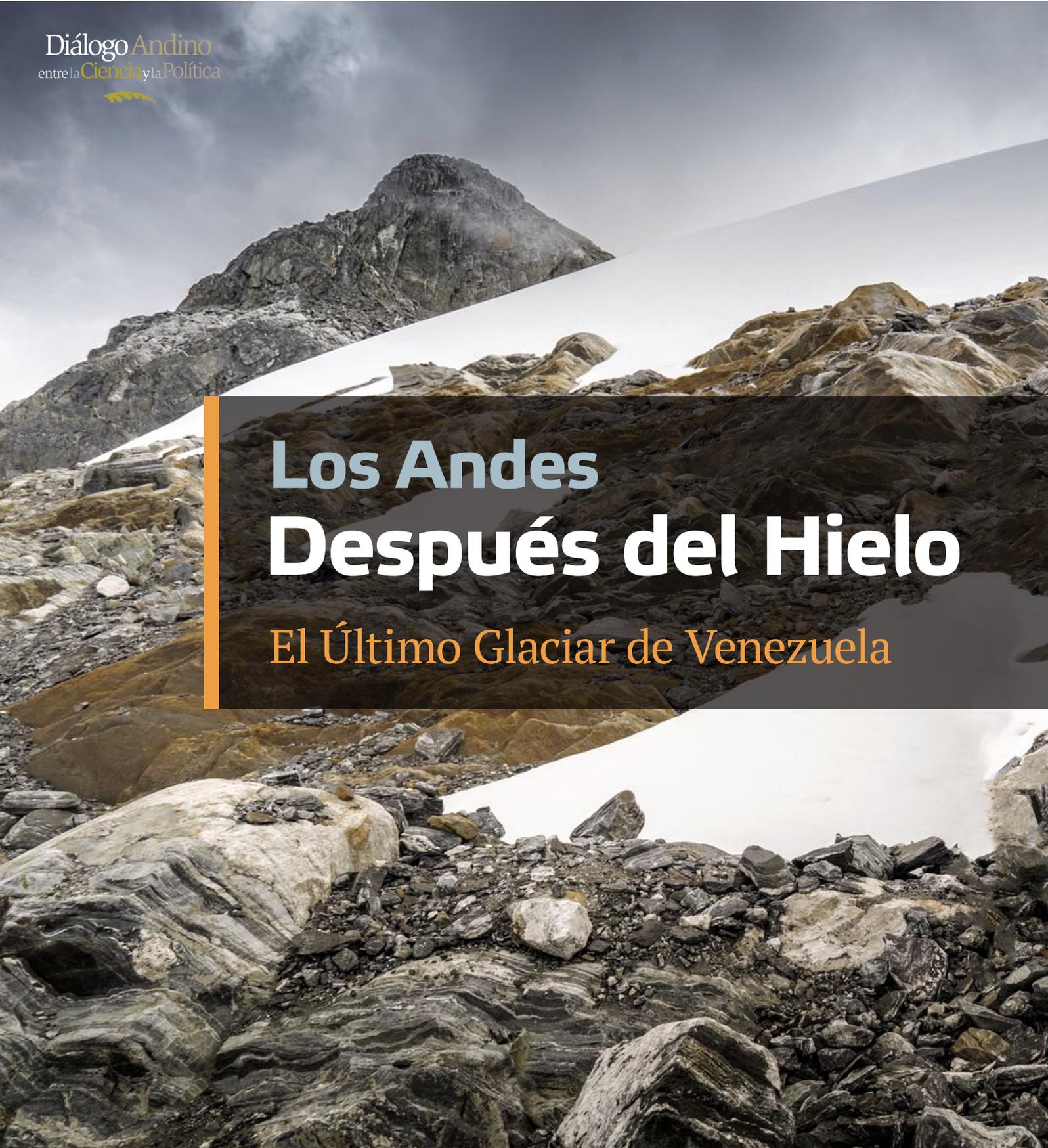


Propuestas andinas

Diálogo Andino
entre la Ciencia y la Política



Los Andes Después del Hielo

El Último Glaciar de Venezuela



INTRODUCCIÓN

Pronto, en un lustro o poco más, Venezuela se convertirá en el primer país andino en quedarse sin glaciares. Sería también la primera nación postglacial en el mundo, si es que la sombría carrera no la ganan Indonesia, Kenia o Uganda. Será el fin de una era que empezó en la última glaciación, cuando los Andes venezolanos eran prácticamente un inmenso bloque continuo de hielo. En épocas históricas se han reducido a la Sierra Nevada de Mérida; actualmente, apenas una parte de uno de sus picos, el Humboldt, está cubierto de hielo. De este, el último glaciar de Venezuela, quedan sólo cuatro hectáreas. Un hielo débil, un glaciar herido de muerte.

El proceso natural de derretimiento de los glaciares ha sido acelerado por el cambio climático global en la alta montaña tropical. Tras milenios de hielo, y antes de que empiecen milenios sin él, nos encontramos en una encrucijada singular, el momento exacto en que desaparecen los glaciares: una oportunidad única para el estudio y la reflexión.

El proyecto 'El Último Glaciar de Venezuela' es una iniciativa que se ha planteado aprovechar esta circunstancia singular para estudiar el retroceso glaciar y la dinámica de formación de un nuevo ecosistema, y a la vez promover la reflexión ante la desaparición de un paisaje emblemático. Se inició en mayo de 2019 y estuvo a cargo de un equipo científico multidisciplinario integrado por especialistas venezolanos, con el patrocinio de la National Geographic Society.

El primer objetivo fue documentar el retroceso glaciar. Un enfoque multidisciplinario, combinando diversas fuentes de información, permitió producir mapas multitemporales detallados de la cobertura glaciar en la Sierra Nevada de Mérida, desde 1910 hasta 2019. El segundo, investigar el proceso de sucesión primaria o colonización de la vida tras la retirada del hielo, siendo uno de los pocos estudios de su tipo en la alta montaña tropical. Para hacerlo, fue necesario ascender hasta la remota zona del glaciar del pico Humboldt, en expediciones que involucraron varios días de camino y trabajo en condiciones difíciles en las empinadas laderas al borde del hielo. Como parte integral del proyecto, se llevaron a cabo también una serie de actividades educativas, de formación y concientización sobre el impacto del cambio climático.

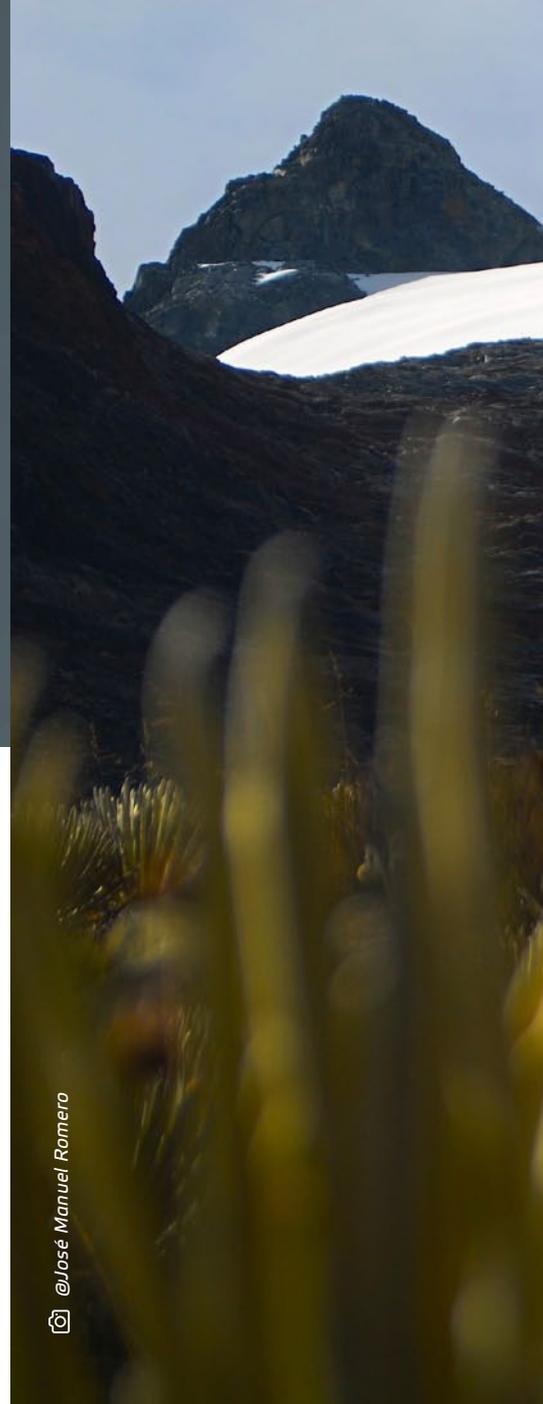
Mapas de ubicación



El fin de las nieves eternas:

