

Destruição da segurança hídrica e mineração no sul do Peru: um ataque às gerações futuras?

Dani Eduardo Vargas Huanca

[0000-0001-9478-750](tel:0000-0001-9478-750)

dvargash@unmsm.edu.pe

Elizabeth Avendaño Condori

eavendanoc@est.unap.edu.pe

Elvis Maximo Alvarez Torres

[0000-0002-8691-4633](tel:0000-0002-8691-4633)

elvisalvarez@hotmail.com

César Gustavo Aquino Santos

[0000 0003 4119 2531](tel:0000-0003-4119-2531)

aquinosan1490@gmail.com

Resumo

As secas nos Andes têm aumentado em frequência nos últimos anos, causando a perda de rios, lagos e lagoas devido às altas temperaturas diurnas, especialmente nas estações não chuvosas. O Lago Titicaca, considerado o lago navegável mais alto do mundo, recuou centenas de metros, atingindo níveis alarmantes e perdendo mais de 75 cm de seu nível. Essa redução das geleiras andinas afeta a segurança hídrica da população na costa do Pacífico, nos Andes e na Amazônia.

Em contrapartida, a população nacional, afetada por um sistema educacional sem perspectiva de futuro, evita a discussão e a preocupação com recursos estratégicos vitais, como as reservas de água doce nas geleiras, a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos solos agrícolas. O monitoramento e a análise geoespacial dos dois sistemas de geleiras mais importantes do sul do Peru, usando imagens de satélite e o cadastro de atividades extrativistas, revelam uma destruição sistemática da segurança hídrica na região.

Apesar da crescente preocupação expressa nos últimos anos pela população, pela mídia e pelas instituições governamentais sobre as secas persistentes nos Andes, há uma falta de conscientização sobre as atividades humanas permitidas pelo Estado e pelo setor privado em relação às geleiras. Como resultado, conclui-se que as políticas e regulamentações nacionais relacionadas ao gerenciamento e ao uso de recursos essenciais, como as reservas de água doce (geleiras), precisam passar por mudanças urgentes. Nessa conjuntura, a responsabilidade de preservar essas

reservas de água doce nas geleiras incita as gerações mais jovens a não permitir que seus interesses sejam prejudicados. Em última análise, são necessárias estratégias de produção de conhecimento com forte ênfase na avaliação local e na integração da ciência, da política e da comunidade para desenvolver abordagens robustas de defesa, conservação, adaptação, adaptadas localmente e transformadoras.

Palavras-chave: Segurança hídrica, geleiras, atividades extrativistas, estresse hídrico, mudanças climáticas.

Introdução

O Peru é limitado pela falta de conhecimento gerado pelo cultivo do pensamento crítico. Problemas fundamentais, como o estresse hídrico, se intensificarão se não for incentivada uma discussão reflexiva e realista que busque identificar suas causas. Nos últimos anos, as secas têm sido um dos fenômenos naturais mais recorrentes nos Andes, superando até mesmo os baixos níveis de água dos rios, lagos e lagoas. Como resultado das altas temperaturas diurnas, nascentes, rios e lagoas secaram, e o lago navegável mais alto do mundo, o Titicaca, recuou centenas de metros, atingindo níveis alarmantes e perdendo mais de 75 cm de seu nível.

É essencial observar que os corpos d'água na Cordilheira dos Andes são alimentados por rios alimentados por massas de gelo e nascentes, que são alimentadas por águas subterrâneas dessas formações glaciais. Consequentemente, as alterações na dinâmica desses corpos de gelo andinos afetam a segurança hídrica na costa do Pacífico, na Cordilheira e na Amazônia, comprometendo a resiliência dos ecossistemas relacionados à água e seus serviços. Da mesma forma, as extensões de gelo na cordilheira dos Andes representam uma fonte essencial de abastecimento de água para as comunidades que dependem do fluxo de água a jusante. Essas águas contribuem para os fluxos da estação seca e sustentam diversos ecossistemas. Em outras palavras, a segurança hídrica da costa do Pacífico e da Amazônia está intrinsecamente ligada à sustentabilidade do fluxo de água na Cordilheira dos Andes, onde as geleiras servem como depósito ou reserva para períodos de estresse hídrico. A diminuição dessas massas de gelo e da cobertura de neve leva a uma redução constante do escoamento sazonal, com implicações significativas para a segurança hídrica a jusante. Isso se traduz em uma série de riscos, tanto hidro-sociológicos quanto políticos, incluindo disponibilidade de água reduzida e não confiável, mudanças na qualidade da água e alterações em outros ecossistemas.

