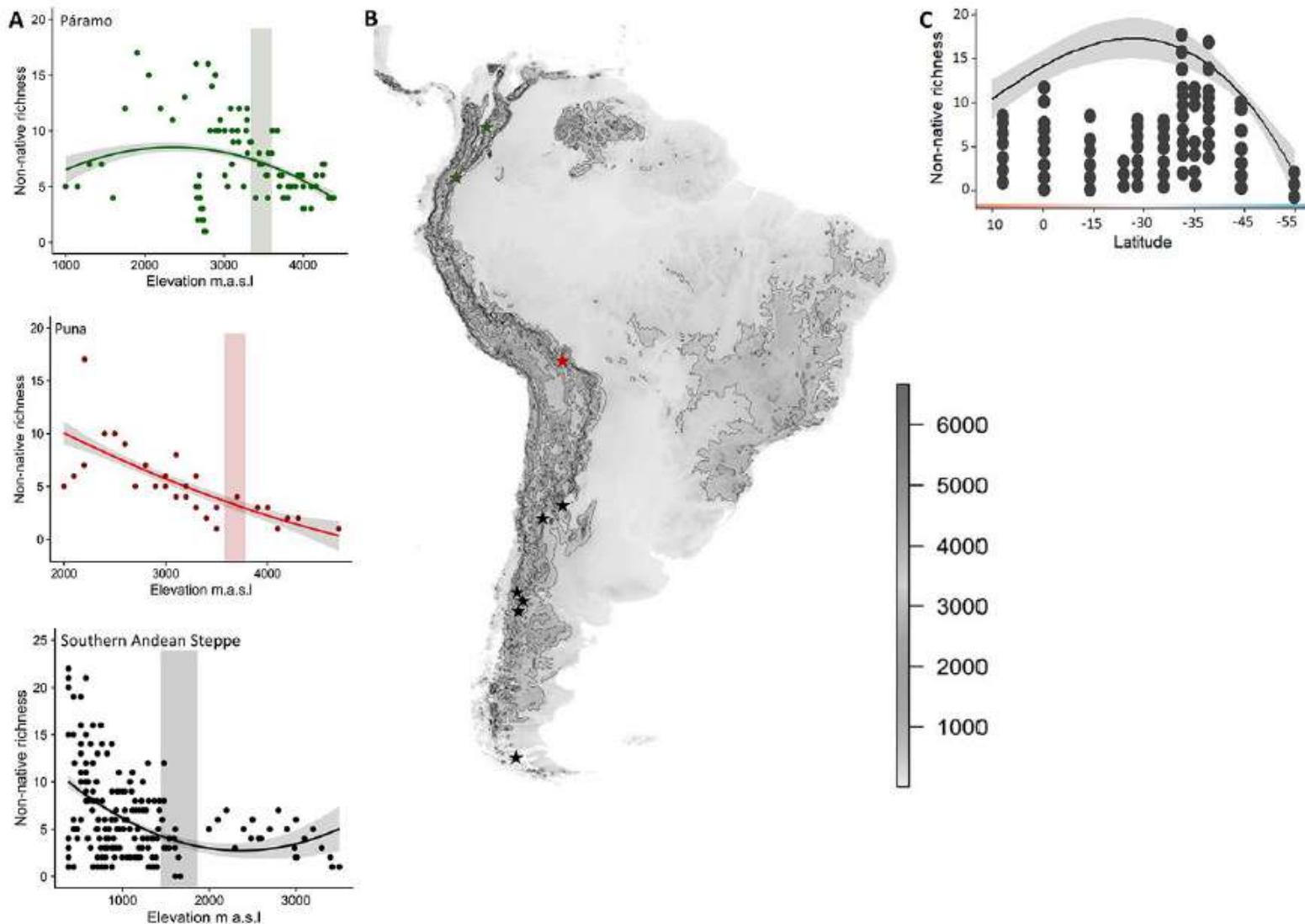
Going up the Andes: patterns and drivers of non-native plant invasions across latitudinal and elevational gradients

Eduardo Fuentes-Lillo^{1,2,3,4}, Jonas J. Lembrechts⁴, Agustina Barros⁵, Valeria Ascherö⁵, Ramiro O. Bustamante^{2,6}, Lohengrin A. Cavieres^{2,7}, Jan Clavel⁴, Ileana Herrera^{8,9}, Alejandra Jiménez^{1,2}, Paula Tecco¹⁰, Philip E. Hulme¹¹, Martín A. Núñez¹², Ricardo Rozzi^{13,14}, Rafael A. García^{1,2}, Daniel Simberloff¹⁵, Iván Nijs⁴, Aníbal Pauchard^{1,2}

Table 1 The 20 most common non-native plant species (in Species name alphabetical order) present in the Andes mountain range, their growth form, biogeographic region of origin and countries of occurrence. For the complete list of species present in the Andes mountains, see Table S1