Cambio climático en los Andes Tropicales

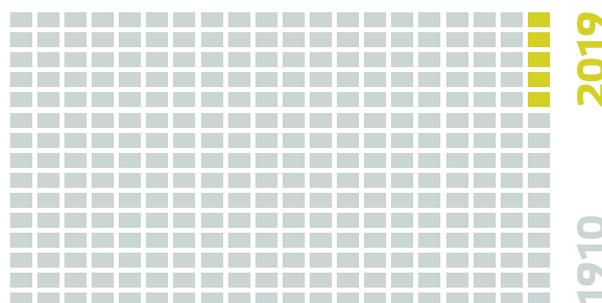
Los ecosistemas alpinos tropicales están entre los más expuestos al cambio climático, con tasas de aumento de temperatura muy rápidas debido a la combinación de mucha altitud con la cercanía al ecuador. En los Andes Tropicales, esta tendencia general ha resultado en un aumento promedio de la temperatura del aire de $0,1^{\circ}\text{C}$ por década en los últimos 70 años, con tasas aún más rápidas de más de $0,3^{\circ}\text{C}$ por década después de 1980 en zonas de alta montaña. En los Andes tropicales se concentra el 99% de los glaciares tropicales del mundo, conformando un espacio donde la tasa de retroceso de sus glaciares, después de la década de 1950, fue superior a la del promedio mundial, con un notable aumento después de 1970. En la Sierra Nevada de Mérida, por ejemplo, el área glacial ha retrocedido más del 5% anual en promedio en las últimas décadas, pasando de ocupar un área equivalente a 300 campos de fútbol en 1910, a sólo 5, a finales del 2019.



@José Manuel Romero

Retroceso del área glacial durante 109 años en la Sierra Nevada de Mérida.

CAMPO DE FÚTBOL
125 x 85 m (7.140 m²)





Glaciar del Pico Humboldt (4942 m) en 2019. Cara noroeste con frailejones (*Espeletia spicata*) al frente.

El proceso más rápido de retroceso de los glaciares en la región andina tropical corresponde a aquellos ubicados a menor altitud. Por ejemplo, en la vecina Colombia, se ha documentado una pérdida más rápida de superficie glaciar para los picos de menor elevación (p. ej. Tolima, Santa Isabel) en comparación con los picos más altos en la Sierra Nevada de Santa Marta. En algunas cuencas con influencia glaciar en los Andes

Tropicales, ya se ha superado el llamado “pico hídrico”, es decir, el deshielo acelerado ha producido al inicio un aumento de los caudales de escorrentía, llegando hasta un máximo, para luego disminuir a medida que se ha reducido la masa glaciar.

Venezuela ofrece un caso de estudio que es particularmente interesante, con solo un glaciar restante en el país, situado en el pico

Humboldt a 4.942 msnm, mientras que todos los demás picos por encima de 4.700 msnm perdieron su cubierta glaciar durante el último siglo.

¿Cuáles podrían ser los motores de estas rápidas tasas de retroceso de los glaciares? La evidencia disponible para los Andes Tropicales sugiere que el aumento de temperaturas y los cambios en las precipitaciones son dos importantes factores generales, mientras que las diferencias en la radiación en laderas de distinta orientación actúan como un modulador adicional.

En cuanto al papel de la temperatura, hay que destacar que en los Andes Tropicales el derretimiento se produce durante todo el año, lo que vuelve a los glaciares más sensibles al calentamiento. En el caso de los Andes venezolanos, según mediciones de los últimos 70 años en el aeropuerto de Mérida, existe una tendencia general de aumento de temperatura y reducción de las precipitaciones entre 1961 y 2011.

Un ejemplo de la fuerte influencia de los cambios en las precipitaciones son los datos para el glaciar Humboldt entre 2015 y 2016, que indican tasas muy rápidas de retroceso, con un 28% de pérdida de superficie del glaciar y un retroceso vertical de 40 m de elevación. Este rápido retroceso podría haber estado asociado con un evento severo de El Niño durante 2015-2016, que resultó en

precipitaciones mucho más bajas que el promedio en los altos Andes venezolanos.

La acelerada desaparición de las masas glaciares está afectando a las comunidades locales, especialmente en los Andes Centrales secos de Bolivia y Perú, donde desempeñan un papel significativo en la oferta hídrica para zonas rurales y urbanas. Los glaciares venezolanos tienen en comparación un tamaño mucho más reducido (menor a 0.05 km², comparada con 66 km² para Colombia, 124 km² para Ecuador o 1.603 km² en Perú), por lo que su influencia en las cuencas cercanas puede considerarse mínima. Sin embargo, el efecto sobre la dinámica de los ecosistemas de alta montaña es un tema abierto de investigación.

Masa glaciar en países de la región

Venezuela	0.05 km ²
Colombia	66 km ²
Ecuador	124 km ²
Perú	1.603 km ²

Documentando la desaparición de los glaciares en la Sierra Nevada de Mérida

Valle de la Laguna El Suero vista desde la ladera oeste del Pico Humboldt, Sierra Nevada de Mérida.





El área con glaciares en Venezuela está comprendida dentro del Parque Nacional Sierra Nevada, creado en 1952, por lo que todos ellos se encontraban en una zona protegida. A su vez, eran muy visibles desde la ciudad de Mérida y han formado parte importante de su patrimonio histórico y cultural.

Tras la desaparición a inicios del siglo XX del glaciar en el pico El Toro (4.758 m), quedaron sólo tres áreas con glaciares en la Sierra: la del pico Bolívar (4.978 m), la del pico La Concha (4.922 m) y la del pico Humboldt (4.940 m) que hasta hace poco se extendía hasta el pico Bonpland (4.883 m). El glaciar de La Concha desapareció en 1990, y el de la elevación más alta de los Andes venezolanos, en el Bolívar, perdió su último fragmento de hielo durante los primeros meses de 2020.

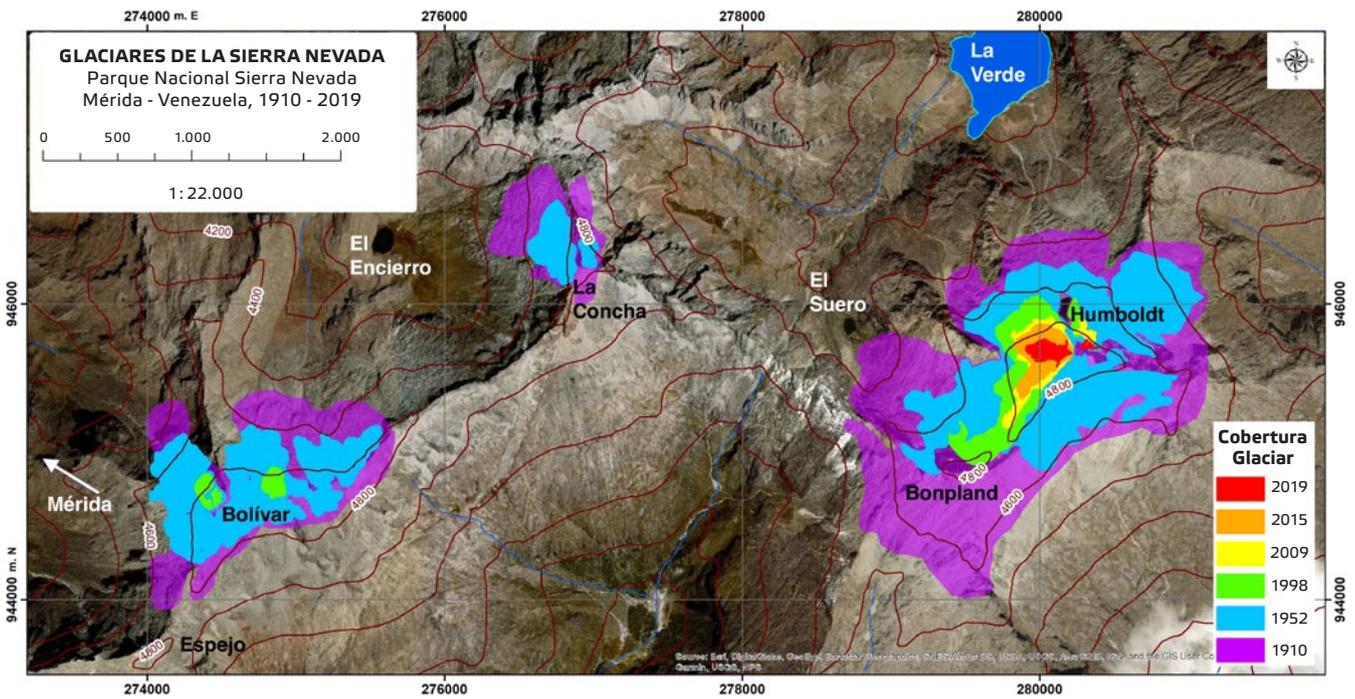
El último glaciar de Venezuela está hoy restringido a la ladera noroeste del pico Humboldt, una zona más remota y de menor accesibilidad. En este momento no existe un programa de monitoreo permanente del glaciar, y son pocos los datos disponibles de las condiciones climáticas cerca de la cumbre, ya que hay muy pocas estaciones climáticas en operación en las zonas de alta elevación de los Andes venezolanos.