Os impactos da diminuição da massa das geleiras e das mudanças na cobertura de neve resultam na perda de sistemas de subsistência humana e de formas de produção agrícola nas altas montanhas. Não há um monitoramento bem desenvolvido dos sistemas naturais e humanos relevantes;¹ a maioria dos países

apresenta uma rede de monitoramento "pouco desenvolvida" ou nenhuma rede. Apenas seis nações da América do Norte e da Europa mantêm uma estratégia de monitoramento de geleiras "bem desenvolvida". Nessas regiões, os parâmetros meteorológicos também são, em geral, mais bem monitorados. Novas técnicas de sensoriamento remoto têm o potencial de fornecer um monitoramento mais abrangente das geleiras e da cobertura de neve; aplicações recentes incluem recuperações semanais da profundidade da neve para o Hemisfério Norte e variações da espessura do gelo das geleiras resolvidas globalmente² (Drenkhan, 2023).

A escassez de dados observacionais tem implicações diretas para projeções futuras, para restringir os parâmetros do modelo por meio de validação cruzada e melhorar a compreensão do processo. Por exemplo, as flutuações de massa das geleiras ainda não estão adequadamente representadas nos modelos computacionais (por exemplo, por meio da parametrização adequada do balanço de energia e das equações de fluxo de gelo), o que leva a uma incerteza substancial nas projeções futuras.³

As lacunas de conhecimento vão além da criosfera. A disponibilidade a jusante é determinada pela hidrologia mais ampla da bacia, a partir da totalidade das reservas criosféricas e não criosféricas de águas superficiais e subterrâneas.⁴ Por exemplo, os dados de precipitação não criosférica em áreas montanhosas são essenciais para avaliar a disponibilidade de água e continuam sendo um grande desafio em termos de disponibilidade, continuidade e qualidade.⁵ A topografia complexa das montanhas resulta em fortes gradientes atmosféricos locais, como os efeitos orográficos, e torna os modelos climáticos de resolução grosseira imprecisos para prever mudanças futuras. Além dos problemas de escala, as incertezas sobre os padrões de circulação atmosférica em larga escala permanecem predominantes: a monção do sul da Ásia⁶ ou os padrões de vento zonal que controlam o transporte de umidade da Amazônia para os Andes⁷ exercem um controle importante sobre os regimes de precipitação em escala regional. Como resultado, até mesmo o sinal da futura mudança na precipitação muitas vezes não é claro e é debatido. No entanto, o mais recente Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) confirma a tendência geral de intensificação dos extremos climáticos, com as regiões mais úmidas (mais secas) tornando-se mais úmidas (mais secas), com eventos de precipitação intensa mais pronunciados em algumas regiões montanhosas.⁸ As incertezas sobre a frequência e a magnitude das futuras secas e suas implicações para a gestão da água continuam altas. Existem lacunas de dados semelhantes para outros processos hidrológicos, como a umidade do solo, a dinâmica da vegetação e as águas subterrâneas.

A dinâmica e o fluxo entre as atividades extrativistas, os fatores socioeconômicos locais, a demanda de água e a capacidade de adaptação no Peru não são

estudados de forma sistêmica. A precariedade do sistema educacional tem repercussões no crescimento da economia informal, ilegal e até mesmo criminosa. A população vê uma oportunidade na mineração informal e formal nas geleiras, o que coloca em risco a sustentabilidade das reservas de água doce. Além disso, o aumento e a expansão da agricultura intensiva aumentarão a pressão futura sobre a alocação e o acesso aos recursos hídricos.

A fraca governança da água é evidente, pois os conflitos sobre a crise hídrica aumentaram muito nos últimos anos, levando ao aumento do estresse hídrico. A discussão ou o resgate de sistemas de gerenciamento ancestrais sustentáveis não é promovido nem incentivado. Garantir a segurança hídrica nas montanhas requer uma compreensão holística das ligações complexas entre as mudanças criosféricas, as mudanças climáticas e os sistemas humanos e naturais acoplados a jusante.⁹

A responsabilidade local e regional pela conservação das fontes de água para as gerações futuras é bastante precária. As entidades públicas não estão interessadas na participação local e nos estudos de pesquisa transdisciplinar que permitiriam o desenvolvimento de estratégias de adaptação locais e regionais eficazes. As estratégias baseadas em medidas incrementais não acompanham a gravidade crescente dos impactos das mudanças climáticas e os limites potenciais dos processos de adaptação atuais.

