

LIBRO DE RESÚMENES

LAS MONTAÑAS NUESTRO FUTURO



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

10 AÑOS **INAIGEM**
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



BICENTENARIO
PERÚ
2024



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una Nueva Universidad para el desarrollo"



Canada



PRESENTACIÓN

Según datos de la ONU, los ecosistemas de montaña (incluyendo los glaciares) albergan el 15% de la población y más del 50% del agua dulce que se suministra a nivel mundial. En Perú, más de 19 millones de personas (más del 60% de la población peruana) dependen del agua captada en las zonas de montaña. Por ello, la gestión integral y sostenible del agua, empieza en las zonas altoandinas, especialmente en el contexto de calentamiento global que estamos viviendo. El cambio climático está cambiando el paisaje andino; datos recientes del INAI GEM (2023) muestran que se ha perdido 58% de la extensión de glaciares, en los últimos 62 años. El retroceso glaciar, además de poner en riesgo la cantidad y calidad de agua disponible, está incrementando el peligro de aluviones y avalanchas de origen glaciar, muchas de ellas vinculadas a lagunas cuyo volumen se incrementa drásticamente alimentadas por el derretimiento glaciar.

Frente a este contexto, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAI GEM, cumpliendo su finalidad de fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en el ámbito de glaciares y ecosistemas de montaña, y en colaboración con diversas instituciones, organiza anualmente el Simposio "Las Montañas, Nuestro Futuro", con el objetivo de difundir los avances de las investigaciones en glaciares y ecosistemas de montaña. Este año, el Simposio coincide con la celebración del décimo aniversario de creación del INAI GEM, y se ha considerado incorporar actividades que permitan promover la gestión sostenible en beneficio de las poblaciones que viven en, o se benefician de, los ecosistemas de montaña y los glaciares.

En la edición 2024 del Simposio "Las Montañas, Nuestro Futuro", buscamos generar un espacio para el intercambio de experiencias y aprendizajes científicos, priorizando dos temas centrales: los peligros de origen glaciar, y el impacto del cambio climático en la seguridad hídrica. Además, hemos incorporado un espacio de diálogo con diversos tipos de tomadores de decisiones e implementadores, para acercar experiencias y herramientas técnicas, así como escuchar sus necesidades de información, buscando promover acciones e intervenciones que permitan fortalecer la respuesta nacional ante los escenarios de riesgos y de déficit hídrico que generará el cambio climático.

El Simposio se lleva a cabo con el valioso apoyo de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), el proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, el proyecto Adaptación a las Alturas y el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo.

OBJETIVO GENERAL

Identificar hallazgos, estrategias y herramientas que, desde la ciencia, permitirán promover acciones para el fortalecimiento de la seguridad hídrica y de la gestión de riesgos de origen glaciar en las zonas altoandinas; incluyendo en este diálogo a los tomadores de decisión y usuarios de la información.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Compartir y discutir los resultados de nuevas investigaciones sobre peligros de origen glaciar, el impacto del cambio climático en la seguridad hídrica, y acciones de respuesta ante esta problemática.

Identificar vacíos de conocimiento, y temáticas de investigación relevantes, que deberían ser abordados, para facilitar y promover intervenciones que fortalezcan la seguridad hídrica y la gestión de riesgos de origen glaciar.

Vincular la ciencia y la política mediante la discusión de hallazgos e instrumentos que contribuyan a fortalecer la seguridad hídrica y la gestión del riesgo de origen glaciar, en un contexto de cambio climático.

Promover discusiones y visitas en campo, para complementar el diálogo entre ciencia y política, para la identificación de estrategias que fortalezcan el intercambio de información vinculada a los temas priorizados en el evento.

LINEAS TEMÁTICAS

TEMA 1

Impactos del cambio climático en la seguridad hídrica

- Retroceso glaciar y seguridad hídrica
- Ecosistemas de montaña y su rol en la seguridad hídrica
- Estudios hidrológicos o hidroglaciológicos en cuencas de montaña
- Monitoreo de intervenciones para la seguridad hídrica

TEMA 2

Peligros y riesgos de origen glaciar

- Peligros de geodinámica externa de origen glaciar
- Reducción del riesgo de origen glaciar.
- Generación de drenaje ácido de roca y sus impactos
- Alternativas de remediación ante el drenaje ácido de roca

A continuación presentamos el resumen de los trabajos que han sido seleccionados para presentarse como exposiciones orales y como pósters en la presente edición del Simposio "Las Montañas Nuestro Futuro".

EXPOSITORES INVITADOS

CHARLAS MAGISTRALES

Dra. Stella Moreiras, IANIGLA, Argentina

Charla Magistral: "Peligros naturales asociados al cambio climático en los Andes Subtropicales"

MSc Marco Albarracin, Fundación Ecohidrológica, Ecuador

Charla Magistral: "Los saberes ancestrales y el enfoque ecohidrológico de UNESCO para la gestión de los recursos naturales"

PONENCIAS

Luc Bourrel (IRD, Francia) y Pedro Rau (UTEC, Perú)

Charla: "Escenarios y Perspectivas sobre la disponibilidad hídrica en el país"

Saúl Lázaro, Ministerio de Educación

Charla: "Cartera de Proyectos en GRD, su alcance y oportunidades frente al los riesgos de Origen Glaciar"

Alejandra Melfo, Condesan

Charla: "Soluciones de Adaptación al Cambio Climático en los Andes: una visión regional"

Alonzo Zapata, especialista en recursos hídricos

Charla: "Oportunidades de articulación de los actores públicos y privados para la seguridad hídrica"

Juan Manuel Aguilar Hidalgo, Gobierno Regional de Piura

Charla: "Estrategias locales para la seguridad hídrica en zonas de montaña"

Juan Carlos Montero, especialista en gestión del riesgo de desastre

Charla: "Estrategias para el fortalecimiento de la gestión del riesgo de origen glaciar"

Alonso Brenes, Banco Interamericano de Desarrollo

Charla: "Recomendaciones para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgos de origen glaciar"

PRESENTACIONES ORALES

PELIGROS Y RIESGOS DE
ORIGEN GLACIAR POR
GEODINÁMICA EXTERNA



Modelación de GLOF en la cuenca del río Arkhata de la Cordillera Real

Jesús Ronny Espinoza Peñaloza

Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) - Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)

La laguna Arkhata, ubicada en la Cordillera Real de Bolivia, presenta un riesgo significativo de inundaciones por desborde de lagunas glaciares (GLOF) debido al acelerado retroceso de los glaciares circundantes, impulsado por el cambio climático. Este estudio tiene como objetivo modelar un posible evento de GLOF en la laguna Arkhata mediante simulaciones numéricas para evaluar la dinámica de la inundación, incluyendo la velocidad del flujo, la extensión de la inundación y los impactos aguas abajo. Se utilizó el modelo r.avaflow para simular diferentes escenarios de GLOF, basados en variaciones en el volumen de la laguna y las características del desborde. Los resultados indican que un evento de GLOF podría afectar a las comunidades e infraestructuras cercanas, representando una seria amenaza para la población local. El mecanismo de falla probable de la laguna sería el rebalse de la pared de roca que la represa debido a avalanchas. Los daños serían catastróficos, sin embargo, se pudo evidenciar que el sistema de lagunas periglaciares y bofedales aguas debajo de la laguna Arkhata ayudarían a laminar el GLOF reduciendo drásticamente el daño de un evento de estas características. A pesar de todo esto, los hallazgos subrayan la necesidad de implementar sistemas de alerta temprana y estrategias de mitigación de riesgos para reducir los posibles daños de tales eventos como la conservación de bofedales y monitoreo de las lagunas. Este modelo contribuye a la comprensión de la dinámica de GLOFs en la región y puede informar futuros esfuerzos de gestión de riesgos en la Cordillera Real.

Procedimiento metodológico y evaluación de la inundación por desborde violento de laguna glaciar (GLOF) de la laguna Uspacocha en el Santuario Nacional del Ampay

Percy Matiu Pinto Flores

Universidad Nacional de Ingeniería

Este estudio se enfoca en describir y desarrollar una metodología de un proceso de análisis para un evento en cadena relacionado a un fenómeno de Inundación por desborde violento de laguna glaciar (GLOF por sus siglas en inglés, Glacial lake outburst flood) para la laguna Uspacocha en la ciudad de Abancay como caso de estudio, en este estudio se enfocará en el planteamiento y análisis de cada procedimiento involucrado en el área del caso de estudio considerando eventos y ocurridos en nuestro territorio peruano y estudios realizados en la Cordillera de los Andes (Somos-Valenzuela, 2019). Para evaluar de mejor manera el fenómeno GLOF, se plantea el procedimiento basado en la implementación de modelamientos numéricos bidimensionales y tridimensionales que puedan representar cada uno de los eventos en cadena que estén involucrados en estos fenómenos. El análisis basado en modelamientos numéricos describirán los procesos en cadena tales como: (1) Generación de la avalancha (modelos geotécnicos de estabilidad en el área de la laguna), (2) Hidrodinámica generada por el impacto de la avalancha sobre el cuerpo de agua (modelos tridimensionales de laguna y el impacto), (3) Análisis de sobrepaso de la laguna y (4) Posterior posible falla del dique de contención de dicho cuerpo de agua, que termine en la liberación violenta del volumen almacenado (modelos bidimensionales de inundación). Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos en los modelamientos para evaluar la posible afectación producida por el alud aguas abajo de la quebrada basados en los escenarios evaluados.