La información histórica sobre la extensión de las masas glaciares en la Sierra Nevada está disponible para algunos momentos en el tiempo, y en muchos casos provenía de

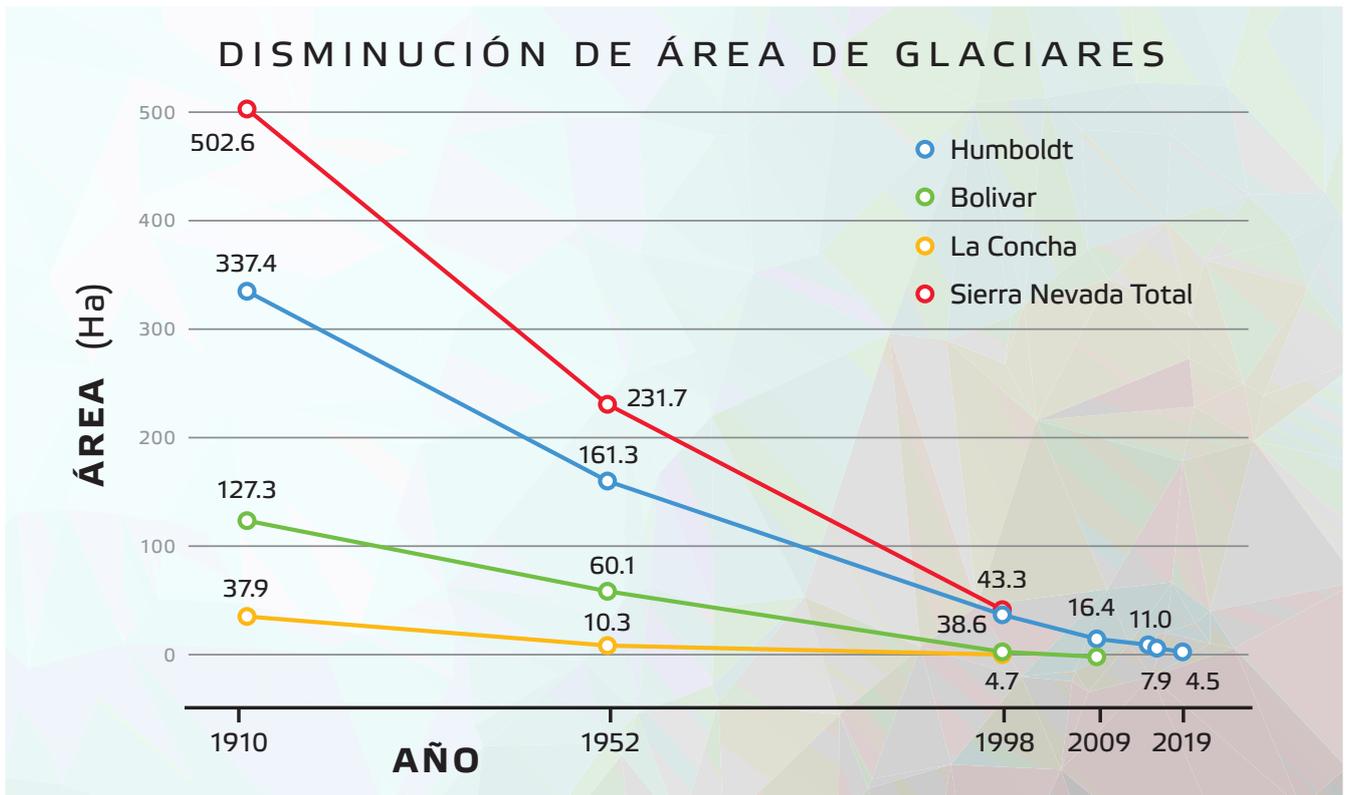


Panorámica del glaciar del pico Humboldt visto desde Pico Espejo en 1910 y en 2017.

fuentes de información geográfica (mapas o imágenes de sensores remotos) de insuficiente resolución tratándose de glaciares tan pequeños. Por ello, fue necesario generar un Sistema de Información Geográfica con datos de la extensión de las áreas cubiertas por glaciares desde las primeras estimaciones de 1910, para todas las fechas históricas donde pudiera hacerse un análisis suficientemente preciso y confiable. El proceso requirió un minucioso trabajo detectivesco, integrando múltiples fuentes de información: mapas y fotos panorámicas históricas, fotos aéreas, imágenes de satélite, entrevistas a montañistas y observaciones de campo.



Como resultado, se produjeron mapas multi-temporales de la cobertura glaciar de la Sierra Nevada de Mérida. A partir del año 1952 se dispone de fotografías aéreas detalladas y luego de imágenes de satélite de alta resolución, lo que hizo posible generar mapas muy detallados (escala 1:5000) de toda la Sierra Nevada para los años 1952, 1998, 2009, 2015 y 2019, y una revisión cuidadosa de las estimaciones históricas para 1910 (analizando en especial fotos antiguas panorámicas). Con esta información se reconstruyeron los cambios en la cobertura y las tasas de retroceso glaciar del pico Humboldt y de los extintos glaciares del pico Bolívar y La Concha.



Resultados clave:

- Desde 1910 hasta el presente los glaciares de la Sierra Nevada han retrocedido un 99%.
- Esto ha implicado la desaparición de casi todas las masas glaciares, incluyendo las de los picos La Concha (1990) y Bolívar (2020).
- Se observa un retroceso del glaciar del Humboldt desde 3.374 km² en 1910 a una extensión actual de solo 0.0454 km², representando una reducción de 98.6% de su superficie.
- En fechas recientes se observa un aumento de la tasa de retroceso, con valores muy altos de pérdida promedio de un 16.9% del área por año entre 2016 y 2019, que corresponden a 23.3 m por año de retroceso del borde terminal del glaciar (en términos de distancia horizontal) y un retroceso en la elevación del borde inferior del glaciar de 6.7 m por año.
- El remanente glaciar del Humboldt está ubicado en una zona de poca pendiente (menor de 15%), que favorece la acumulación de nieve, por lo que es difícil predecir cuándo desaparecerá por completo. El desenlace también dependerá de la frecuencia de años con eventos de El Niño, que generan sequías y aumentos de la radiación total acumulada que incide sobre la superficie del glaciar.