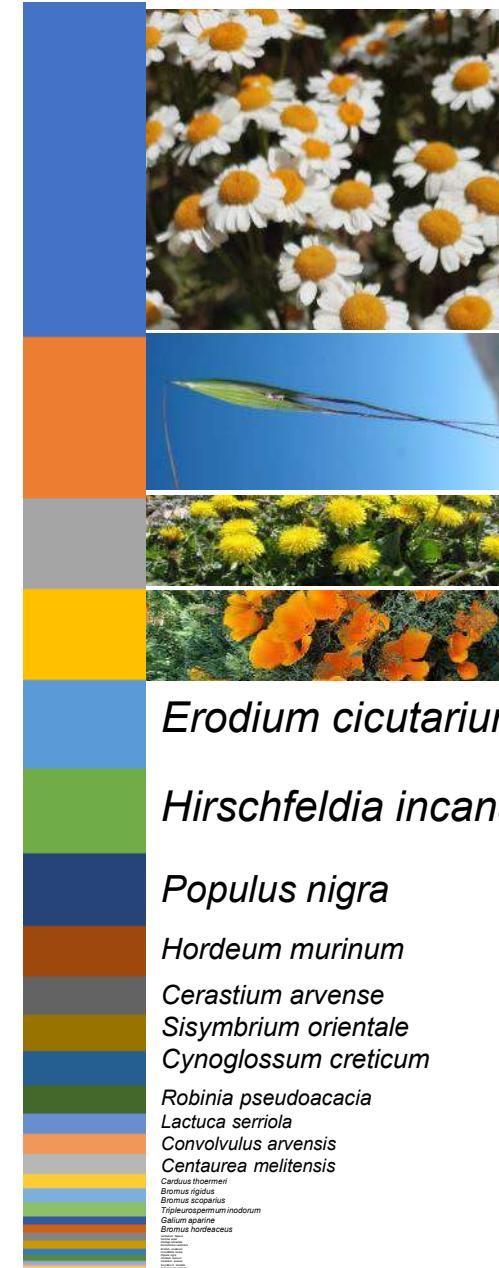
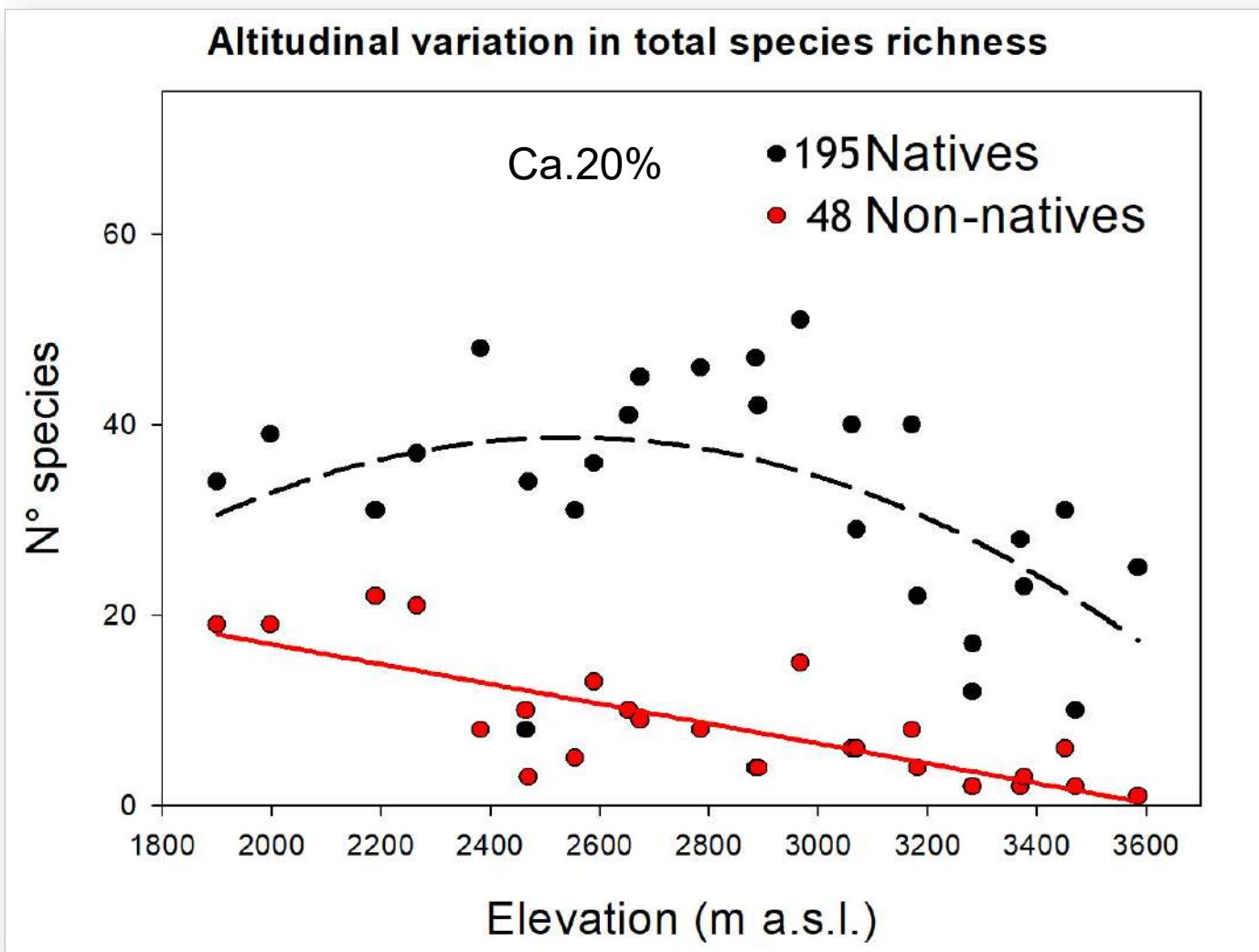
Family	Species	Growth form	Biogeographic origin	*Country
Fabaceae	<i>Acacia dealbata</i>	Tree	Oceania	ChC, ChS
Poaceae	<i>Agrostis capillaris</i>	Graminoid	Europe	EC, ChC, ChS
Poaceae	<i>Dactylis glomerata</i>	Graminoid	Europe	EC, BO, Ven, ChC, ChS
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Graminoid	Europe	Arg, ChC, ChS
Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Graminoid	Europe	EC, BO, ChC, ChS
Juncaceae	<i>Juncus bufonius</i>	Forb	Europe	ChC, ChS
Poaceae	<i>Lolium perenne</i>	Graminoid	Europe/Africa	Arg, ChC, ChS
Asteraceae	<i>Matricaria recutita</i>	Forb	Europe	ChC, ChS
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Graminoid	Africa	EC, BO
Pinaceae	<i>Pinus radiata</i>	Tree	North America	ChC, ChS
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>	Forb	Europe	EC, Ven, ChC
Poaceae	<i>Poa annua</i>	Graminoid	Europe	EC, Ven, BO, ChC, ChS, Arg
Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i>	Forb	Europe/Asia	EC, BO, ChC
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Tree	North America	ChC, ChS
Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i>	Forb	Europe	EC, BO, ChC, ChS
Caryophyllaceae	<i>Sagina procumbens</i>	Forb	Europe	EC, BO, ChC
Caryophyllaceae	<i>Silene gallica</i>	Forb	Europe	EC, BO, ChS
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Forb	Europe	EC, BO, Ven, ChC, ChS
Fabaceae	<i>Trifolium dubium</i>	Forb	Europe	EC, Arg, ChC, ChS
Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	Forb	Europe	EC, Ven, Arg, ChC, ChS