Evaluación por teledetección de la expansión de la laguna Palcacocha y retroceso glaciar en la cordillera Blanca – Perú

Rosa Maria Otiniano Zavala, Angie Lucero Mulatillo Gomez,
Nicol Dayana Blas Mercado, **Ulises Francisco Giraldo Malca**¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

La creciente formación de lagunas glaciares y su expansión en los últimos años incrementa el riesgo de aluviones por el desborde violento de lagos glaciares en las altas montañas tropicales, como el que destruyó parte de la ciudad de Huaraz en 1941 en la cordillera Blanca de los Andes centrales de Perú. Ante el peligro en que se encuentran más de 130 mil personas que habitan el cono deyección del río Quilcay, se analizó la variación interanual del área superficial de la laguna Palcacocha, la superficie glaciar de su microcuenca y la variación del clima en los alrededores, entre los años 1984 y 2022, con el fin de determinar las relaciones que habría entre estas variables, como un indicador del riesgo de un aluvión por el desborde de la laguna. Para ello, se calculó la superficie de la laguna y el área glaciar con imágenes multiespectrales Landsat y se comparó con el resultado del procesamiento de datos meteorológica de las estaciones de Recuay, Milpo y Anta, utilizando para su validación, datos obtenidos de la aplicación Google Earth Engine y datos reportados en fuentes bibliográficas. Se encontró un periodo de fuerte expansión de la laguna hasta 2012 y una tendencia de pérdida de superficie glaciar; además, de una fuerte relación entre la expansión de la laguna Palcacocha y el incremento anual de la temperatura media mundial. Asimismo, un evento ENOS de fuerte intensidad genera el crecimiento de la laguna Palcacocha por el incremento de lluvias y un mayor retroceso glaciar.

Cartografiado geomorfológico de la laguna Huallcacocha y su aplicación al peligro por GLOF

Angel Carlos Salas Colca¹, Enver Melgarejo Romero

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

El desborde súbito de lagunas de origen glaciar (GLOF) es uno de los fenómenos asociados a glaciares que amenazan a diversas poblaciones alrededor del mundo, encontrándose el Perú entre uno de los más vulnerables y peligrosos, estos fenómenos tienen una gran variedad de desencadenantes, entre ellos se encuentran la geodinámica del entorno de la laguna, la cual es inherente a la geomorfología del entorno de la laguna, por esta razón en este trabajo se plantea una nomenclatura que unifique las geoformas glaciares, y geodinámicas, además de proponer su uso en el cartografiado del entorno de las lagunas de origen glaciar.

Integrando el cartografiado de campo y el estudio fotogramétrico con un vehículo aéreo no tripulado se ha logrado construir un mapa geomorfológico que enfatice los movimientos en masa y las geoformas glaciares en el entorno de la laguna Huallcacocha, el resultado del mapeo resalta la escarpa de un antiguo deslizamiento parcialmente activo, y pequeños conos aluviales.

En conclusión, la morrena lateral derecha de la laguna presenta mayor actividad geodinámica, además de que aporta más sedimentos a la laguna. Por otra parte, la morrena lateral izquierda, posee una pendiente más estable; sin embargo, en la cresta se observan bloques de hasta 5 metros propensos a la caída hacia la laguna a caída. Empero en un escenario futuro, con una superficie glaciar más reducida, se espera que la vegetación estabilice las morrenas laterales.

Análisis geomorfológico y de movimientos en masa en zonas inestables en la cara noroeste del nevado Ausangate mediante drones y técnicas GNSS

Ricardo Eddson Vila Garrafa¹, Oscar Vilca, Yaqueline Shirley Abrella Chise

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Este estudio tiene como objetivo identificar y analizar zonas inestables en la cara noroeste del nevado Ausangate, en la cuenca de la laguna Upischocha, distrito de Ocongate, Cusco. La identificación de estas áreas es clave para anticipar peligros de origen glaciar, como avalanchas, deslizamientos y caídas de roca, eventos que podrían verse exacerbados por el retroceso glaciar.

Se utilizaron drones (RPA) y técnicas GNSS para generar ortofotos y modelos digitales de elevación (DEM) con una resolución de 1 metro, lo que permitió realizar una caracterización geomorfológica de las zonas inestables y monitorear desplazamientos a lo largo del tiempo. Las zonas inestables están compuestas por materiales sedimentarios y secuencias volcánicas, rocas fracturadas cuya interacción con el glaciar aumenta potencialmente la ocurrencia de movimientos en masa. Las imágenes aéreas capturadas en 2023 y 2024 se procesaron utilizando algoritmos de Structure from Motion (SfM) para generar productos que permitieron clasificar tres tipos de movimientos: avalanchas, caídas de roca y deslizamientos. Los modelos de diferencias (MdD) y los perfiles topográficos elaborados facilitaron un análisis detallado de estos fenómenos.

Este estudio aporta un enfoque fundamental para la gestión de riesgos en áreas vulnerables a eventos de origen glaciar, contribuyendo al conocimiento para la protección de comunidades y ecosistemas cercanos a la laguna Upischocha, y puede replicarse en otras zonas de alta montaña afectadas por el cambio climático.

PRESENTACIONES ORALES

MÉTODOS DE EVALUACIÓN
DE GLACIARES



Comparación de modelos de aprendizaje automático para la estimación del balance de masa del glaciar Artesonraju

Maryann Alessandra Alata Chambilla¹, Kevin Campos Sánchez, Andres Fernando Figueroa Curo

¹Universidad Nacional Agraria La Molina

Simular el comportamiento de glaciares como el Artesonraju (Cordillera Blanca) es crucial para mitigar los impactos del cambio climático. El aprendizaje automático ofrece una alternativa prometedora frente a las limitaciones de los modelos físicos, sin embargo, su eficacia en glaciares tropicales aún es poco explorada en el Perú. En este trabajo se comparan modelos de aprendizaje supervisado para estimar el balance de masa del glaciar Artesonraju. Se utilizaron tres modelos de aprendizaje supervisado de regresión (Support Vector Machine, Decision Tree Regression y K-Neighbors Regression), entrenados con datos de balance de masa glaciar (2004-2019) y predictores climáticos mensuales y estacionales del producto PISCO. Se implementaron procedimientos automáticos para la selección de predictores óptimos, el ajuste de hiper-parámetros y la validación cruzada, con el fin de maximizar el rendimiento y reducir la subjetividad de los resultados. Los resultados indican que el modelo K-Neighbors Regression exhibe un mejor desempeño, con métricas muy cercanas a sus valores ideales en la etapa de entrenamiento (MAE = 0, $r = 1.0$). Sin embargo, la etapa de validación indica un posible sobreajuste (MAE = 352.2 mm, $r = 0.5$) atribuible a la relativa escasez de datos. Además, la mayoría de modelos indican que la precipitación acumulada (temperatura) durante el período seco (húmedo) son los predictores más importantes, subrayando la relevancia de las fluctuaciones estacionales de las condiciones térmicas y pluviales. En resumen, los modelos implementados demuestran un potencial significativo en la estimación y comprensión del balance de masa glaciar en condiciones de registros cortos.

Pérdida de agua por sublimación y formación de penitentes en el nevado Coropuna, periodo 2016-2018

Rolando Cesai Cruz Encarnación, Betty Chatata Ayamamani, César José Salazar Checa, Marisol Mariory Julca Cadillo¹, Magaly Betsabe Valverde Fructuoso

¹Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo

En el monitoreo de glaciares, la pérdida de agua se evalúa comúnmente a través del análisis del balance de masa mediante técnicas directas y remotas. Sin embargo, la pérdida de agua por sublimación sigue siendo un componente subestimado, particularmente en glaciares ubicados en zonas áridas, como los de los Andes peruanos. Esta investigación se enfoca en cuantificar dicha pérdida en el nevado Coropuna, en la cordillera Ampato, a más de 5700 m s.n.m., utilizando datos obtenidos por una estación meteorológica automática. El estudio analiza el balance radiativo y los flujos de calor latente y sensible, los cuales se vinculan directamente con los procesos de sublimación. Los resultados revelan una fuerte correlación entre la sublimación y la radiación neta de onda corta, modulada por variaciones en el albedo de la nieve y el hielo. La pérdida mensual de agua por sublimación es considerablemente mayor durante la estación seca (mayo a octubre), con un rango de 28.4 a 41.1 cm y un promedio de 36 cm. Durante la estación húmeda (noviembre a abril), la pérdida disminuye a un rango de 12.9 a 22.8 cm y un promedio de 17.2 cm. En total, la sublimación representa aproximadamente el 40% de la pérdida total de agua hacia la atmósfera. Además, este estudio documenta la formación de penitentes, que se desarrollan como resultado directo de la sublimación diferencial sobre la superficie glaciar. Estas formaciones alcanzan alturas superiores a los 2 metros y exhiben estructuras de columnas, crestas y surcos orientados de Este a Oeste. Los penitentes no solo reflejan el impacto visual de la sublimación, sino que también representan un mecanismo adicional que incrementa la pérdida de masa glaciar, debido a la mayor exposición de las crestas a la radiación solar directa. En conclusión, este estudio evidencia que en los glaciares de zonas áridas, como el nevado Coropuna, la sublimación es un proceso dominante en la pérdida de agua, contribuyendo significativamente al balance hídrico negativo. Asimismo, se destaca la formación de paisajes esculpidos por penitentes, que subraya la interacción compleja entre el clima, la radiación solar y los cambios en la superficie glaciar.