La máquina del tiempo: sucesión primaria en el frente de retroceso glaciar

Los hielos glaciares están lejos de ser estériles; se pueden encontrar microorganismos como bacterias y hongos microscópicos, incluso dentro del hielo. Pero al retirarse el glaciar, el panorama luce aparentemente estéril. La vida sin embargo se abre paso, y poco a poco coloniza la roca desnuda; surge un nuevo ecosistema. Es lo que se conoce como *sucesión primaria*: los seres vivos invaden por primera vez una zona desprovista previamente de suelo o de vegetación; la *sucesión secundaria* es un proceso semejante, pero donde la vegetación ha sido perturbada por incendios, deslaves o cultivos. Los primeros organismos macroscópicos en llegar a las zonas de retroceso glaciar son generalmente los líquenes, una simbiosis entre hongo y un organismo fotosintético como una bacteria o un alga; y los musgos, plantas muy simples que carecen de tejidos conductores de agua y nutrientes. Estas formas de vida pioneras pueden subsistir sin



© @ José Manuel Romero



© @ Luis Daniel Lambi



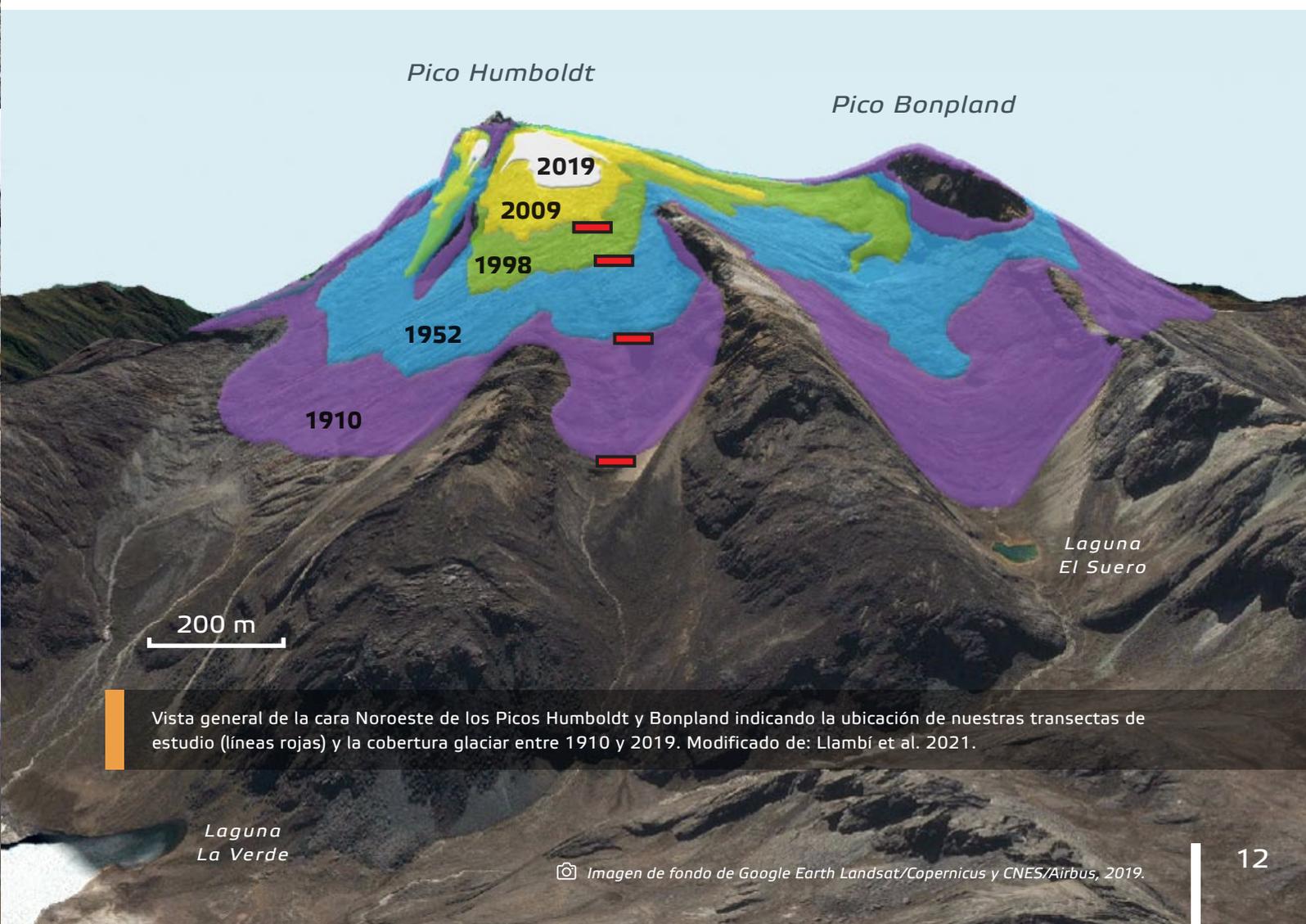
© José Manuel Romero

el substrato provisto por el suelo y pueden formar parches dispersos conocidos como *biocostras*. Gracias a la acción colonizadora de estos pioneros, se va formando poco a poco una capa de suelo que luego aprovechan las plantas, y finalmente los animales, como los vistosos insectos y aves que actúan como polinizadores, incluso en estas zonas de alta montaña, al límite de la vida.

Para estudiar este proceso se usó un enfoque sincrónico, convirtiendo figurativamente el glaciar en una "máquina del tiempo". Utili-

zando los mapas multitemporales detallados generados, se identificaron puntos en la ladera del pico Humboldt donde el glaciar estaba presente en 1910, 1952, 1998 y 2009, obteniéndose así una *cronosecuencia* de ecosistemas de diferentes edades. Este enfoque de sustitución del espacio por el tiempo, permite estudiar el desarrollo progresivo del ecosistema tras la retirada del glaciar. En estos 4 puntos se establecieron sitios de estudio, en cada uno de los niveles de la cronosecuencia, situados a distintas altitudes entre 4300 y 4800 msnm.

CRONOSECUCENCIA - LA MÁQUINA DEL TIEMPO



Vista general de la cara Noroeste de los Picos Humboldt y Bonpland indicando la ubicación de nuestras transectas de estudio (líneas rojas) y la cobertura glaciar entre 1910 y 2019. Modificado de: Llambí et al. 2021.

Durante tres expediciones realizadas entre mayo y diciembre de 2019, se demarcaron 8 parcelas (5 x 5 m) en cada uno de estos 4 sitios, a lo largo de transectas de 50 m donde se estimó la abundancia de las diferentes especies de líquenes, musgos y plantas presentes. A su vez, para estudiar el desarrollo de los suelos, se tomaron 12 muestras (3 cm profundidad) a lo largo de cada una de las transectas, 6 muestras dentro de las biocostras y 6 fuera de estas, y se determinó en el laboratorio el contenido de materia orgánica y nutrientes claves para el crecimiento de las plantas (p. ej. el nitrógeno, el calcio y el magnesio). También se colocaron una serie de pequeños termómetros con memoria digital, tanto bajo suelo como dentro de biocostras en cada uno de los sitios, y se registraron temperaturas durante 6 meses.



© Mariana Cardenas



© Cherry Rojas

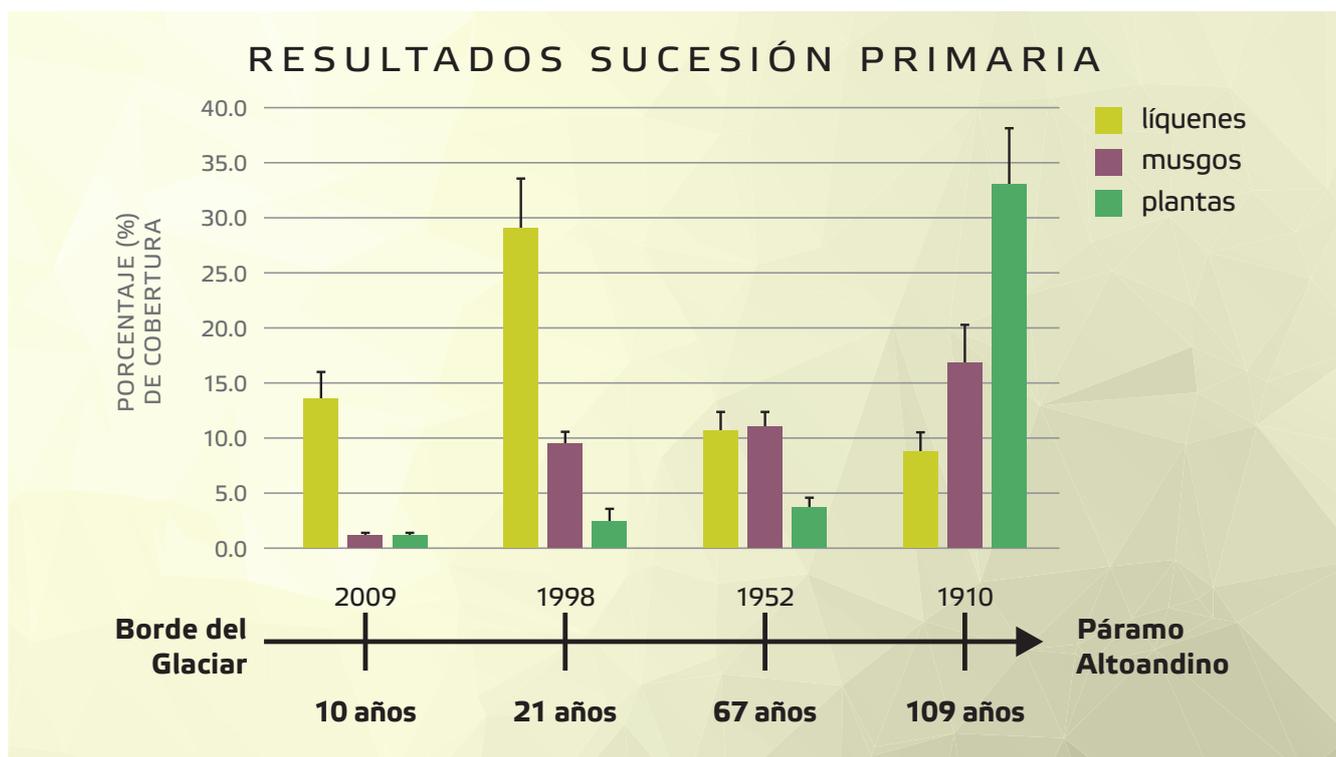
De abajo-izquierda a arriba-derecha: Planta en flor de *Draba chionophila*; colibrí (*Oxygogon lindenii*) y flores de tabacote morado (*Senecio wedglacialis*); musgos y líquenes creciendo sobre las rocas (*Grimia* sp., *Rhizocarpon geographicum*, *Caloplaca microthallina*, *Lepraria albicans*).