*Páramo: Ven=Venezuela, EC=Ecuador; Puna: BO=Bolivia; South Andean Steppe: Arg=Argentina, ChC=Central Chile, ChS=South Chile

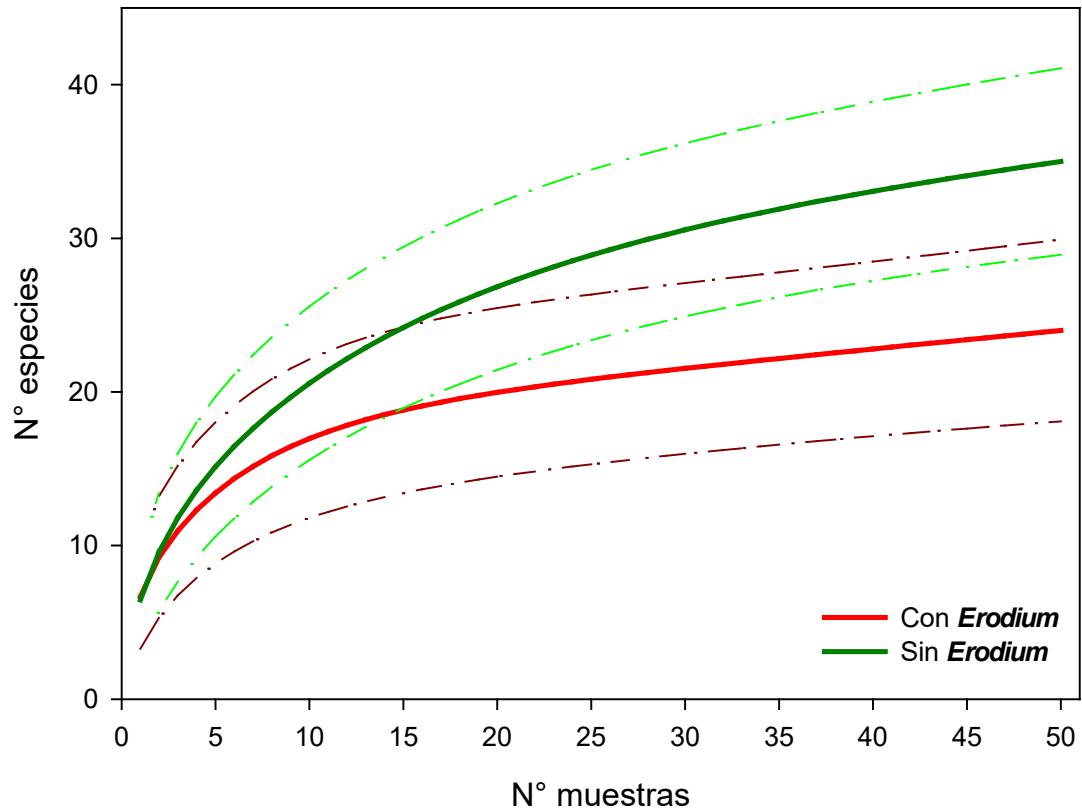