Dinámica glaciar del Nevado Coropuna y su relación con la precipitación y la temperatura

Robert Ramos Alonzo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

El objetivo de la presente investigación ha sido determinar la dinámica de cobertura glaciar del Nevado Coropuna ubicado en la región Arequipa al sur del Perú, para ello se ha considerado el análisis de imágenes de satélite desde el año 1987 hasta el 2023 en donde se establece que este nevado ha perdido un área de 14.5 km². En una primera aproximación se ha establecido también la pérdida de volumen glaciar que en este periodo ha sido de 0.73 km³, con fines de presentar datos más precisos se ha realizado un trabajo de campo (año 2023) en un sector del nevado mediante la técnica mediciones de Radar de Penetración Terrestre (GPR) el cual indica un espesor varía en función de la pendiente del relieve. La pérdida de volumen glaciar explicaría de alguna manera la existencia y dinámica de los bofedales próximos analizados también en este periodo.

Del mismo modo se ha analizado la dinámica de la temperatura en el entorno del área de investigación, logrando establecer que desde hace varias décadas se presenta una tendencia significativa y positiva de esta variable, es decir la temperatura se viene incrementando, presentando un quiebre en la década del 90. Así mismo se relacionó esta variable con diferentes índices climáticos relacionadas al ENSO observándose correlaciones directas, es decir que cada vez que ocurre el fenómeno de El Niño, la temperatura se incrementa de manera significativa, mientras que la precipitación presenta un comportamiento contrario al de la temperatura, mostrando valores muy por debajo del promedio cuando ocurre el fenómeno El Niño.

Evaluación del modelado del espesor de hielo en glaciares de la Cordillera Blanca, Ancash, Perú

Juan de Dios Fernandez Vega¹, Yadira Curo, Luzmila Davila Roller, Gladis Celmi Henostroza, Alexzander Santiago Martel, Mayra Doris Mejía, Harold Granados

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Los glaciares son reservas esenciales de agua dulce. Estimar con precisión la profundidad del hielo es clave para conocer un volumen aproximado y su equivalente en agua. Existen métodos fiables para estimar su volumen con el uso del LIDAR o Georradar, su alta demanda de mano de obra y limitaciones económicas restringen su aplicación. Una alternativa son los métodos indirectos, fundamentados en la plasticidad del hielo, la topografía basal o el flujo glaciar.

Esta investigación compara los modelos GlabTop 1 de Linsbauer et al, 2012 y GlabTop 2 por Frey et al, 2014, en los glaciares Artesonraju y Kinzl, en la cordillera Blanca, Ancash. GlabTop 1 calcula el espesor en base a los flujos digitalizados, mientras que GlabTop 2 automatiza el cálculo usando la pendiente, distribuyendo aleatoriamente el espesor en todo el glaciar. Se emplearon modelos digitales de elevación (DEM) de 30, 12.5 y 4 metros de resolución. Se realizó la validación con datos de georradar del Glaciar Artesonraju, mientras que en Kinzl se estimó la incertidumbre.

Los principales resultados son los siguientes: GlabTop 1 subestima el volumen de hielo en un 21%, mientras que GlabTop 2 subestima en 3%, sin embargo, este último tiende a sobrestimar los bordes glaciares hasta en un 96%. En ambos modelos se observó una disminución de los errores al emplear el DEM de 4 m. La comprensión de estos modelos con respecto a la realidad permitirá mejorar a futuro la evaluación del recurso hídrico disponible para los peruanos.

Aplicaciones de técnicas geofísicas para el análisis de la estructura interna y comprensión del sistema hidrológico del Glaciar Cubierto Kinzl, Cordillera Blanca, Perú

Velnia Chacca Luna¹, Widmark Harrinson Jara Infantes, Manuel Antonio Cosi Fajardo, Milagros Lizbeth Aquino Morales, Juan C. Torres Lazaro

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

La Cordillera Blanca alberga 384 glaciares cubiertos, representando el 46,5% de los 825 glaciares cubiertos en las cordilleras glaciares del Perú, según el Inventario de Glaciares 2023 (INAIGEM, 2023). Estos glaciares cubiertos son cruciales en el contexto del cambio climático, ya que su deshielo es más lento en comparación con los glaciares libres de escombros, lo que los convierte en valiosos recursos hídricos. El estudio tiene como objetivo analizar las características físicas del Glaciar Cubierto Kinzl en la Cordillera Blanca, utilizando métodos geofísicos como el radar de penetración terrestre (GPR) y el sondeo eléctrico vertical (SEV). A través de perfiles con georradar y sondeos eléctricos, se logró una comprensión de los métodos, proporcionando una comprensión detallada de las características internas del glaciar. Se identificaron tres horizontes: (1) uno de escombros superficiales de 2 a 9 metros con resistividades que se mantienen por encima de 16k Ohm.m, (2) otro de hielo masivo con espesores entre 40-60 metros corroborado por valores de 400k y 6000k Ohm.m y (3) un tercer horizonte de roca madre.

Estos datos encontrados en el Glaciar Cubierto de Kinzl encajan con los frecuentemente encontrados en depósitos glaciares-zonas periglaciares en los Andes. Estos datos no solo permiten una caracterización precisa del glaciar, sino que también facilitan la evaluación de peligros asociados a la geodinámica externa, como deslizamientos, flujos de detritos o incluso el potencial GLOF. Los resultados, al proporcionar una comprensión global de la estructura interna del glaciar cubierto, son esenciales para la modelización numérica y la prevención de estos peligros.

PRESENTACIONES ORALES

DINÁMICA GLACIAR
ACTUAL Y FUTURA



Evaluación del retroceso glaciar y su influencia en la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Quillcay bajo escenarios climáticos CMIP6 (Período 2000-2050)

Eduardo Luisenrique Sánchez Carrión

Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo

La cuenca del río Quillcay, ubicada en la Cordillera Blanca, región Áncash, Perú, alberga glaciares importantes como Palcaraju, Tullparaju y Shallap 1, los cuales son una fuente crucial de agua para las comunidades locales y ecosistemas de la cuenca del río Santa. En los últimos años, la acelerada pérdida de masa glaciar debido al cambio climático ha generado preocupación sobre la disponibilidad futura de recursos hídricos. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la influencia del retroceso glaciar en la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Quillcay, utilizando proyecciones climáticas basadas en los escenarios del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) para el período 2000-2050.

Se realizaron análisis multitemporales de la evolución glaciar, empleando imágenes satelitales de Landsat 5-8 y datos de modelado glaciológico mediante el modelo GlibTop para calcular el espesor y volumen de los glaciares en los años 2000 y 2024. Los resultados muestran una pérdida significativa de volumen glaciar desde el año 2000 hasta 2024, con valores actuales de volumen de 293,608,571.5 m³, 44,505,233.91 m³ y 40,732,145.34 m³ para los glaciares Palcaraju, Tullparaju y Shallap 1, respectivamente. Bajo los escenarios climáticos del CMIP6, se proyecta que para el año 2050, estos glaciares experimentarán una reducción del 50% y 70% de su volumen actual en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. La proyección de volumen para el año 2050 indica que, en el escenario de emisiones medias (SSP2-4.5), los volúmenes glaciales disminuirían a 146,804,285.75 m³ (Palcaraju), 22,252,616.96 m³ (Tullparaju) y 20,366,072.67 m³ (Shallap 1). En el escenario de emisiones altas (SSP5-8.5), las reducciones serían más pronunciadas, con volúmenes de 88,082,571.45 m³ (Palcaraju), 13,351,570.17 m³ (Tullparaju) y 12,219,643.60 m³ (Shallap 1). Los resultados de este estudio resaltan una relación directa entre la pérdida de masa glaciar y la reducción de la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Quillcay. La pérdida progresiva de glaciares tendrá un impacto significativo en la provisión de agua para consumo humano, agricultura y generación de energía hidroeléctrica, especialmente durante la estación seca. Las proyecciones sugieren la necesidad de planificar estrategias de adaptación y gestión hídrica para mitigar los efectos del cambio climático en las poblaciones que dependen de los recursos hídricos de la cuenca.

Patrones espaciotemporales de carbono negro en la Cordillera de Huaytapallana: Un enfoque observacional y de modelado

Andrea Ximena Miranda Corzo¹, Elver Villalobos Puma, Ana Isabel Lopez Noreña, Aldo Moya Alvarez, Yamina Silva Vidal

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

La contaminación atmosférica, como el carbono negro, tiene un impacto negativo e irreversible en los ecosistemas criosféricos a lo largo de los Andes Centrales de Perú (ACP), con implicaciones directas para la seguridad hídrica de la región. El carbono negro (BC), emitido por actividades antropogénicas y la quema de biomasa, acelera el retroceso glaciar al depositarse en la superficie de los glaciares, reduciendo su albedo y aumentando la tasa de derretimiento. Este proceso no solo contribuye a la pérdida de masa glaciar, sino que también afecta la cantidad y calidad del agua disponible en las cuencas hidrográficas que dependen de estos glaciares.