© Luis Daniel Llambr



© José Manuel Romero



Resultados clave:

- Se identificaron 36 especies de plantas vasculares, de las que 24 son endémicas de los páramos de Sudamérica y 7 especies endémicas de Venezuela. Para los musgos se identificaron 55 especies, incluyendo 6 nuevos reportes para el país y 8 especies endémicas de los páramos. En el caso de los líquenes, se registraron 47 especies, siendo más de la mitad (25 especies) reportes nuevos para Venezuela, y posiblemente 7 nuevas para la ciencia.
- En los 3 sitios de mayor altitud (ecosistemas más jóvenes) se constató que los líquenes y musgos crecen juntos formando biocostras.
- Los líquenes dominaron los dos sitios más jóvenes a mayor altitud, mostrando una mayor cobertura y actuando como pioneros en el desarrollo del ecosistema. Sin embargo, disminuyen en abundancia en los dos sitios más antiguos a menor elevación, mientras los musgos y las plantas vasculares aumentan en cobertura y diversidad con el tiempo.
- A lo largo de la cronosecuencia se observó un claro aumento en la materia orgánica y nitrógeno del suelo durante la sucesión (al alejarnos del borde actual del glaciar).
- Aunque no se observó un efecto significativo de las biocostras sobre los nutrientes del suelo, éstas sí tuvieron un efecto importante de moderación de las oscilaciones térmicas en la superficie, reduciendo marcadamente la frecuencia de temperaturas congelantes.

El rompecabezas de las interacciones en el límite de la vida

Usualmente en ambientes muy extremos la competencia entre seres vivos deja de ser predominante: la lucha por la existencia ya no es con otros organismos, sino con los factores ambientales adversos (una idea sugerida inicialmente por Darwin en *El Origen de las Especies*). Es tan fuerte la influencia del medio que la competencia entre especies deja paso a la cooperación, en lo que se conoce como *interacciones de facilitación*. En el caso de las sucesiones primarias, las interacciones de facilitación pueden jugar un papel clave en las etapas iniciales, ya que las plantas deben establecerse en un sustrato en donde inicialmente no existe suelo ni un banco de semillas. En la medida en que los diferentes componentes de la comunidad biótica (bacterias, líquenes, musgos, plantas vasculares y animales) colonizan las zonas de retroceso glaciar, se van incorporando nuevas piezas que permiten armar el rompecabezas de las interacciones

bióticas durante el proceso de ensamblaje del ecosistema.

En ese espacio ocurren dos carreras dispares: el cambio climático puede ser mucho más rápido que la capacidad de colonización de la vegetación, particularmente lenta en estas zonas extremas. Algunas especies especialistas de la alta montaña necesitan subir a mayor altura en la montaña ante el aumento de temperatura, pero puede que no lo logren en un terreno demasiado extremo: inestable, pendiente, muy rocoso y con suelo aún en desarrollo. En este caso las interacciones de facilitación pueden jugar un papel particularmente importante.

Como parte del proceso de detección de estas interacciones, estudiamos la cobertura de líquenes y musgos en micro parcelas circulares de 45 cm de diámetro ubicadas en torno a ejemplares de *Poa petrosa*, la espe-



Toma de datos de la biocostra en una parcela.

RED PLANTA-POLINIZADOR

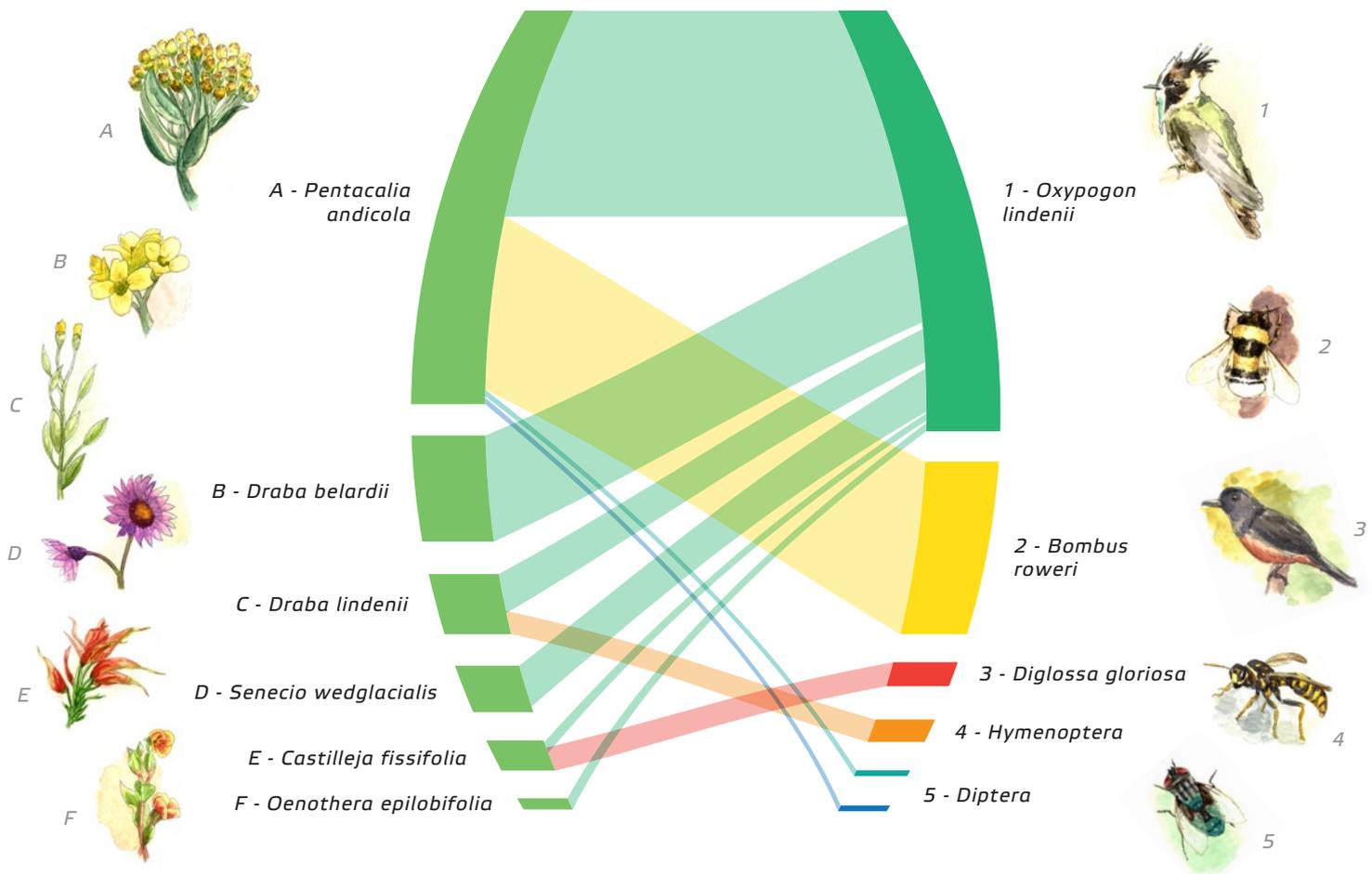
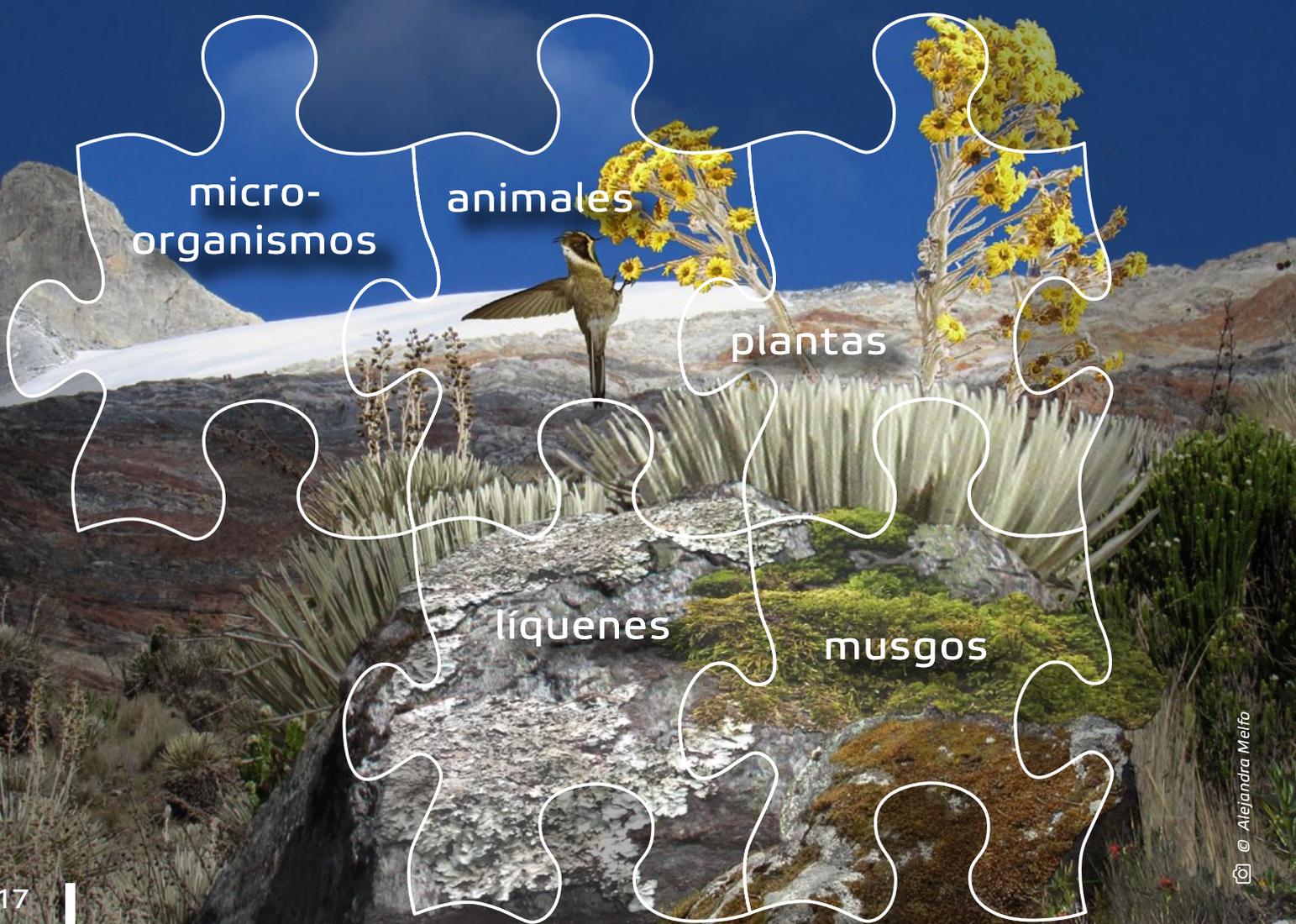