Cover ranking

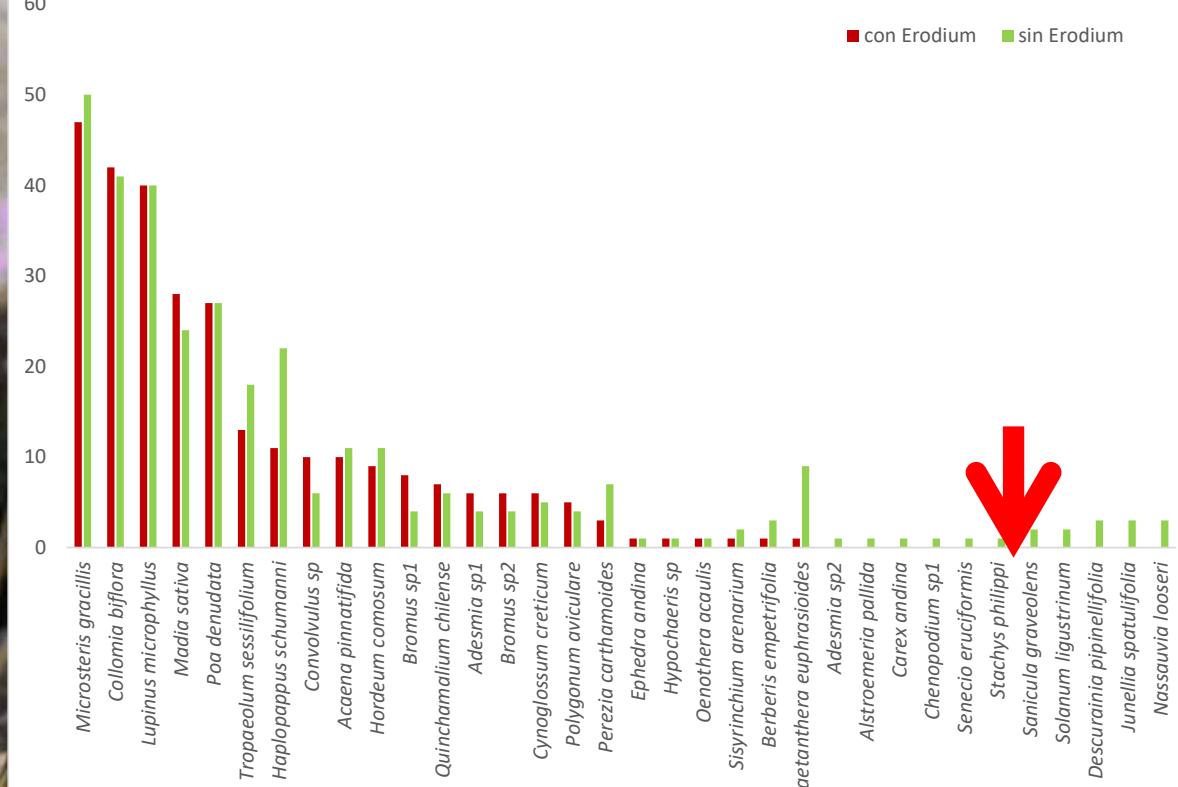
Farellones 2007

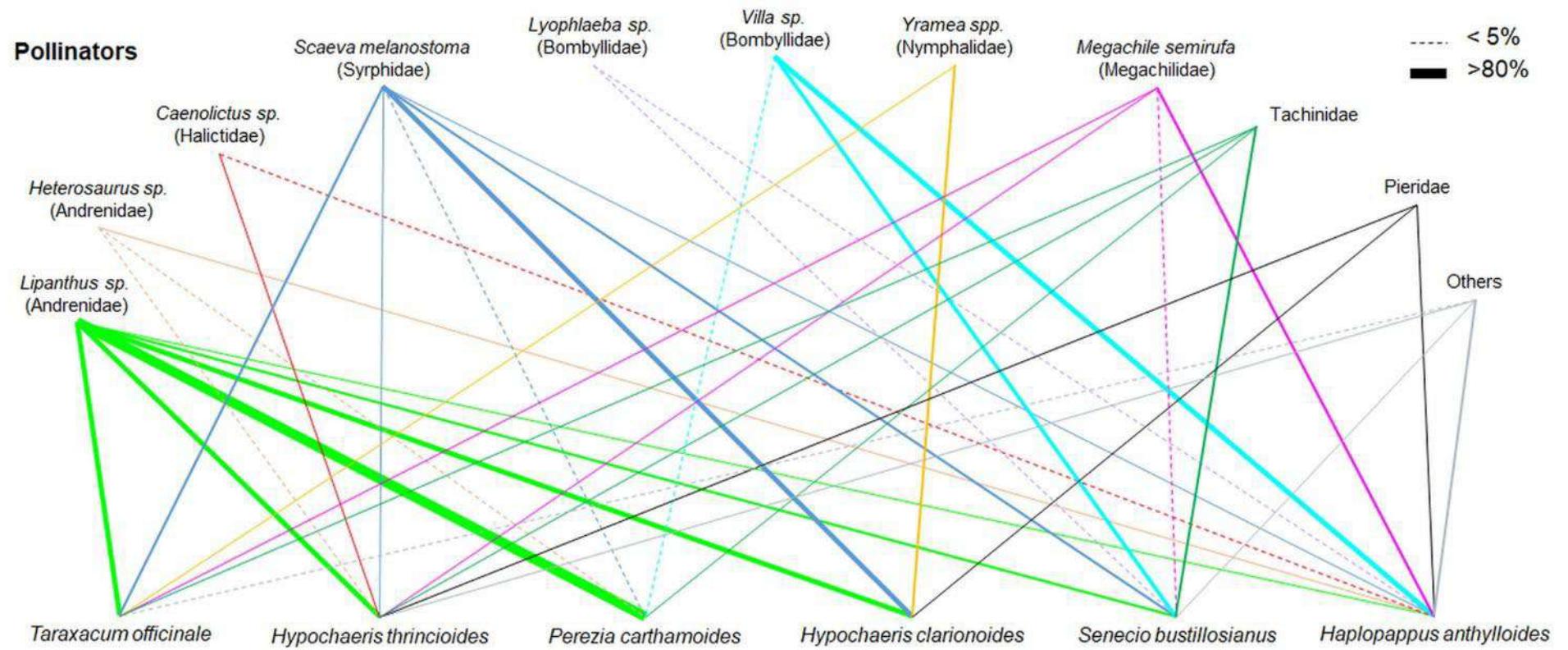


Erodium cicutarium (2200 m)