Não há universidades, cientistas e formuladores de políticas que busquem com determinação a sustentabilidade de longo prazo da vida no Altiplano e nos Andes. Para evitar a perda de nascentes, rios e lagoas, incluindo o lago navegável mais alto do mundo, o Titicaca, a população nacional, ofuscada por um sistema educacional medieval sem visão de futuro, não torna visíveis os problemas que poderiam colocar em risco a sobrevivência de toda a população. Muito menos evita atividades econômicas que ameaçam a segurança hídrica de todo o país, especialmente os interesses das gerações futuras.

Seleção de geleiras tropicais no sul do Peru: Ananea e Barroso

Foram selecionados dois sistemas de geleiras tropicais no sul do Peru: Ananea e Barroso. A Ananea, coberta de neve e com uma altitude de 5.500 m.a.s.l., faz parte da cordilheira Apolobamba, que abrange o território peruano e boliviano. Localiza-se no departamento de Puno, entre as coordenadas 14° 25' - 14° 44' de latitude sul e 69° 13' - 69° 32' de longitude oeste, com uma extensão linear de aproximadamente 40 km da fronteira com a Bolívia até as proximidades da cordilheira Carabaya. Por outro lado, a montanha nevada Barroso, com uma altitude de 5.815 m.a.s.l., está localizada 49 quilômetros a nordeste da cidade de Tacna. Sua localização abrange 16° 41' e 17° 37' de latitude sul e 69° 45' e 70° 40' de longitude oeste, atravessando

os departamentos de Tacna (províncias de Tacna, Tarata e Candarave) e Moquegua (província de Mariscal Nieto).

Para a investigação dessas geleiras, foram usados registros do banco de dados do Ministério do Meio Ambiente (MINAM) e foram identificadas imagens de satélite com informações espaciais do banco de dados do United States Geological Survey-National Aeronautics and Space Administration (USGS-NASA). As imagens de satélite em formato TIFF foram baixadas do LandSat 8 OLI e do Sentinel 2A das áreas de geleiras em análise, levando em conta a viabilidade espectral. Além disso, para avaliar a existência de riscos induzidos pelo homem, foi realizado o processamento geoespacial das informações da área da geleira em formato raster e foram sobrepostos os direitos de mineração concedidos pelo Instituto Geológico, Mineiro e Metalúrgico (INGEMET) em formato vetorial.

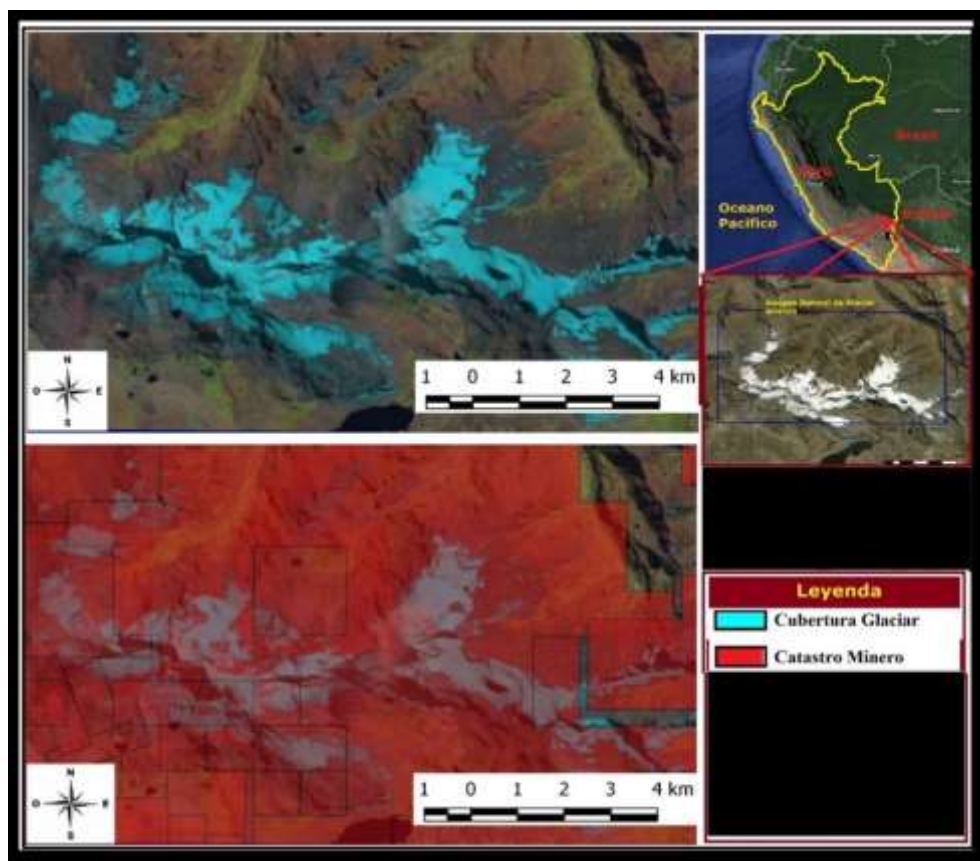
O arquivo em formato vetorial das áreas para exploração e aproveitamento por entidades privadas foi obtido do cadastro de mineração do INGEMET. A sobreposição das atividades de mineração na superfície da geleira foi realizada pela fusão de camadas rasterizadas das imagens de satélite LandSat 8 OLI e Sentinel 2A (formato TIFF, Tagged Image File Format) e da camada vetorial (formato shape) do cadastro de mineração GEOCATMIN do INGEMET. A validade e a confiabilidade dos conjuntos de dados raster e vetoriais foram verificadas por meio de varredura de campo. Para o geoprocessamento das imagens obtidas e sua análise, foi utilizado o QuantumGIS e seus complementos.