Diagrama de la red planta-polinizador basado en las visitas observadas en dos sitios (67 y 109 años de sucesión) en la zona de retroceso del glaciar del Humboldt. El grosor de la línea representa la intensidad de la interacción (frecuencia de visitas). Modificado de: Llambí et al. 2021.

cie de gramínea pionera dominante. Otro estudio clave fue el de las interacciones locales entre líquenes y musgos dentro de las biocostras (analizando sus patrones espaciales locales de co-ocurrencia centímetro a centímetro). Finalmente, en los dos sitios más antiguos estudiados, en los que el glaciar desapareció hace más de 60 años, las plantas con flores atractivas para los polinizadores se hacen más abundantes (p. ej. los visto-

sos frailejones de flores amarillas). Allí se establecieron cámaras fijas y se realizaron observaciones focales para poder registrar los animales que visitaban las flores como polinizadores.

EL ROMPECABEZAS DE LAS INTERACCIONES DURANTE LA SUCESIÓN PRIMARIA





Planta pionera en la colonización del frente de retroceso glaciar (gramínea, *Poa petrosa*), creciendo sobre una costra biológica formada por musgos y líquenes.

Resultados clave:

- Líquenes y musgos mostraron interacciones locales positivas entre sí dentro de las biocstras, sugiriendo efectos de facilitación entre ellos.
- Algunas especies de líquenes y musgos están asociadas a los micro-sitios donde se estableció favorablemente la gramínea dominante en las zonas a mayor altitud (*Poa petrosa*). Es decir, líquenes y musgos tienen un efecto positivo de facilitación sobre el establecimiento de las plantas pioneras.
- La red de plantas-polinizadores estuvo conformada por solo seis especies de plantas y seis de polinizadores, incluyendo colibríes, abejas, abejorros y moscas. La mayor frecuencia de visitas la mostró el colibrí especialista de los páramos altos *Oxypogon lindenii*.
- Las interacciones positivas juegan un papel clave en las zonas de retroceso glaciar, siendo la facilitación clave en las etapas iniciales mientras que las redes de polinización toman bastante más tiempo en establecerse (más de 60 años).
- Los resultados sugieren que bajo escenarios de rápido cambio climático, como los previstos para este siglo, la velocidad de respuesta de la vegetación en estas zonas al límite de la vida pudiera ser limitada, y depender del desarrollo progresivo de los suelos y el establecimiento de frágiles redes de interacción a lo largo de muchas décadas.
- A su vez, esto pudiera generar la eventual pérdida de especies especialistas de las zonas de mayor elevación, particularmente especies endémicas, que muestran una importancia relativa excepcionalmente alta en los páramos de los Andes del Norte.

La eternidad tiene fin: los glaciares y la gente

Cuando las comunidades indígenas se asentaron en la meseta en la que, siglos después, los conquistadores españoles fundaron la ciudad de Santiago de los Caballeros de Mérida, los glaciares ya estaban ahí. La ciencia dice que se consolidaron durante las glaciaciones del período Cuaternario, pero a los merideños les gusta repetir el relato del historiador local Tulio Febres Cordero de 1895: que en los días de Caribay, primera mujer entre los indios mirripuyes, cinco águilas blancas se posaron sobre cada uno de los cinco picos de la que luego se conocería como Sierra Nevada de Mérida. Que clavaron sus garras en la roca y se quedaron inmóviles, silenciosas, con las cabezas vueltas hacia el Norte, convertidas en cinco masas enormes de hielo, como respuesta al deseo de Caribay de quedarse con sus plumas de plata; y que, furiosas ante su insistencia, sacudieron sus alas, y el suelo se cubrió de copos de nieve y la montaña toda se engalanó del plumaje blanco.

Así, desde que los españoles le dieron el nombre de la ciudad a la Sierra Nevada que tenía frente a sí, en el imaginario colectivo de sus habitantes está marcada la idea de que las cumbres que la adornan y la nieve son una misma cosa. Es una identidad que va más allá de una frase que funciona como adjetivo, cuando se dice que es la Ciudad de las Nieves Eternas. La singularidad de la nieve en un país tropical y caribeño convirtió a Mérida en uno de los destinos turísticos emblemáticos de Venezuela; la mayoría de los glaciares eran visibles desde la ciudad. Para muchos turistas y montañistas, su presencia fue una atracción importante que provocó la instalación de un teleférico que va desde la ciudad hasta el pico Espejo, a 4.765 msnm. Es el teleférico más largo y más alto del mundo, y se le tiene mucho cariño en la ciudad, porque fue una iniciativa de los merideños, promovida por los montañistas locales.