Frecuencia con y sin *Erodium cicutarium*

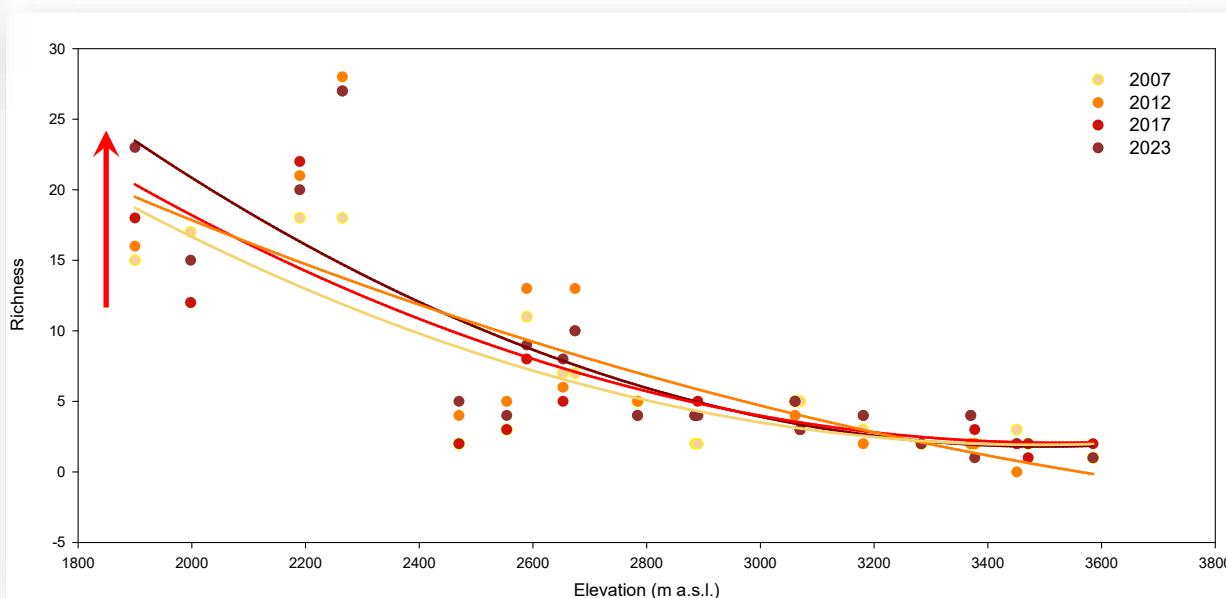
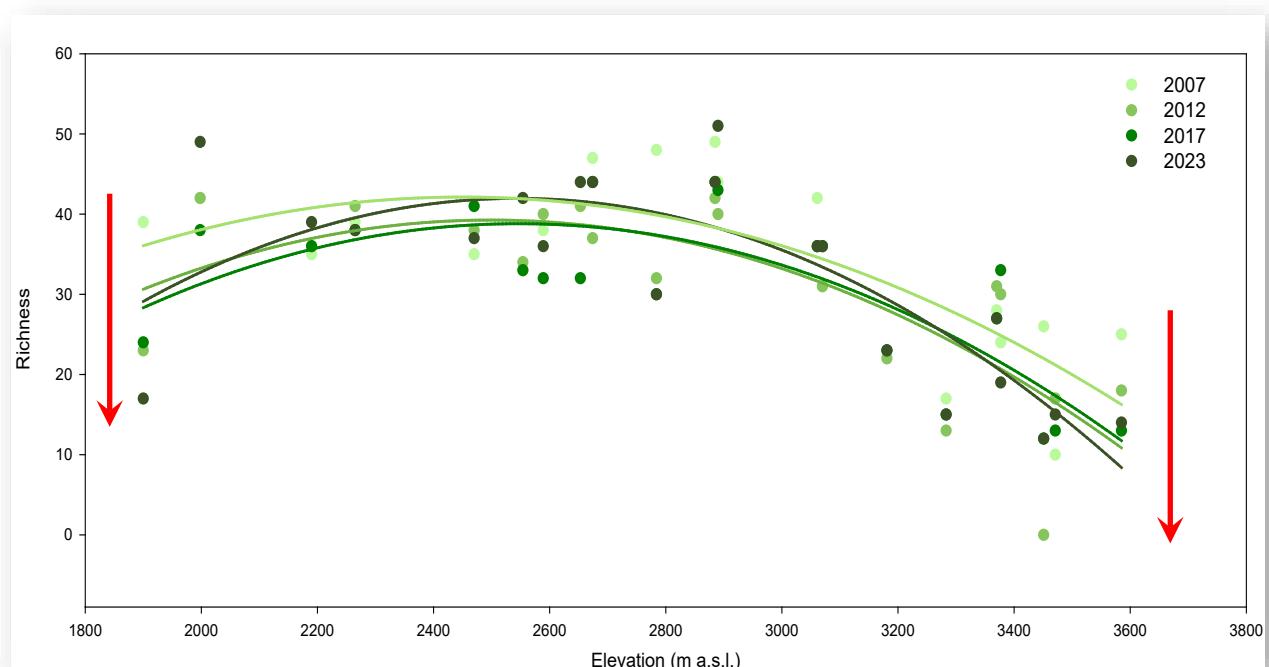