Impacto da mineração nas geleiras peruanas

Os resultados mostram que, nos últimos anos, as atividades de exploração e extração de minérios tiveram um impacto térmico significativo nas duas geleiras estudadas. Essas atividades vão desde a extração em grande escala de recursos minerais até a mineração formal e ilegal. A mineração em grande escala e a mineração formal e informal usam energia de combustão de várias formas para a extração mineral, resultando em um aumento na concentração de calor. De acordo com a lei da termodinâmica, isso aumenta a temperatura na zona glacial, acelerando assim o processo de deglaciação.

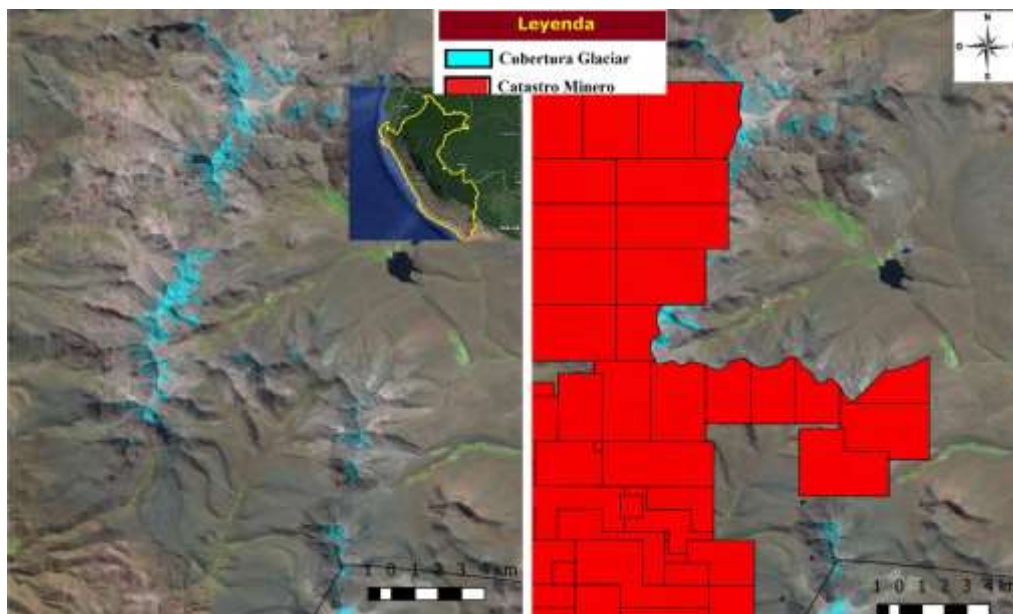
Esse aumento no nível de deglaciação não se deve apenas à radiação de calor gerada pelos diversos processos industriais e tecnológicos extrativos durante as etapas de exploração e aproveitamento, mas também à presença de atividades antropogênicas direta e indiretamente relacionadas à extração mineral. Essas ações têm um impacto drástico sobre a sustentabilidade da massa da geleira. A seguir, uma descrição e apresentação da extensão da atividade extrativa na cobertura da geleira em cada uma das geleiras estudadas.