Ya no se puede hacer escalada en hielo en Venezuela: el acceso está normado por el Instituto Nacional de Parques, que emitió desde el 2018 una providencia de restricción de escalada en el glaciar Humboldt ante la precipitada disminución de su tamaño. Restricciones similares han sido implementadas en otros países como la vecina Colombia, con el fin de proteger del daño directo a los glaciares remanentes (y también de prevenir accidentes por desprendimientos o la formación de grietas profundas). La crisis actual ha disminuido la afluencia de visitantes, de modo que el impacto de la desaparición de los glaciares sobre la industria turística aún no puede apreciarse del

todo, pero será sin duda significativo.

Aunque desde el punto de vista hídrico la presencia de glaciares no es significativa desde hace tiempo en el caso de los Andes de Venezuela (por su tamaño reducido), el cambio climático seguirá afectando a los páramos venezolanos, con tasas altas de calentamiento y reducciones de la precipitación proyectadas durante el siglo XXI. Esto continuará teniendo efectos importantes sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, especialmente dado el alto grado de vulnerabilidad de la vegetación, la fauna y los suelos de la alta montaña.

Cuadro de Mérida y la Sierra Nevada. Acuarela de Anton Goering C. 1870.



Como parte de los esfuerzos de educación ambiental y difusión de información, se han venido dictando, en el marco del proyecto, charlas informativas a organismos gubernamentales, ONGs y grupos de montañismo y rescate. Se desarrolló también un programa de divulgación en las escuelas de la ciudad y alrededores, incluyendo salidas al páramo con demostraciones de cómo se hace el trabajo de campo del proyecto y el monitoreo ambiental. Como contribución a los esfuerzos de difusión, se produjo un corto documental de 15 minutos sobre la vida después del hielo en la zona de retroceso del último glaciar venezolano.

▶ VER DOCUMENTAL

El 2020 se recordará como el año en el que Mérida dejó de ver los glaciares. Es probable que aún muchos merideños no sean conscientes de esta nueva realidad, y que lo mismo les esté ocurriendo a poblaciones de otros países andinos en regiones donde los glaciares también han desaparecido o están por desaparecer. El que durante el año en la época de lluvias haya nevadas y los vacíos que dejaron los glaciares se vuelvan a pintar de blanco, probablemente lleva a que se malinterprete la realidad: una cosa es que haya nieve y otra que haya glaciar. Será poco a poco que los venezolanos vayan aceptando la nueva desnudez de la Sierra Nevada. Pero este drástico cambio de un paisaje emblemático puede también ser una

oportunidad para llamar la atención sobre los efectos del cambio climático en los Andes Tropicales, a medida que la Ciudad de las Nieves Eternas descubre que la eternidad tiene fin.

De arriba a abajo: Pico Bolívar desde la estación de Pico Espejo en 1956 y 2019.



© Franco Anzil

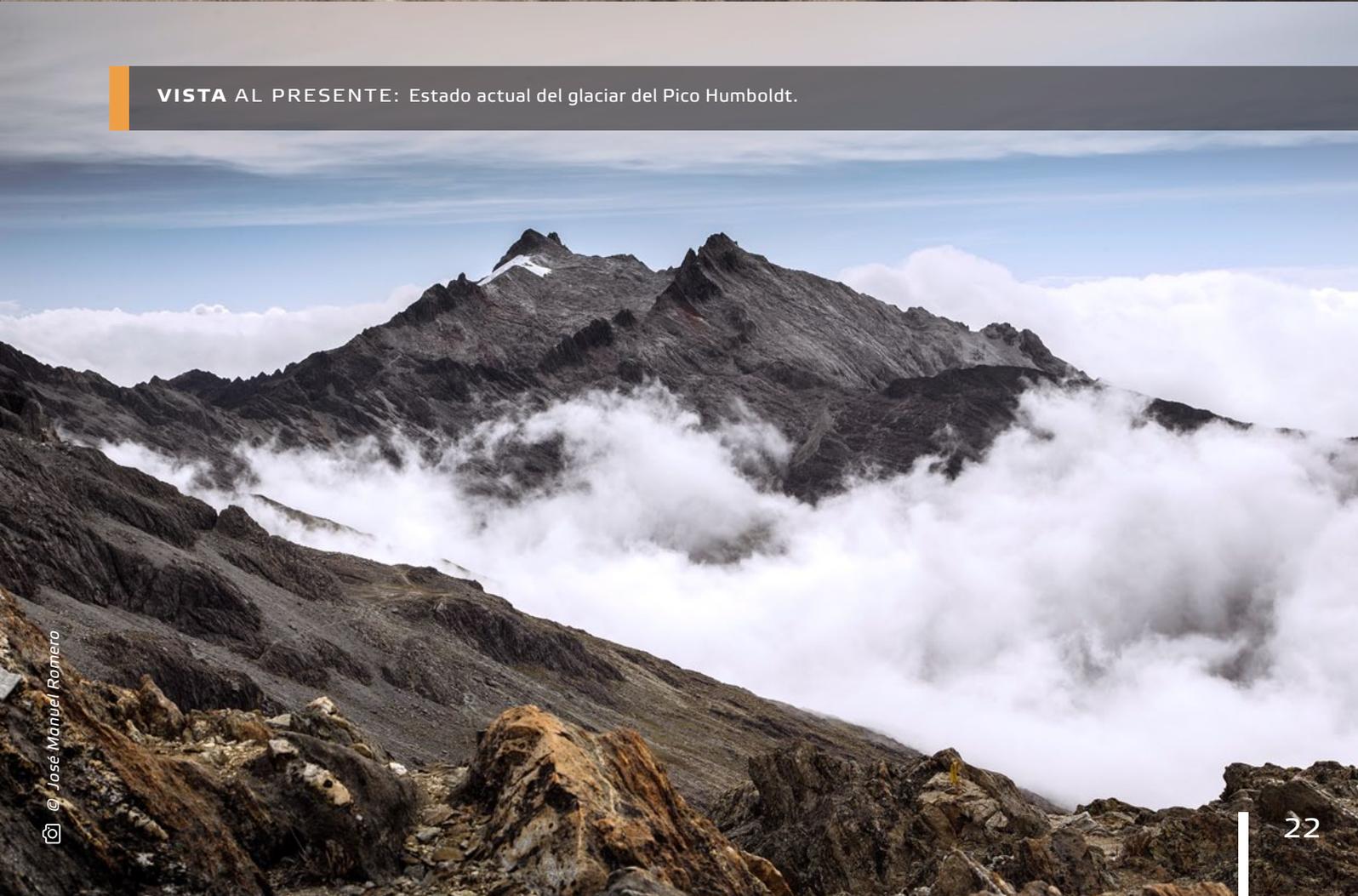


© Luis Daniel Llambí



© Colección de José Betancourt

VISTA AL PASADO: Fotografía de 1922 del Pico Humboldt visto desde el Pico Espejo, tomada por Moritz Blumenthal.



VISTA AL PRESENTE: Estado actual del glaciar del Pico Humboldt.

© José Manuel Romero

Queda mucho por hacer y por explorar

En el Informe *El Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante* (2019) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático prevé que las regiones donde predominan los glaciares más pequeños, entre esos los Andes Tropicales, sufrirán la pérdida de más del 80 % de su masa de hielo actual en 2100. Que el retroceso de los glaciares ya ha incidido en el rendimiento agrícola en algunas regiones de alta montaña, y que los activos culturales, recreativos y turísticos de estas zonas se verán perjudicados por los futuros cambios en la criósfera.

El glaciar Humboldt es un colosal espejo en el que los demás países andinos tienen la posibilidad de mirarse. Con su último glaciar, ahora casi una roca desnuda, la Sierra Nevada de Mérida se convierte en un centinela que advierte que los cambios son irreversibles y que es hora de que la región se plantee cómo gestionar la vida después del hielo.



¿QUÉ PODEMOS HACER?