Para comprender el transporte y la dinámica espaciotemporal del BC, se realizaron múltiples análisis de bases de datos asociados con la quema de biomasa (BCbb) y la actividad antropogénica (BCff), así como observaciones in situ con etalómetros ubicados en un valle (3350 m.s.n.m.) y cerca del glaciar Huaytapallana (4709 m.s.n.m.). Además, se llevaron a cabo simulaciones con los modelos WRF-Chem y HYSPLIT para identificar las zonas de influencia del BC. Los resultados mostraron un predominio de emisiones de actividades antropogénicas en el flanco occidental y de la quema de biomasa en el flanco oriental, con concentraciones de BC más altas al oeste de los ACP durante la temporada húmeda (DJF) y al este durante la temporada seca (JJA).

Estos hallazgos sugieren que el impacto del carbono negro en el retroceso glaciar es más pronunciado en el flanco oriental durante la temporada seca, lo que agrava la disminución del recurso hídrico disponible. El análisis local de datos observados de 2022 indica que el BCff contribuye en un 75.5% durante la temporada húmeda en el valle y un 61% en las montañas, mientras que, en la temporada seca, el BCbb supera al BCff con un 50.5% en el valle y un 53.5% en las montañas. Las trayectorias de transporte muestran un flujo predominante desde ambos lados de la Cordillera de Huaytapallana, subrayando la necesidad de abordar las fuentes de emisiones de BC y sus efectos sobre el retroceso glaciar y la seguridad hídrica en la región. Estos resultados resaltan la urgencia de implementar estrategias de mitigación y adaptación que consideren el impacto de las emisiones de carbono negro en los glaciares y la gestión de los recursos hídricos en los Andes Centrales.

Influencia de la capa detrítica en el comportamiento del glaciar Shallap, Cordillera Blanca, Ancash, Perú

Harol Edward Granados Alegre¹, Alexzander Santiago Martel, Gladis Celmi Henostroza, Yadira Curo, Luzmila Davila Roller

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

El retroceso de los glaciares tropicales es uno de los efectos del cambio climático. No obstante, existen factores locales que influyen en el comportamiento glaciar; como es el caso de la capa detrítica los cuales pueden condicionar la fusión glaciar ya sea de manera positiva o negativa en la zona de estudio de las cuales no existen suficientes evidencias. La investigación se realizó en el glaciar Shallap (zona de fusión) que posee dos áreas definidas: glaciar cubierto por detritos y glaciar limpio.

El método empleado es el co-registro, el cual realiza la corrección del Modelo Digital de Elevación (DEM) de referencia en base al DEM de análisis, mediante la cual el sesgo de error en vertical (Z) se vuelve 0. Este método se usó para los periodos 2019 y 2024, para el análisis de la influencia de la capa detrítica con los cambios morfológicos y la tasa de fusión glaciar. Identificándose los siguientes resultados: zona cubierta por detritos, se evidencia el retroceso del frente de 36m, con pérdida de 8,254 m² que representa -12,004 m³. En el glaciar descubierto se evidencia el retroceso de 165 m de frente glaciar, con una pérdida de 43,052 m² equivalente a -204,693 m³. Estos resultados que se presentan fueron analizados en un transecto de 150 m² entre los 4750-4800 msnm.

Modelo de pronóstico del retroceso glaciar del nevado Artesonraju en la Cordillera Blanca y su impacto en la disponibilidad futura de agua potable en la ciudad de Caraz

Ariana Fernanda Portal Sánchez¹, Emily Clarise Carbajal Chirinos

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

El cambio climático afecta la seguridad hídrica de las cuencas glaciares. Los glaciares tropicales son sensibles al cambio climático, perdiéndose en la Cordillera Blanca más del 30 % de su volumen en las últimas décadas por el aumento de la temperatura. El glaciar Artesonraju, ubicado en la Cordillera Blanca, en los Andes Centrales, desempeña un papel fundamental en el suministro de agua para Caraz, en la región de Áncash, Perú. La investigación busca modelar el retroceso glaciar futuro debido al cambio climático. Primero, se utilizaron herramientas como ArcMap, Google Earth Engine, MapBiomas y USGS Earth Explorer para analizar imágenes satelitales desde 1986 hasta 2021. Se descargaron imágenes de los satélites Landsat 4-5 (1986-2012) y Landsat 8-9 (2013-2023), y se procesaron en ArcMap para calcular la cobertura glaciar y la línea de nieve anual. Se utilizó la línea de nieve como indicador de la línea de equilibrio (ELA). En la segunda fase, se predijo la elevación futura de la línea de equilibrio, la ELA del glaciar podría alcanzar los 5304.19 metros sobre el nivel del mar, lo que podría llevar a su desaparición para el año 2157. La Regresión de Huber minimiza el impacto de los valores atípicos, en este caso, se obtuvo un $R^2 = 0.48$ indica una correlación débil positiva de las variables (ELA y Año), explicando el 48% de la variabilidad en los datos. El retroceso de los glaciares debido al cambio climático puede reducir el caudal de ríos y lagos, generando estrés hídrico en las comunidades cercanas.

Impacto del cambio climático en el nevado Coropuna: proyecciones a futuro con machine learning

Enrique Antonio Milla Tello, Andres Fernando Figueroa Curo, Maryann Alessandra Alata Chambilla, Isabel Gonzales Lucana, **Andres Atilio Durand Cruces¹**, Rut Huamani Mendez

¹Universidad Nacional Agraria La Molina

El Nevado Coropuna, situado en la región Arequipa, es una de las reservas de agua dulce más importantes para la población local, ya que sus glaciares alimentan los ríos durante la época seca, ayudando a mitigar la escasez de precipitaciones. Sin embargo, desde 1962, su superficie glaciaria ha disminuido drásticamente. Este deshielo acelerado, que ha llevado a la pérdida de más del 50% de su capa glaciaria en las últimas cinco décadas, pone en riesgo la disponibilidad de agua para más de 20,000 habitantes que dependen de este recurso. A partir de los antecedentes mencionados, este estudio busca proyectar la cobertura de nieve en el nevado Coropuna hasta 2060, utilizando datos del satélite MODIS, técnicas de machine learning como Random Forest y proyecciones climáticas del CMIP6, con predictores de temperatura y precipitación. Después del entrenamiento del modelo, los resultados de la validación indican estimaciones generalmente precisas, con un error medio de 4.276 % de cobertura de nieve, error medio cuadrático de 6.025 % y coeficiente de determinación 0.82, Además un valor de correlación positiva significativa de 0.90. Las proyecciones climáticas indican que entre el 2020 al 2060 se perderá un área de 13.0 km², entre ello existe una tasa de pérdida anual de 0.33 km²/año. Esta información ayudará a comprender mejor los impactos de la disminución de la cobertura de nieve y el retroceso glaciario asociado, así como a generar políticas para la adaptación y mitigación del cambio climático.

PRESENTACIONES ORALES

PROCESOS HIDROLÓGICOS



Comparación de valores de evapotranspiración potencial y freática en una turbera de la Reserva Paisajística Nor Yauyos - Cochas

Yudidsa Ávila¹, Carmela Landeo, Eduardo Oyague

¹Patronato de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas

Es común considerar la provisión y regulación de recursos hídricos entre los servicios ecosistémicos que nos brindan los bofedales andinos. Sin embargo, la mayoría de los trabajos en los que se evalúan estos servicios, carecen de una aproximación hidrológica robusta. Este trabajo se centró en un bofedal (Huachipampa) ubicado en la Reserva Paisajística Nor Yauyos - Cochas, que cuenta con una estación meteorológica automática, estaciones hidrométricas y estaciones de monitoreo continuo del nivel freático. Como muchos ecosistemas dependientes de aguas subterráneas, la evapotranspiración a partir del nivel freático (ETf) constituiría una proporción importante de la evapotranspiración real (ETr) de los bofedales. Por ello, se compararon los valores de ETf estimados mediante dos métodos basados en la fluctuación freática diaria (White-Loheide y Hays) con valores de evapotranspiración potencial (ETO) estimados con los métodos de Oudin y Penman-Monteith. En el año hidrológico 2022 - 2023, los valores de ETO y ETr (estimados como ETf) son muy similares tanto en períodos húmedos (ETO = 1.67 +/- 0.28 mm/día, ETf = 1.53 +/- 0.32 mm/día) como secos del año (ETO = 2.18 +/- 0.26 mm/día, ETf = 2.09 +/- 0.19 mm/día), lo que indicaría que los bofedales evapotranspiran a su máxima capacidad buena parte del año debido a la disponibilidad de agua. Estos resultados plantean una discusión importante: ¿son los bofedales ecosistemas que 'proveen' agua al sistema hidrológico?, o ¿se trata de ecosistemas dependientes de una alta disponibilidad de recursos hídricos que consumen parte de aquellos como producto de su propia fisiología?