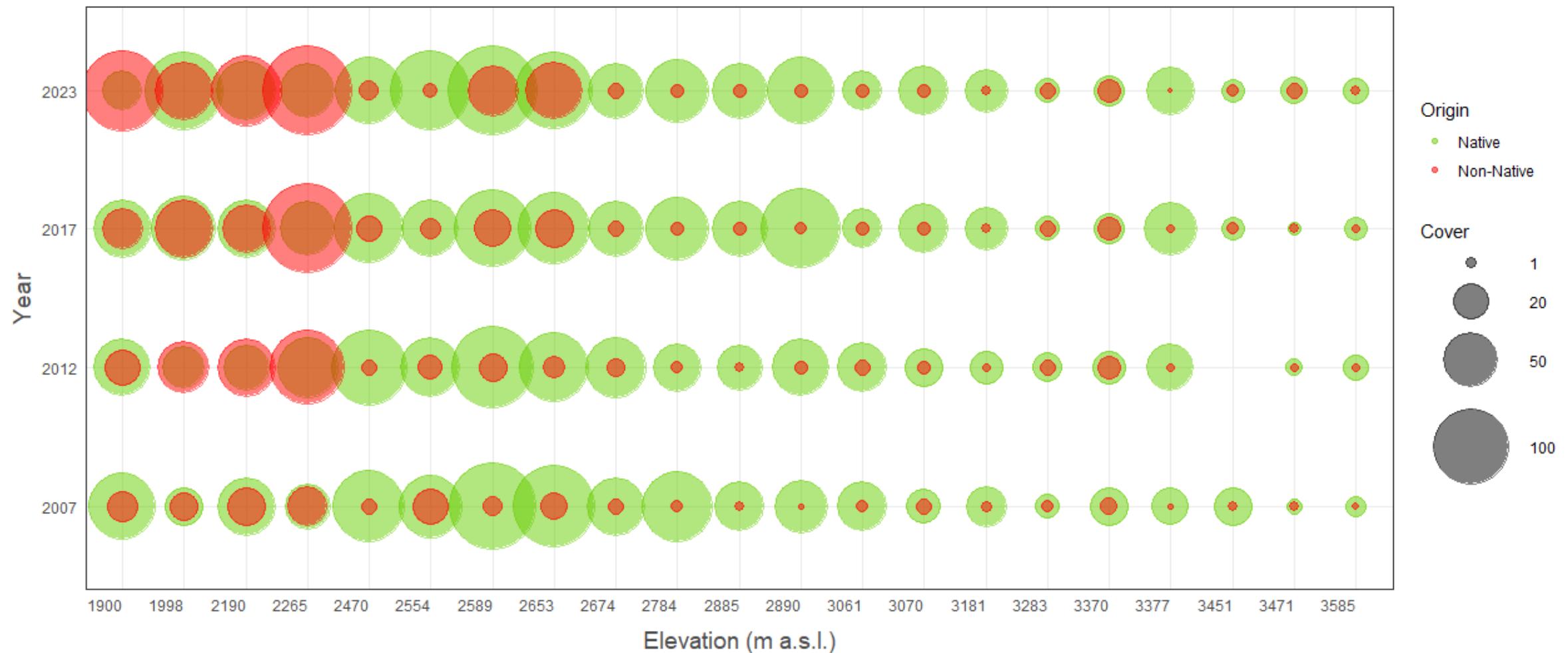


Pianka Overlap Index



Riqueza especies (2007-2023)





Miren 2007



Miren 2023

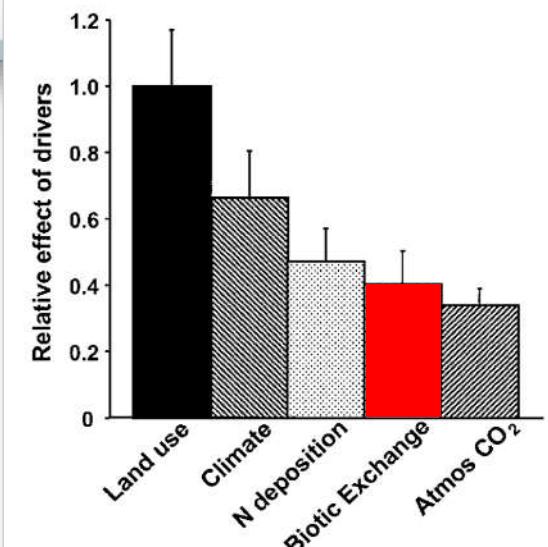
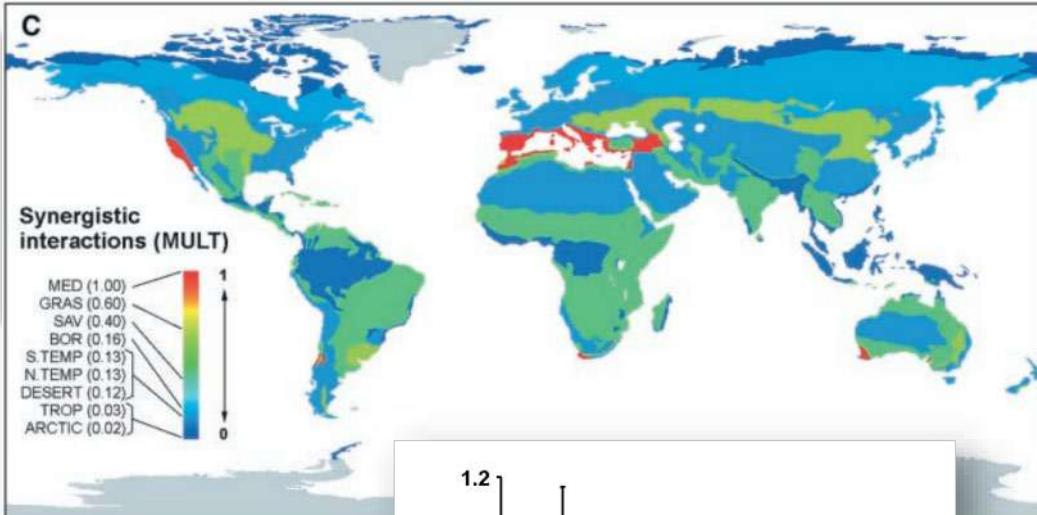






Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100

Osvaldo E. Sala,^{1*} F. Stuart Chapin III,² Juan J. Armesto,⁴ Eric Berlow,⁵ Janine Bloomfield,⁶ Rodolfo Dirzo,⁷ Elisabeth Huber-Sanwald,⁸ Laura F. Huenneke,⁹ Robert B. Jackson,¹⁰ Ann Kinzig,¹¹ Rik Leemans,¹² David M. Lodge,¹³ Harold A. Mooney,¹⁴ Martin Oesterheld,¹ N. LeRoy Poff,¹⁵ Martin T. Sykes,¹⁷ Brian H. Walker,¹⁸ Marilyn Walker,³ Diana H. Wall¹⁶



Relative effect of major drivers of changes on biodiversity.