- ▷ Venezuela será el primer país post-glacial de los Andes. De continuar las tendencias actuales de calentamiento, este es un fenómeno que se irá repitiendo en los otros países a lo largo de la Cordillera. Para Venezuela es tarde, pero quizás estemos a tiempo de prevenir que otros glaciares de montaña del mundo tengan el mismo destino. Pero debemos actuar ya, e impulsar con más fuerza opciones efectivas de mitigación del cambio climático (p. ej. mecanismos de desarrollo limpio, prevención de los procesos de degradación de ecosistemas, entre otros).
- ▷ Es fundamental promover una visión integral de los impactos e implicaciones del retroceso glaciar, que considere los impactos sobre la oferta de agua y la generación de riesgos, pero también sus consecuencias sobre la dinámica de los ecosistemas y paisajes de la alta montaña (p. ej. nuevos ecosistemas, degradación de humedales y bofedales, pérdida de especies especialistas de estas zonas).
- ▷ A su vez es importante documentar, analizar y comparar las tradiciones e implicaciones culturales, socio-económicas y turísticas del retroceso glaciar en los diferentes países de los Andes y promover procesos de reflexión y aprendizaje social en torno al tema.
- ▷ En este contexto, es necesario fortalecer las redes regionales de monitoreo de largo plazo existentes a escala continental (p. ej. GLORIA-Andes, IMHEA, redes de monitoreo glaciar) y promover la implementación de estrategias más integrales de monitoreo socio-ambiental.
- ▷ Dada la presión que genera la interacción del cambio climático y el uso de la tierra sobre los ecosistemas, paisajes y sociedades altoandinas, es clave continuar promoviendo estrategias innovadoras de conservación, restauración ecológica y adaptación al cambio climático en estos espacios únicos en el planeta.

GLOSARIO

Glaciar

Masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo (por deformación de su estructura interna y por el deslizamiento en su base), encerrado por los elementos topográficos que lo rodean, como las laderas de un valle o las cumbres adyacentes.

Biocostra

Comunidad de seres vivos tales como microorganismos, musgos y líquenes, formando parches sobre suelos áridos o semidesérticos.

Sucesión Primaria

Tipo de sucesión ecológica donde las especies colonizan por primera vez una zona libre de vida, como por ejemplo, zonas de retroceso glaciar o sustratos expuestos por erupciones volcánicas.

Facilitación

Interacción entre especies que beneficia al menos a una de ellas y no perjudica a ninguna.

Cronosecuencia

Secuencia de sitios o suelos relacionados, que difieren en su grado de desarrollo debido a diferencias en su edad.

Liquen

Organismo simbiótico formado por un hongo y un componente fotosintético, que puede ser un alga o una bacteria.

Musgo

Plantas pequeñas no vasculares de la división Briofitas, con estructuras tipo hoja dispuestas alrededor de un tallo y esporas encapsuladas.

Red planta-polinizador

Red de interacciones que conecta plantas con flor con sus respectivos animales polinizadores (p. ej. aves, insectos).

BIBLIOGRAFÍA

- Braun C., and M. Bezada. 2013. The history and disappearance of glaciers in Venezuela. *Journal of Latin American Geography* 12(2):85–124. doi: 10.1353/lag.2013.0016.
- Buytaert, W., and B. De Bièvre. 2012. Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the Tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8): W08503. doi:10.1029/2011WR011755.
- Cuesta F., L.D. Llambí, C. Huggel, et al. 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*: 1-20. doi.org/10.1007/s10113-019-01499-3.
- 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.
- IDEAM, Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Bogotá., D.C., 2012. 344p (http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022428/Glaciares_web.pdf)
- IDEAM [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales]. 2019. Informe del Estado de los Glaciares Colombianos. Bogotá: IDEAM.
- INPARQUES [Instituto Nacional de Parques]. 2018. Providencia para la Protección del Glaciar del Pico Humboldt. Caracas: Presidencia INPARQUES.
- IPCC, 2019: "Resumen para responsables de políticas", en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds.)]. En prensa.
- Llambi1, L.D., Melfo, A., Gámez, L.E., Pelayo, R., Cárdenas, M., Rojas, C., Torres J.E., Ramírez, N., Huber, B., Hernández, J.E. 2021. Primary succession in the forefield of the last Venezuelan glacier: ecosystem assembly and biotic interactions in an extreme tropical-alpine environment. Enviado: *Frontiers in Ecology and Evolution*.
- Melfo A, Llambí LD, Ferrer A, Besada M, Yarzabal A. 2017. Se Van Los Glaciares: cambio climático en los Andes venezolanos. Fundación Empresas Polar, Caracas, 123 pp.
- Polk, M.H., K.R.Young, M. Baraer, B.G. Mark, J.M. McKenzie, J. Bury, and M. Carey. 2017. Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Applied Geography* 78:94–103.
- Rabatel, A., B. Francou, A. Soruco, et al. 2017b. Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere* 7:81–102.
- Ramírez, N., Melfo, A., Resler, L. and Llambí L.D. 2020. The end of the eternal snows: integrative mapping of 100 years of glacier retreat in the Venezuelan Andes. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 1-19. DOI: 10.1080/15230430.2020.1822728.
- Veetil, B.K., Kamp, U. 2019. Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges. *Geosciences* 9, 196. doi:10.3390/geosciences9050196
- Vuille, M., M. Carey, C. Huggel et al. 2018. Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes—impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth Science Review* 176:195–213.
- Zimmer, A., R.I. Meneses, A. Rabatel, A. Soruco, O. Dangles, and F. Anthelme. 2018. Time lag between glacial retreat and upward migration alters tropical alpine communities. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 30:89–102.

CRÉDITOS

Autores:

Luis Daniel Llambí
Alejandra Melfo
Tali Santos

Apoyo en la edición y revisión de textos:

Ana Carolina Benitez
Alexandra Garcés

Equipo Científico:

Luis Daniel Llambí
Alejandra Melfo
Luis Enrique Gámez
Roxibell Pelayo
Nerio Ramírez
Cherry Rojas
Mariana Cárdenas
Jesús Eloy Torres
Bárbara Huber

Diseño y diagramación:

Daniel Romagosa

Ilustraciones red de polinización (Pg. 16)

Ana Espinoza

Este documento fue elaborado a partir del estudio realizado por el Proyecto "Último Glaciar de Venezuela: sucesión primaria en los Andes Tropicales", financiado por la National Geographic Society (Grant No. NGS-55170R-19) y coordinado por el Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas de la Universidad de los Andes (Venezuela).

Citar como:

Llambí, L.D., Melfo, A., Santos, T. (2021). Los Andes Después del Hielo: El Último Glaciar de Venezuela. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas - ICAE - Universidad de los Andes. Propuestas Andinas No. 17. CONDESAN. Mérida, Quito.

Agradecimientos:

El Proyecto Último Glaciar Venezolano agradece el financiamiento y apoyo de la National Geographic Society (Grant No. NGS-55170R-19). El Sistema Teleférico de Mérida y el Instituto Nacional de Parques facilitaron el acceso a las áreas de estudio en el Parque Nacional Sierra Nevada. Agradecemos a las asociaciones de montañismo y rescate URO y UGAM su invaluable apoyo logístico durante las expediciones, y a la Fundación Ymago por el excelente material fotográfico y audiovisual creado para el proyecto. A su vez, agradecemos el apoyo del Laboratorio de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales y del Laboratorio de Microbiología y el Laboratorio de Análisis Químico (LIAQIA) de la Facultad de Ciencias (ULA). José Betancourt y a Maximiliano Bezada prestaron su experiencia y asesoría, claves en la elaboración de los mapas, y Jesús Hernández colaboró en la identificación de líquenes. Gracias a Henrique Benedetti, Goran Senjanovic, y demás amigos del Proyecto que contribuyeron a equipar nuestras expediciones. Enmarcado en las dificultades que enfrenta actualmente la labor científica en Venezuela, este trabajo ha sido posible gracias a la inestimable ayuda de numerosos colegas de la Universidad de Los Andes, y sobre todo al espíritu de los miembros del equipo del Proyecto Último Glaciar Venezolano.

Las publicaciones de CONDESAN contribuyen con información para el desarrollo sostenible de los Andes y son de dominio público. Los lectores están autorizados a citar o reproducir este material en sus propias publicaciones. Se solicita respetar los derechos de autor de los investigadores y CONDESAN y enviar una copia de la publicación en la cual se realizó la cita o publicó el material a nuestras oficinas.

Los Andes Después del Hielo

El Último Glaciar de Venezuela



Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas

Facultad de Ciencia
Universidad de los Andes
La Hechicera, Mérida 5101
Venezuela

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONDESAN

condesan@condesan.org
www.condesan.org
Facebook: @CONDESANandes

Oficinas Lima, Perú

Las Codornices 253
Surquillo
Tel +51 618 9400

Oficina Quito, Ecuador

Germán Alemán E12-123 y
Carlos Arroyo del Río
Tel +593 2 224 8491

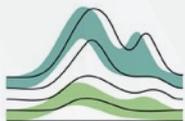
© Luis E. Gámez



Miembros del proyecto Ultimo Glaciar, saliendo de Pico Espejo hacia el Humboldt. 2019.



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES



ADAPTACIÓN EN
LAS ALTURAS



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