Cambio climático y Andes: Una revisión de los impactos en los procesos ecohidrológicos y sus implicaciones para la sostenibilidad de las montañas

Diego A. Sotomayor, Claudia Caro, Haline Heidinger, **Mabel Carhuancho**¹, Taicia Marquez, Miguel Quevedo, Richar Morales

¹Universidad Nacional Agraria La Molina

Las montañas de la cordillera de los Andes componen un importante hotspot de biodiversidad. Sin embargo, su gran variabilidad climática las hace especialmente vulnerables frente a los desafíos que plantea el cambio climático. A través de una revisión sistemática, utilizando la metodología PRISMA se ha explorado cómo las alteraciones en los patrones de precipitación, inducidas por el cambio climático, afectan los procesos ecohidrológicos de montaña, con repercusiones directas en la provisión de agua y otros servicios ecosistémicos asociados. Los resultados permiten subrayar la importancia de los ecosistemas de montaña como reguladores del ciclo hidrológico y su contribución a la estabilidad de los sistemas socioecológicos. Sin embargo, identificamos importantes vacíos de información, especialmente en regiones y temas específicos. A lo largo del estudio se resaltan los roles de los principales moduladores que influyen en la disponibilidad de agua en las montañas como El Niño, las actividades humanas y otros aspectos hidrobiogeoquímicos de gran escala. Finalmente se sugieren temas investigación urgentes para mejorar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático en los Andes. Esta información es crucial para desarrollar estrategias de gestión del agua más resilientes, que satisfagan las necesidades de las comunidades locales y garanticen la sostenibilidad de estos ecosistemas a largo plazo.

Análisis de la infraestructura natural Amunas como un método de adaptación al cambio climático en las microcuencas Sansare y Marcajay, Huarochirí, Lima, Perú

Andrea Alexandra Quintana Vega

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

El agua es un recurso esencial para el desarrollo humano y el mantenimiento de ecosistemas saludables. No obstante, el cambio climático está alterando el ciclo hidrológico, reduciendo la disponibilidad hídrica, especialmente en ecosistemas de montaña, debido a la disminución de precipitaciones y el aumento de la temperatura. Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), como las Amunas, representan una alternativa eficaz para gestionar estos recursos. Sin embargo, aún se desconoce mucho sobre el funcionamiento hidrológico de estas intervenciones y sus efectos en diferentes estados de conservación, lo que es crucial para su escalabilidad.

Esta investigación aplica la "Metodología de Cuantificación de Beneficios Hidrológicos de intervenciones en Cuencas" en las microcuencas de Sansare y Marcajay, en San Andrés de Tupicocha, provincia de Huarochirí. Los resultados muestran que las mejores condiciones de caudal base se logran en sistemas de conservación con barro vitrificado y canales con revestimiento liso. Para la microcuenca de Sansare, se obtuvo un caudal base de $1403.8 \times 1000 \text{ m}^3$, mientras que en Marcajay fue de $+900.2 \times 1000 \text{ m}^3$ en los modelos calibrados. Además, las evaluaciones de NSE y PBIAS confirman que el modelo es eficiente y adecuado para estimar los beneficios hidrológicos.

Árboles en las cumbres de la cordillera como sensores naturales de la variabilidad hidrológica en cuencas andinas. Una aproximación dendrocronológica

Ginette Ticse-Otarola, Edilson J. Requena Rojas¹

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria - Universidad Continental

Mejorar la comprensión y entender el comportamiento hidrológico de las cuencas andinas en el contexto del cambio climático tiene enormes repercusiones socioeconómicas. Las actividades agrícolas, ganaderas, piscícolas, turísticas, etc. de la región central de Perú, dependen en gran medida del recurso hídrico. Además, esta región se enfrenta a una escasez estacional de agua que puede aumentar los impactos de la sequía poniendo en riesgo la disponibilidad de agua. El uso de registros de anillos de árboles para caracterizar la variabilidad climática a largo plazo ha mejorado las estimaciones de eventos hidroclimáticos extremos contribuyendo a una mejor gestión de los recursos hídricos en varias regiones del mundo. En este estudio, investigamos las relaciones del crecimiento radial de *Polylepis rodolfo-vasquezzi* y *Gynoxys caracensis* con las variaciones de caudal del río Shullcas en los Andes centrales (11.65°S, 74.96°O).

Las funciones de correlación mostraron las buenas relaciones entre el crecimiento radial de los árboles con las variaciones mes a mes de los caudales entre 1986 y 2013. Los primeros modelos de reconstrucción del caudal basada en los anillos de los árboles revelan una tendencia negativa en el caudal desde la década de 1990 sin precedentes en el siglo anterior. Este estudio nos permite comprender la variabilidad de los caudales en el pasado para contextualizar las tendencias actuales y mejorar la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del Shullcas. También subraya la importancia de desarrollar nuevos registros de anillos de árboles en los Andes centrales para mejorar el estudio de los procesos climáticos e hidrológicos del pasado.

PRESENTACIONES ORALES

HIDROMETEOROLOGÍA Y
MODELAMIENTO



Cambios recientes en la temporada de lluvias en el Altiplano Andino y patrones de circulación atmosféricos relacionados (1981-2022)

Pierina Mayte Milla Velasquez¹, Jhan Carlo Espinoza, Ricardo Gutierrez, Jorge Molina-Carpio, Josyane Ronchail, Daniel Espinoza-Romero, Clémentine Junquas

¹Pontificia Universidad Católica del Perú

Las sequías en los Andes afectan la disponibilidad de agua para ecosistemas y comunidades, especialmente en el sistema hidrológico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS), donde la seguridad hídrica depende de un régimen de lluvias predecible. En esta región, se observa una disminución de la precipitación ($p < 0.1$) durante la temporada de transición (SON) en datos CHIRPS (1981-2023) y estaciones meteorológicas (1973-2016). Además, el inicio de la temporada de lluvias se ha retrasado y su duración se ha reducido ($p < 0.05$), alargando la temporada seca. Para entender los mecanismos atmosféricos, se identificaron Patrones de Circulación (CPs) usando anomalías de vientos diarios a 200 hPa (1979-2022). Durante SON, la frecuencia del patrón W1 (húmedo) muestra una correlación negativa con el inicio de la temporada de lluvias ($p < 0.05$), mientras que el patrón D3 (seco) exhibe una correlación positiva. Además, desde 1979 a 2022, se detecta un incremento significativo de patrones predominantemente secos D3 y T1 ($p < 0.1$ y $p < 0.05$, respectivamente), mientras que el patrón húmedo W1 prácticamente desaparece desde 2010. Estos cambios en los CPs están asociados con la disminución de precipitación durante SON y el alargamiento de la temporada seca en el TDPS, los cuales tienen implicaciones directas en la disponibilidad de agua para consumo humano y limitan el rendimiento agrícola en el Altiplano. Además, se altera el delicado balance del ciclo del agua, lo que compromete la capacidad de los ecosistemas montañosos para regular el agua en el sistema TDPS, aumentando la vulnerabilidad hídrica de las comunidades que dependen de estos recursos.

Características y tendencias de las sequías hidrológicas repentinas (flash droughts) en las cuencas Azángaro-Pucará [1982-2022]

Kevin Campos Sánchez¹, Ricardo Gutierrez, Gianella Botetano, Andres Fernando Figueroa Curo

¹Universidad Nacional Agraria La Molina

Las sequías hidrológicas suelen desarrollarse y propagarse lentamente, pero estudios recientes han identificado eventos que se desarrollan e intensifican rápidamente, conocidos como sequías repentinas ("flash droughts"). La ausencia de herramientas y estudios específicos sobre estos eventos en la sierra sur del Perú dificulta la gestión eficiente del riesgo asociado a las sequías. Este trabajo analiza la variabilidad de las sequías hidrológicas repentinas en las cuencas Azángaro-Pucará (1982-2022) usando el índice estandarizado de caudales (SSI) de un mes, calculado semanalmente. Se analizaron tendencias con la prueba de Mann-Kendall y procedimientos de control de falsos descubrimientos para evaluar la significancia regional, así como categorizar los períodos de desarrollo según su intensificación. En promedio, hubo 12 sequías repentinas (16.2% del total) en cada río analizado, siendo significativamente más comunes en las zonas medio-altas de las cuencas. Las sequías repentinas suelen desarrollarse en 4 a 6 semanas (75.6% del total), y un tercio muestra una intensificación moderada. No se encontraron tendencias significativas en la frecuencia de sequías hidrológicas repentinas y normales, pero la intensificación de las sequías repentinas aumentó en el 18% de los ríos. Preliminarmente, se identificó que el inicio de las sequías repentinas se relaciona a la variabilidad intraestacional asociada al aumento de la actividad convectiva en el Pacífico Occidental hasta con 25 días de anticipación. Estos hallazgos invitan a un estudio más detallado de la distribución espacio-temporal de las sequías repentinas y su conexión con la variabilidad climática a distintas escalas.

Nuevas perspectivas en el estudio de sequías en comunidades campesinas de los Andes

Adriana Abrielle Rojas Castro¹, Luis Marcelo, Rivera Huidobro, Yulissa Rosalyn Estrada Terrel, Pedro Rau, Alessia Matanó, Heidi Mendoza

¹Universidad de Ingeniería y Tecnología

El cambio climático está intensificando las sequías en los Andes peruanos, aumentando la vulnerabilidad de las comunidades. Sin embargo, existe la incertidumbre sobre cómo este evento está afectando a las comunidades y si existe una discrepancia entre los riesgos percibidos por la población y los datos hidrológicos.