Figura 1: Nevado Ananea e Unión de Capas com cadastro de mineração nas geleiras



O primeiro mapa exibe a superfície da geleira de Ananea no formato Geo TIFF obtido do LandSat 8 OLI, enquanto o segundo mapa mostra a sobreposição dos direitos de mineração concedidos pelo MINAM a entidades privadas na geleira de Ananea. O último destaca a interseção das informações do cadastro de mineração com a extensão geográfica da geleira Ananea, fornecendo uma visão clara da distribuição das concessões de mineração em relação à topografia da geleira.

Figura 2: União da camada da geleira Nevado Barroso com o cadastro de mineração em geleiras



Duas representações cartográficas são exibidas: a primeira ilustra a superfície da geleira Barroso em formato Geo TIFF, obtida do Sentinel 2A MSI, enquanto a segunda reflete a sobreposição dos direitos de mineração concedidos pelo MINAM a entidades privadas na geleira Barroso. No último mapa, a integração das camadas de informações do cadastro de mineração sobre a superfície da geleira pode ser vista, destacando a expansão das concessões de mineração em relação à topografia da geleira Barroso.

Depois de mesclar as camadas raster da superfície da geleira em formato TIFF e a camada vetorial do mapeamento do cadastro de mineração em formato shape, é realizada uma análise espacial do sistema da geleira, conforme mostrado na Figura 2. Com uma área total de 42,6 km², destaca-se que 75% da superfície da geleira está ameaçada pelo fluxo térmico da mineração, o que poderia ter consequências catastróficas nas próximas décadas para Tacna, uma das regiões com alto risco de estresse hídrico.

Prioridades de segurança hídrica

1. A segurança hídrica surge como uma necessidade vital para a sobrevivência. No entanto, os resultados indicam que, para grande parte da população peruana que vive nos Andes e para os impulsionadores das atividades econômicas extrativistas, esse aspecto não é uma prioridade.

2. Os números apresentados nos resultados mostram que o MINAM, em vez de proteger os interesses da população, permite a destruição das geleiras. O cadastro

nacional de mineração registra direitos de mineração concedidos a entidades privadas que cobrem 100% da superfície da geleira de Ananea e 75% da geleira de Barroso.

3. Apesar da crescente preocupação com as secas nos Andes, a população não se deu conta de que, durante décadas, atividades antropogênicas promovidas tanto pelo Estado quanto pelo setor privado foram permitidas nas geleiras, o que terá consequências catastróficas para as gerações futuras.

4. É imperativo mudar urgentemente as muitas políticas e regulamentações nacionais relacionadas ao gerenciamento e ao uso de recursos estratégicos vitais, como água doce (geleiras), biodiversidade e solos agrícolas. A participação ativa das gerações mais jovens é essencial, pois elas serão as mais afetadas pelos problemas atuais.

5. A responsabilidade pela conservação das reservas de água doce nas geleiras é da geração mais jovem. É necessária uma estratégia abrangente de produção de conhecimento que envolva a apreciação local e integre ciência, política e comunidade para desenvolver estratégias de adaptação robustas, adaptadas localmente e transformadoras.

6. As estratégias de defesa e adaptação devem se basear em sistemas de conservação de ecossistemas locais, usando o conhecimento ancestral. A defesa dos recursos vitais é um direito da sociedade e a adaptação deve ir além das diretrizes externas, abordando as causas fundamentais das vulnerabilidades.

7. É necessária a formação de uma nova massa crítica e de uma elite política que se afaste dos tradicionalismos coloniais. O conhecimento local indígena pode se tornar uma solução eficaz, como visto na teorização de "soluções baseadas na natureza" (NBS) em países econômica e politicamente poderosos.

8. O surgimento de uma geração jovem comprometida com o seu futuro poderia impulsionar a capacitação para o gerenciamento eficaz das águas de cabeceira, implementando sistemas sustentáveis, restauração de florestas, conservação de áreas úmidas e abordagens inovadoras para manter a qualidade da água.

Conclusões

Reconhecendo que as regras são criadas por seres humanos e, portanto, podem ser alteradas pela decisão das partes interessadas, é imperativo defender uma mudança urgente nas políticas e regras nacionais relacionadas ao gerenciamento de recursos estratégicos vitais, como as reservas de água doce representadas pelas geleiras. A responsabilidade pela conservação dessas reservas recai diretamente sobre os ombros das novas gerações de crianças e jovens. Portanto, eles são

instados a se organizar e participar ativamente da governança da água, assumindo um papel proativo para evitar ataques aos seus interesses. Nesse contexto, é essencial reconhecer que qualquer indivíduo que considere ter algum grau de humanidade em sua existência deve permitir o fluxo de estratégias de produção de conhecimento. Essas estratégias devem enfatizar fortemente a avaliação local e integrar efetivamente a ciência, a política e a comunidade para desenvolver estratégias robustas de defesa, conservação, adaptação e transformação, adaptadas às necessidades locais.