DRIVERS

INDIRECT DRIVERS

Demographic and sociocultural

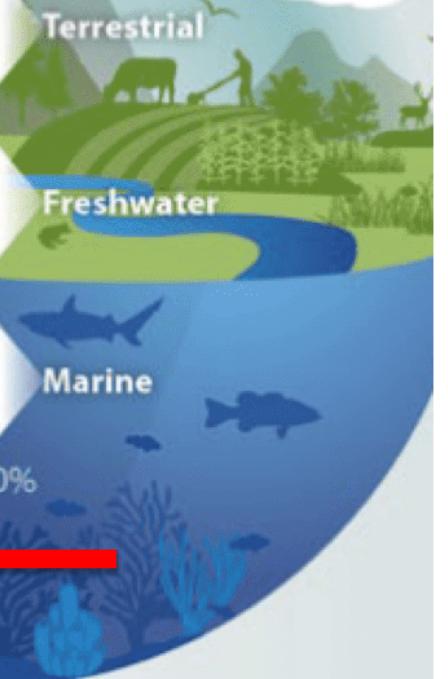
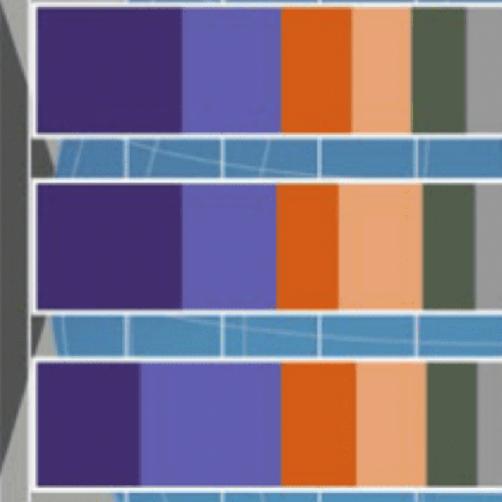
Economic and technological

Institutions and governance

Conflicts and epidemics

Values and behaviors

DIRECT DRIVERS



- Land/sea use change
- Direct exploitation
- Climate change
- Pollution
- Invasive alien species
- Others





Agricultura

- Remoción de vegetación
- Sequía de suelo
- Erosión
- Disminución de materia orgánica
- Menor infiltración (300% más escorrentía)
- 30-40% disminución de retención hídrica



Ganadería

- Compacta el suelo (hasta 15%)
- Disminuya vegetación (75%)
- Erosión y sequía superficial, puntual
- 15-20% menos retención de agua
- Menor infiltración (30-100% más escorrentía)
- Quemas intensifican el efecto



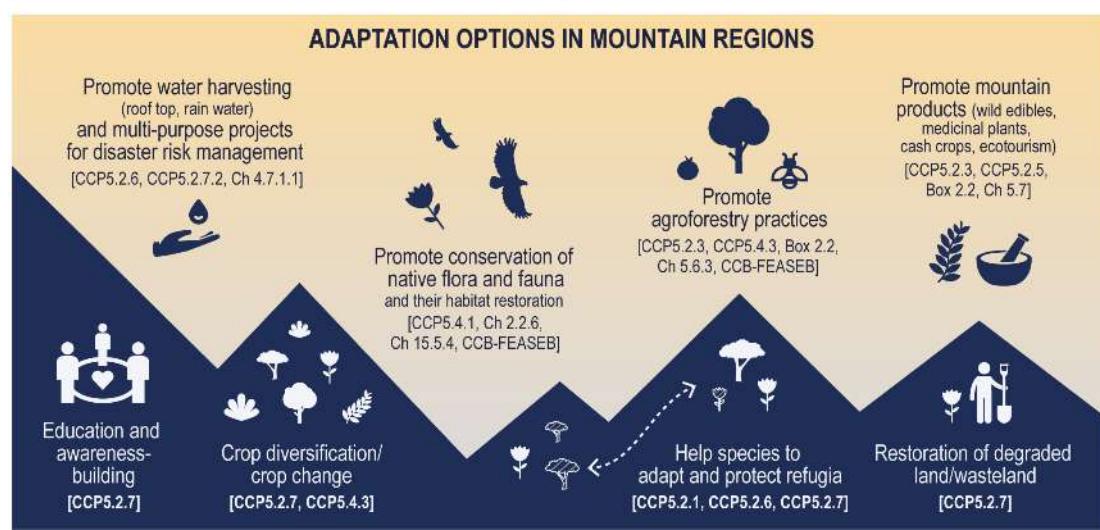
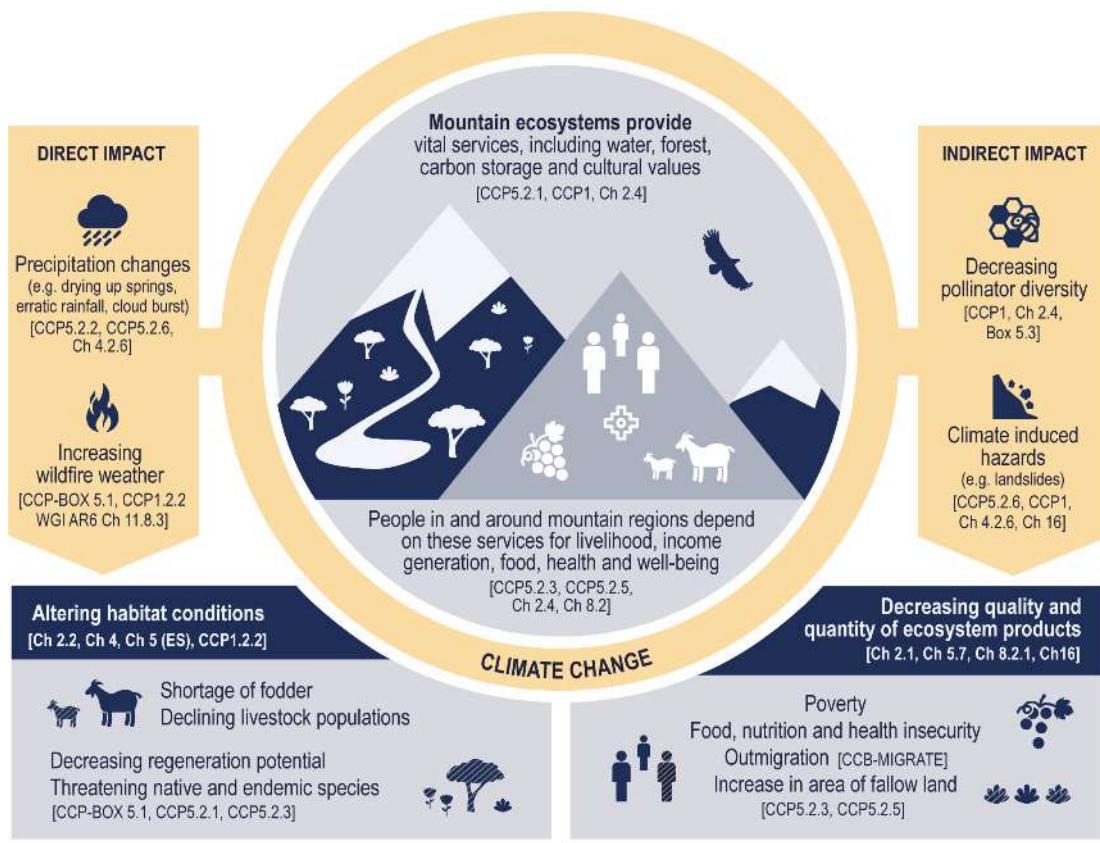