Para abordar este desafío, combinamos enfoques cualitativos, como discusiones en grupos focales y monitoreo participativo, con análisis cuantitativos de datos hidrometeorológicos de una red de monitoreo Low Cost en la microcuenca Yanamayo, Palca, Junín. Desde 2016, las pérdidas agrícolas y ganaderas por sequías se documentan a través de informes técnicos y relatos comunitarios.

Este estudio analizó tendencias hidroclimatológicas usando pruebas como Mann Kendall, Sen Slope e Innovative Trend Analysis. Los resultados mostraron una relación inversa entre las variables hidrológicas. Mientras que las precipitaciones aumentan 63.8 mm/década en la estación Huasahuasi, el caudal de la estación Tulumayo disminuye $-0.7\text{m}^3/\text{s}/\text{década}$. Se emplearon tres niveles de información para corroborar eventos extremos: el índice SDI (Standard Drought Index), encuestas y noticias locales. Los resultados sugieren un manejo inadecuado del recurso hídrico y la existencia de inundaciones post sequías.

Nuestro enfoque proporciona una herramienta integral para identificar eventos de sequía-inundación e integrar información para mejorar la toma de decisiones en el contexto de eventos extremos. Es crucial abordar la paradoja climática entre la información social y los datos estadísticos para mejorar la comprensión hidrometeorológica y apoyar a los responsables de la gestión de eventos extremos en Palca y la región Junín.

Análisis de configuraciones simplificadas de Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) para la evaluación de proyectos de mejora de rendimiento hídrico en cuencas de montaña

Ciprian Laura Oscco¹, Albert Johan Mamani Larico, Syntia Noemi Huisa Maquera, Tatiana Erika Boza Espinoza

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

La recurrente preocupación sobre la disponibilidad hídrica en los ecosistemas de montaña, viene generando el desarrollo e implementación de proyectos de inversión de los gobiernos locales y nacionales con el objetivo de garantizar y aumentar la actual disponibilidad hídrica para el consumo de los diferentes usuarios. Sin embargo, existe poca evidencia de la efectividad de las mismas a escala de subcuenca debido a la falta de información de línea base y al seguimiento de la evolución del cambio en el rendimiento hídrico. Por esta razón, el presente estudio, ha implementado el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) enfocado en el establecimiento de múltiples configuraciones de HRUs que permitan representar las principales actividades de intervención, así como su impacto en la respuesta hidrológica. El área de estudio es la parte alta de la subcuenca Shullcas, la cual presenta influencia glaciar de la cordillera Huaytapallana y tiene proyectado la protección y ampliación de bofedales y pajonales. Se ha generado información hidrométrica horaria y diaria con tres sensores de nivel y una estación pluviométrica. Se utilizó el mapa de ecosistemas de montaña elaborado por el INAIGEM y el mapa de suelos de la Zonificación Ecológica Económica del departamento de Junín. Se analizaron diferentes configuraciones de HRUs para la adecuada representación de los ecosistemas a intervenir. Se realizó la calibración y validación de caudales diarios con 3 años de datos desde el 2015 hasta el 2018. El análisis se realizó diferenciando el aporte hídrico con influencia glaciar, del aporte hídrico de ecosistemas, bofedal y pajonal, mediante la calibración por separado de las tres estaciones hidrométricas. Se obtuvo un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe mayor a 0.6 en el último punto de descarga donde confluyen las zonas de aporte glaciar y no glaciar. Los parámetros de calibración fueron el Número de curva de escorrentía de SCS (CN2), Factor de compensación de evaporación del suelo (ESCO), Capacidad de agua disponible en el suelo (AWC) y Factor alfa del flujo base (ALPHA) los cuales se establecieron mediante un análisis de sensibilidad y la revisión de literatura. Se encontró además que la definición de HRUs de forma subjetiva presentó una mejor respuesta en la calibración frente a los HRUs generados por dominancia. Sin embargo, se requiere más análisis en el establecimiento de la configuración óptima mediante el desarrollo de algoritmos automatizados, la mejora del mapa de ecosistemas y de suelos, así como la representación más apropiada del componente glaciar. Estos análisis y mejora de productos se continúan realizando con el objetivo de contar con una herramienta hidrológica que permita evaluar los cambios en el rendimiento hídrico producto de las intervenciones planificadas en cuencas de montaña con influencia glaciar como lo es la subcuenca Shullcas.

Efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandinos en el área de influencia del nevado Allincapac – Perú

Pedro Victor Quispe Apaza¹, Delia Margot Mendoza Luque

¹Universidad Peruana Unión

El estudio tiene como objetivo el análisis de los efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandinos, aplicando la metodología de evaluación a través del Conjunto de Herramienta de la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST), y escenarios climáticos basado en periodos temporales SSP-2.4.5. y 5.8.5, considerando variables de temperatura y precipitación, empleando el modelo climático HadGEM3-GC31-LL que ofrece proyecciones precisas sobre el comportamiento de los climas, patrones de precipitación y el aumento de la temperatura en los Andes, además la variable de uso de tierra. Para la modelización con InVEST se utilizó tres modelos; rendimiento de agua, proporción de entrega de sedimentos y proporción de nutrientes. Los resultados muestran que algunos servicios ecosistémicos, como rendimiento de agua, disminuyeron de 113.19 mm (escenario 1) a 61.23 mm (escenario 3) espacialmente. Así mismo, la retención de suelo basado en transporte de sedimentos, una diferencia de 7.24 tn/pixel (escenario 1) a 0.82 tn/pixel (escenario 3), además la proporción de nutrientes presentó mínimos patrones de cambio en la exportación de nitrógeno que varía entre 0.675 kg/pixel (escenario 1) a 0.624 kg/pixel (escenario 3) y la exportación de fósforo redujo de un 0.564 kg/pixel (escenario 1) a 0.520 kg/pixel (escenario 3) respectivamente. En conclusión, el modelo muestra el comportamiento de los servicios ecosistémicos frente a los efectos del cambio climático expresado en el aumento y reducción de valores espaciales, evidenciando que el cambio climático tiene mayor efecto en el modelo de rendimiento de agua, por la alta reducción de sus valores.

PRESENTACIONES ORALES

SOLUCIONES BASADAS EN
LA NATURALEZA PARA LA
ADAPTACIÓN



Evidencia científica de los impactos hidrológicos de las Soluciones basadas en la Naturaleza a escala de cuencas hidrográficas

Morgane Lalonde, Fabian Drenkhan¹, Pedro Rau, Jan Roman Baiker, Wouter Buytaert

¹Pontificia Universidad Católica de Perú

La introducción de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en cuencas hidrográficas puede aumentar la rentabilidad, flexibilidad y fiabilidad de las prácticas de gestión del agua para mejorar la seguridad hídrica. Sin embargo, la base de evidencia científica de los efectos hidrológicos de las SbN sigue siendo escasa, por lo cual existe el riesgo que las intervenciones en las cuencas no produzcan los resultados hidrológicos deseados. Este estudio busca revisar los impactos hidrológicos de diferentes tipos de SbN para la gestión del agua. En primer lugar, se presenta una tipología de SbN y los correspondientes impactos hidrológicos dominantes. Con esta tipología se examina la solidez de la evidencia actual sobre los efectos de las intervenciones SbN en la respuesta hidrológica a escala de cuenca. Nuestros resultados demuestran que la eficacia de cada tipo de SbN depende de las condiciones específicas, tales como la ubicación, el diseño y los factores ambientales. Por ejemplo, los micro-reservorios mejoran notablemente el almacenamiento superficial y la evaporación, mientras que las zanjas de infiltración reducen la escorrentía, pero existe un riesgo de aumento de erosión del suelo. Nuestro análisis global subraya la necesidad de mejorar la comprensión de los impactos de las SbN y una planificación cuidadosa de las intervenciones de SbN para una implementación exitosa a largo plazo. Esto incluye enfoques participativos con la implicación de partes interesadas en el co-diseño de SbN, la co-producción de conocimientos y la recopilación de datos novedosos para desarrollar estrategias de adaptación locales para aumentar la seguridad hídrica.

Importantes hallazgos en la recuperación de una turbera altoandina. ¿Ecosistemas frágiles, pero resilientes?

Vivien Bonnesoeur¹, Víctor Jordi Alarcón Jibaja, Samuel Edwin Pizarro Carcausto, Natalia Aste, Karen Price

¹Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina - CONDESAN

Los bofedales son humedales altoandinos de gran importancia por los múltiples servicios ecosistémicos que proveen a las comunidades y ciudades (agua, forraje, turba, regulación hídrica, biodiversidad, captura de carbono, etc.). A pesar de ello, existen diversos factores que los degradan como: desviación de flujos superficiales, contaminación minera, extracción excesiva de turba, erosión fluvial, drenaje y sobrepastoreo. La restauración de estos ecosistemas frágiles cuando están muy degradados puede ser un verdadero reto considerando la compleja dinámica de sus procesos eco-hidrológicos. Se presentará un caso de estudio sobre la recuperación de una turbera altoandina ubicada en la parte alta de la cuenca Rímac que abastece a la ciudad de Lima. Para lograr ello, la empresa de agua SEDAPAL junto con la comunidad de Carampoma implementaron un proyecto de recuperación a través de la construcción de un cerco perimétrico, un sistema de riego y la revegetación con especies nativas. Luego de 2 años de la ejecución del proyecto, en la zona más degradada se ha observado una rápida recuperación del nivel freático (de ~120cm a ~5cm) y de la fracción de cobertura vegetal tanto en zonas revegetadas con tepes (hasta más de 10 veces su tamaño inicial) como en zonas por regeneración natural asistida. Esta experiencia demuestra que la dinámica de recuperación de la cobertura vegetal puede ser rápida, si las condiciones son favorables.