Sobre os autores

Dani Eduardo Vargas Huanca

Pesquisador do Tecnológico de Antioquia, Medellín, Colômbia, e da Red Iberoamericana de Investigación Estratégica, Espanha. Graduado pela Escuela Técnica del Ejército, enviado em missões de estudo e serviço aos Estados Unidos e à Europa. Três vezes vencedor do Concurso de Prêmios Premio Ejército del Perú em 2010, 2012 e 2014. Primeiro lugar no Concurso Nacional de História Militar em 2011, vencedor do Concurso Nacional de Projetos de Mentas Brilhantes do Congresso da República do Peru em 2011 e do Concurso de Projetos de Tese de 2010 na Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Primeiro lugar no Concurso de Pesquisa no II Encontro de Estudantes de Doutorado 2015 na Espanha. Com experiência como consultor e especialista internacional para a IUCN, UNESCO, FILAC, BID, CLACSO, FAO e IIRCI. Doutor em Ciências e Tecnologias Ambientais pela Universidade Autônoma de Barcelona, Espanha. Graduado em Ciências Políticas com a mais alta qualificação pela Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Elvis Maximo Alvarez Torres

Pós-doutor, doutor, mestre, licenciado e bacharel em Ciências da Educação pela Universidade Nacional de Educação Enrique Guzmán y Valle "La Cantuta"; diretor executivo da Revista Científica Internacional I+D+I Entornos Naturales, trabalhou como diretor do Centro Técnico Produtivo Público Micaela Bastidas; professor da Escuela de Oficiales de la Policía Nacional del Perú, da Universidade Nacional de Educação e professor de pós-graduação da Universidad Cesar Vallejo.

Cesar Gustavo Aquino Santos

Pesquisador do Centro Estratégico Transdisciplinario JHM, Peru Professor afiliado da Universidad Nacional Federico Villarreal, Faculdade de Administração, Dr. Gestão Pública e Governança.

Elizabeth Avendaño Condori

Pesquisadora vinculada ao Centro Estratégico Transdisciplinario JHM e Bacharel em Engenharia Econômica pela Universidad Nacional del Altiplano em Puno, Peru. Ela estudou na Universidade Nacional do Altiplano.

Notas de fim:

¹ Gärtner-Roer, Nussbaumer, Hüsler & Zemp, "Worldwide assessment of national glacier monitoring and future perspectives", *Mountain Research and Development* 39 (2019), A1–A11.

² Fabian Drenkhan, et al, "Looking beyond glaciers to understand mountain water security", *Nature Sustainability* 6, n.º 2 (2023), 130-138.

³ Marzeion, et al, "Partitioning the Uncertainty of Ensemble Projections of Global Glacier Mass Change", *Earth's Future* 8 (2020), 1–25.

⁴ Mackay, et al, "Proglacial groundwater storage dynamics under climate change and glacier retreat", *Hydrol Process* 34, (2020), 5456–5473; Somers, et al, "Groundwater Buffers Decreasing Glacier Melt in an Andean Watershed—But Not Forever", *Geophys. Res. Lett.* 46, (2019) 13016–13026.

⁵ Shahgedanova, et al, "Mountain Observatories: Status and Prospects for Enhancing and Connecting a Global Community", *Mt. Res. Dev.* 41 (2021).

⁶ Drenkhan, et al, "Looking beyond glaciers to understand mountain water security", *Nature Sustainability* 6(2) (2023), 130-138; Doblaz-Reyes, et al, "Linking Global to Regional Climate Change", In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Masson-Delmotte, et al.). *Cambridge University Press*, (2021).

⁷ Neukom, et al, "Facing unprecedented drying of the Central Andes? Precipitation variability over the period AD 1000–2100", *Environmental Research Letters* (2015), 10, 1–13.

⁸ Douville, et al, "Water Cycle Changes", in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Masson-Delmotte, V. et al.) *Cambridge University Press*, (2021).

⁹ Fabian Drenkhan, et al, "Looking beyond glaciers to understand mountain water security", *Nature Sustainability* 6, n.º 2 (2023), 130-138.