Región	Uso Histórico	Ganadería	Agricultura	Impacto de Minería	Urbanización / Infraestructura
Páramo	Baja intensidad prehispánica, luego haciendas coloniales, cultivo de trigo, ganadería bovina/ovina	Ganado bovino y ovino, impacto fuerte sobre vegetación y suelos	Cultivo intensivo de papa y trigo; pérdida de cobertura natural; erosión	Minería de carbón, oro, cobre; destrucción localizada de vegetación y suelos	Poca urbanización; conflicto social por minería
Puna	Asentamientos humanos desde hace 12-15,000 años, domesticación de camélidos nativos, agropastoralismo	Pastoreo tradicional y con especies exóticas, impacto sobre humedales altoandinos	Ha disminuido frente a la ganadería; manejo tradicional con fuego y rotación	Extendida; contaminación del agua, uso de vegetación como combustible	Crecimiento urbano como El Alto afecta ecosistemas y recursos hídricos
Andes Australes	Habitada estacionalmente por cazadores-recolectores; pastoreo transhumante desde hace 2000 años	Pastoreo de ovejas y cabras en expansión, provoca erosión y competencia con herbívoros nativos	Limitada a zonas bajas; expansión de pasturas hacia mayores elevaciones	Gran escala en Chile y Argentina; remoción de suelos, consumo de agua, contaminación tóxica	Infraestructura minera (caminos, represas) centros skis

Bolivia, Cordillera Real: las turberas altoandinas (bofedales) necesitan pastoreo tradicional de camélidos

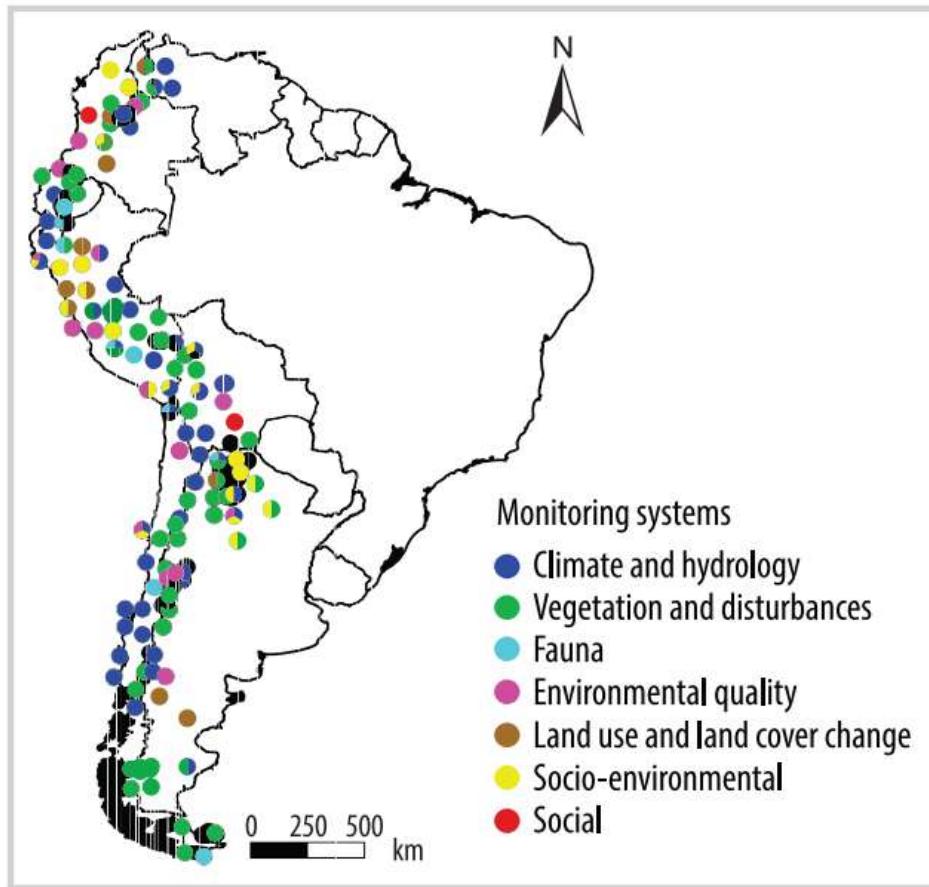


Turbera altoandina en Bolivia (bofedal) después de 10 años sin pastoreo de camélidos es colonizada por pastos de puna



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)