Influencia de tres tratamientos de revegetación con *Festuca dolichophylla* sobre la dinámica hídrica en la capa de suelo superficial de la cabecera de la microcuenca de Piuray Ccorimarca en Urubamba – Cusco

Carlos Alberto Lazo Oscanoa

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

La microcuenca Piuray Ccorimarca abastece de agua al 37.7% de la población de la ciudad de Cusco a través del servicio ecosistémico de regulación hídrica, principalmente gracias al pajonal de puna. Debido a su relevancia, es fundamental llevar a cabo investigaciones ecohidrológicas sobre la recuperación de pastos nativos y su contribución a la regulación hídrica. En este contexto, el presente estudio evaluó la dinámica hídrica en la capa superficial del suelo utilizando tres tratamientos experimentales de revegetación con el pasto nativo *Festuca dolichophylla*. Los tratamientos fueron: T01, con abono orgánico; T02, con abono inorgánico; y T03, sin la adición de abonos. Los experimentos se desarrollaron en parcelas ubicadas en la cabecera de la microcuenca Piuray Ccorimarca. Durante un año se monitoreó la precipitación con un pluviómetro, y la temperatura y la humedad volumétrica del suelo mediante 40 sensores TMS4, utilizando estos datos para un modelo de balance hídrico. Asimismo, se evaluaron el vigor y la mortalidad de los esquejes revegetados.

Los resultados mostraron que el tratamiento T01 generó la mayor cantidad de agua gravitacional para la percolación durante la temporada húmeda y registró las menores tasas de mortalidad de esquejes. En contraste, el tratamiento T03 presentó bajos niveles de percolación y una alta mortalidad de esquejes. En conclusión, la revegetación con *Festuca dolichophylla* tiene un impacto significativo en la dinámica hídrica de la capa superficial del suelo, siendo el tratamiento T01 el más recomendable para su implementación en la cabecera de la microcuenca Piuray Ccorimarca.

Panorama social de las iniciativas SbN: Un estudio piloto en los ecosistemas de montaña de la microcuenca Carhuayumac, Huarochirí, Lima

Albert Moises Ponce Villegas

Fondo de Agua para Lima y Callao - Aquafondo

Los ecosistemas de montaña, puntos de origen de las fuentes naturales de agua en las cuencas hidrográficas, enfrentan desafíos críticos en la gestión sostenible de los recursos hídricos. Estos ecosistemas no solo son vitales para el suministro de agua, sino que también desempeñan un papel fundamental en la preservación de la biodiversidad y el sustento de las comunidades locales.

En este contexto, Aquafondo, el fondo de agua para Lima y Callao, promueve e implementa iniciativas orientadas a la conservación, protección, restauración y uso sostenible de estos ecosistemas a través de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Tradicionalmente, estas SbN se evalúan desde una perspectiva hidrológica, centrándose en beneficios como el aumento de la disponibilidad de agua. No obstante, para comprender completamente sus efectos multidimensionales, es necesario incluir evaluaciones que aborden sus impactos sociales.

Con este objetivo, Aquafondo implementará un piloto en la microcuenca Carhuayumac, recientemente designada como Sitio Demostrativo de Ecohidrología por la UNESCO. El estudio analizará cómo las SbN afectan los conocimientos, percepciones y comportamientos de los actores locales en relación con sus experiencias en seguridad hídrica (Young et al., 2019) y la gobernanza del agua (OECD, 2015).

Para ello, se utilizará una encuesta de Conocimientos, Actitudes y Prácticas (CAP), con preguntas estructuradas en una escala Likert. Este piloto se aplicará inicialmente a un proyecto de SbN en fase de cierre, con ediciones subsecuentes en años posteriores para identificar la evolución de las variables estudiadas (Jacobson et al., 2024) y facilitar su integración al sistema de monitoreo de Aquafondo.

PRESENTACIONES ORALES

ENFOQUES COMPLEMENTARIOS
PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA



Implementación de una normatividad que regule la protección de los glaciares en el Perú

Milton Ronald Camones Mariano

Asociación DECIDH

En la investigación se propone determinar los criterios jurídicos tomados en cuenta para la implementación de una normatividad que regule la protección de los glaciares en el Perú, evaluar cómo puede desarrollarse una legislación específica que aborde de manera integral y efectiva la conservación y protección de glaciares en la nación peruana, considerando las particularidades y necesidades únicas de estos ecosistemas. Para ello, se ha desarrollado un estudio de tipo dogmático-normativo, no experimental, la unidad de análisis estuvo constituida por las fuentes formales del derecho, como la doctrina, jurisprudencia, jurisprudencia comparada y normativa, empleándose como instrumentos de recolección de información, revisión documental, el análisis de contenido, las fichas de resumen, comentarios y crítica.

Se obtuvo como resultado, desde el marco jurídico internacional en materia ambiental que se debe crear sistemas de monitoreo, evaluaciones de impacto ambiental, fuertes restricciones a todas las actividades que puedan afectar los glaciares, la comunicación a la sociedad civil organizada y a las instancias supranacionales, con el objetivo de orientar la protección de los recursos hídricos, seguridad hídrica y servicios ecosistémicos naturales de Perú. Se concluyó que los modelos de protección jurídica de los glaciares desde la evidencia internacional pueden aportar como criterios jurídicos para la implementación de una normativa específica para la protección de los glaciares en el Perú y que, debido al deterioro de las condiciones de sostenibilidad de estos glaciares, amerita una legislación pertinente y urgente, antes que la situación sea irreversible.

Planificación territorial y seguridad hídrica: Caso comunidad campesina de Huaros

Karen Lisbeth Roque Huamani¹, Aldair Sotelo Belen

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos

El presente estudio analiza la relación entre la planificación territorial y la seguridad hídrica en la comunidad campesina de Huaros. El objetivo principal es entender cómo la planificación del territorio puede contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos en esta comunidad. Se aplicó una metodología basada en el Plan de Ordenamiento Territorial Comunal, que incluyó fase de diagnóstico donde se levantó información a través de entrevistas, encuestas y mapeo participativo; y las fases de prospectiva y planificación donde se validaron y priorizaron proyectos en talleres participativos, entre ellos aquellos vinculados a la seguridad hídrica.

Los resultados muestran que las actividades predominantes en la comunidad son la ganadería y la agricultura, las cuales dependen de la disponibilidad de agua. Un insumo importante fue el mapa de cobertura donde se identificaron bofedales y pajonales, los cuales desempeñan un papel crucial en la regulación hídrica. Específicamente los bofedales (o conocidos localmente como chunales) son ecosistemas importantes para la comunidad que actúan como esponjas naturales, que sin embargo en los últimos años se han ido degradando. Según la percepción de los pobladores, ofrecen servicios de disponibilidad de agua para agricultura en la parte baja, así como forraje para el ganado. En ese sentido, la planificación territorial aporta a la conservación de estos ecosistemas y por ende a la sostenibilidad hídrica, porque promueve la gestión adecuada de los recursos naturales y priorización de zonas para la implementación de proyectos de conservación que aporten a la seguridad hídrica acordes a la realidad local.

PÓSTERES CIENTÍFICOS



Análisis del retroceso glaciar en el nevado Coropuna y propuestas para combatir el cambio climático: Un estudio desde 1955 hasta 2022 con ArcGIS

Mariana Úrsula Cárdenas Galdós¹, José Úbeda Palenque, Ramón Pellitero Ondicol, Álvaro Navarro Frutos, Pablo Masías Alvarez

¹Universidad Católica de Santa María

El cambio climático está afectando críticamente a los glaciares del Perú, incluyendo el Nevado Coropuna, el volcán más alto del país con una altitud de 6425 metros, que ha experimentado un acelerado retroceso glaciar desde 1955. Este estudio utiliza teledetección y tecnologías como ArcGIS para analizar este retroceso y evaluar la salud del glaciar mediante la Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA).

Se compararon cartografías del nevado para los años 1955, 1986, 2007, 2010, 2013 y 2018, y se determinó la extensión glaciar en 2022 utilizando imágenes satelitales de SENTINEL-2 y ArcGIS. Los resultados mostraron una rápida deglaciación impulsada por el cambio climático. Para calcular la ELA, se emplearon las metodologías de Relación de Equilibrio de Área-Altitud (AABR) y Relación de Área de Acumulación (AAR), encontrando que el glaciar se encuentra en un período de deglaciación acelerada.

Se creó un visor 2D y 3D para visualizar el retroceso glaciar y el avance de la ELA a lo largo de los años. Basado en cartografía y visitas de campo realizadas en julio de 2022, se propone una solución para mitigar el deshielo: la instalación de qochas (reservorios de agua) para aumentar el albedo del glaciar y apoyar los bofedales circundantes. Esta estrategia busca reducir la pérdida de agua y garantizar la seguridad hídrica a largo plazo en el Complejo Volcánico Nevado Coropuna.

Aplicación de inteligencia artificial para la identificación automatizada de glaciares cubiertos por detritos

Junior Alexis Perez Dominguez¹, Yadira Curo, Gladis Celmi Henostroza, Alexzander Santiago Martel, Juan de Dios Fernández Vega

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Los glaciares cubiertos por detritos y escombros, ocupan una superficie de 56 km², distribuidos en 18 cordilleras glaciares del Perú, estos glaciares al poseer una capa de recubrimiento, podrían responder más lentamente al cambio climático. Esto los convierte en potenciales reservas de agua; por ello la identificación y delimitación de estos glaciares es esencial para conocer y cuantificar el recurso hídrico. El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo predictivo para identificar glaciares cubiertos, utilizando inteligencia artificial.

El estudio se centró en el sistema glaciar Huascarán - Chopicalqui, en la cordillera Blanca en Ancash, donde se implementaron tres métodos: dos de clasificación supervisada (Máquinas de Vectores de Soporte - SVM y Bosques Aleatorios - RF) y uno de deep learning (Red Neuronal Convolucional-CNN). Para el análisis, se utilizaron imágenes Sentinel-2A del 2020, las cuales fueron evaluadas con los resultados del inventario de glaciares del INAIGEM. Los primeros dos modelos emplearon el Índice de Diferencia Normalizada para Desechos Glaciares (NDGI) y la pendiente. El tercer modelo aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para extraer las características espectrales más relevantes. Los resultados muestran que RF estimó un área de 22,009,200 m², SVM alcanzó 5,936,744 m² y CNN 7,971,562 m², en comparación con el inventario muestran que RF sobreestimó un 386%, SVM un 31% y CNN un 76%. La utilización de modelos predictivos en la identificación de glaciares cubiertos, contribuirá a planificar el uso del recurso hídrico disponible y su conservación en el Perú.

Áreas fuente de carbono negro mediante el modelo de trayectoria ponderada de concentración aplicado en el nevado del Huaytapallana (Perú)

Mariori Angie Inga Caja¹, Daniel Martín Álvarez-Tolentino, Christian Torres Ramos

¹Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa

Los glaciares andinos, principales suministros de agua en la región, se están derritiendo a un ritmo acelerado debido a muchos factores, entre ellos, la acumulación de partículas de carbono negro (CN). Pese a la gravedad, aún existe un conocimiento limitado sobre las principales regiones fuentes de CN. Por lo tanto, en este estudio se determinaron las regiones fuente de CN mediante el modelo de Trayectoria Ponderada de Concentración (CWT) llevado a cabo en el nevado Huaytapallana durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, periodo seco del 2023 donde se registraron altas concentraciones de CN. Las concentraciones de CN fueron monitoreadas utilizando el sensor Etalómetro instalado en el Observatorio Huaytapallana (11.938°S, 75.069°W, y 4709 m.s.n.m.), sitio que forma parte del CEMGEN, del INAIGEM. Para analizar la influencia de las regiones fuentes de CN se aplicó el modelo CWT, asimismo, se realizó el análisis de retrotrayectorias empleando el modelo HYSPLIT de la NOAA con base de datos Reanalysis a 72h inversas a intervalos de 6 horas a 1000 m de altura. Los resultados del análisis de retrotrayectorias revelan que las concentraciones de CN mayormente provienen de la zona este de la cordillera con 26%; asimismo, el modelo CWT arrojó que la región fuente de CN con mayor importancia fue el noroeste de la región San Martín y el suroeste de Loreto. Por otro lado, mediante el algoritmo de Sandradewi se determinó que las áreas centro y este del Perú son puntos de origen del CN proveniente de fuentes puntuales antropogénicas (CNff) y, la región Ucayali y la Amazonia brasileña son áreas de origen más importantes de CN provenientes de quema de biomasa (CNbb). Los resultados muestran coincidencias razonables con otros estudios realizados. Se valora la importancia de ampliar una red de vigilancia de CN en la Amazonia y la gestión de las quemadas.

Estimación de las fluctuaciones futuras de las Altitudes de la Línea de Equilibrio Climático en los glaciares de la Cordillera Vilcanota (Andes centrales húmedos, Perú)

Aracely Dayana Machaca Condori¹, Renny Daniel Diaz Aguilar, Efrain Lujano Laura, Victor Samuel Bustinza Urviola, Martí Bonshoms Calvelo

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Los glaciares tropicales son esenciales para la seguridad hídrica y la generación de energía en la cordillera Vilcanota, la segunda más extensa en glaciares tropicales en Perú. Este estudio tiene como objetivo predecir las futuras variaciones en la Altitud de la Línea de Equilibrio Climático (ELAc) en los glaciares tropicales de la cordillera Vilcanota, Perú. Se investigaron cinco áreas específicas: Ausangate, Quelccaya, Suyuparina, Japu Punta y Osjollo Anante, identificadas como especialmente sensibles al cambio climático. Se analizó la relación entre el estado de los glaciares y las condiciones climáticas durante el período de referencia. Se evaluaron las Líneas de Equilibrio Glaciar Climático (ELAc) utilizando datos climáticos de alta resolución de WorldClim 2.1, validados con datos de estaciones meteorológicas del SENAMHI para el periodo 1970-2000. Los resultados indicaron una correlación significativa ($CC = 0.91$, $RMSE = 1.2$ °C, $PBIAS = -30\%$) entre las temperaturas medias y la variabilidad espacial de la ELAc en los glaciares estudiados. Se proyectaron escenarios futuros (2021-2040, 2041-2060, 2081-2100) utilizando siete modelos climáticos globales (GCM) del CMIP6 bajo diferentes escenarios socioeconómicos (ssp1-2.6, ssp3-7.0, ssp5-8.5). Los resultados sugieren que, hacia mediados de la década de 2050, la ELAc superará la cumbre de los glaciares Quelccaya y Suyuparina, destacando la vulnerabilidad de estos recursos frente al cambio climático.

Evaluación de la exactitud de modelos de elevación digital (DEM) para el estudio de cuencas glaciares en un contexto de cambio global

Carlos Edwin Obispo Padilla¹, Alexzander Santiago Martel, Yadira Curo, Gladis Celmi Henostroza, Mayra Doris Mejía

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

En el campo de la geomática, los modelos de elevación digital (DEMs) son insumos necesarios para el desarrollo de estudios en entornos cambiantes como las cuencas glaciares. Los resultados relacionados a la caracterización de glaciares, la evaluación de cambios de la topografía superficial en el análisis del retroceso glaciar y la implementación de modelos numéricos para estimar volúmenes de masa glaciar que permitan conocer la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales en una cuenca y proponer alternativas que logren afianzar la seguridad hídrica futuro; todo ello será generado a partir de la información topográfica obtenida de DEMs que se aproximen más a la realidad, permitiendo reducir los márgenes de error e incertidumbre respecto a los valores espaciales de posicionamiento y precisión vertical.

El objetivo del trabajo es analizar los DEMs de acceso libre respecto a los reconstruidos a partir de imágenes radar Sentinel-1 en el ámbito de la cordillera Huayhuash, evaluando la precisión gráfica y la altura ortométrica, sustentada mediante imágenes satelitales Sentinel-2 y 135 puntos de control registrados en campo mediante GPS diferencial y fuentes secundarias. Los resultados preliminares indican que los DEMs de mayor ajuste gráfico y estadístico son el Jaxa (RMSE:68.03, SD:62.71, CV:2.33), Landviewer (RMSE:71.07, SD:62.62, CV:1.84) y Alos Palsar (RMSE:72.16, SD:62.84, CV:1.75) de 30.0, 4.7 y 12.5 metros de resolución espacial, respectivamente; en comparación al DEM generado por InSAR que presentó menor ajuste estadístico (RMSE:634.78, SD:615.26, CV:1.87).

Modelado y proyecciones del balance de energía superficial y masa en la Cordillera Blanca, Perú (1981-2100)

Botetano Bastidas Gianella Mercedes¹, Figueroa Curo Andres Fernando.

¹Universidad Nacional Agraria La Molina

Los glaciares tropicales, altamente sensibles a las variaciones climáticas, son indicadores clave del calentamiento global. La Cordillera Blanca, con la mayor concentración de glaciares tropicales del mundo, enfrenta un rápido retroceso que afecta gravemente los ecosistemas altoandinos peruanos. Este estudio utiliza el modelo físico COSIPY para evaluar el balance de energía y masa (1981-2022), enfocándose en las estaciones húmedas y secas. Se cuantifican las contribuciones de variables climáticas al balance de masa superficial (BMS) mediante Explicaciones Aditivas de Shapley (SHAP) y se analizan tendencias globales. Además, se evalúa la variabilidad diurna del BMS y se investigan interacciones no lineales entre factores climáticos-BMS mediante mapeo cruzado convergente. Los resultados revelan que la precipitación contribuye entre el 40.5-52% al BMS, mientras que los flujos de calor entrante explican del 35.3% al 47.1%. Un 10.4-14.4% se atribuye a la humedad relativa, presión, temperatura y vientos. Entre el 97.9- 99.8% de la desglaciación ocurre durante el día, con pérdidas del BMS en la zona norte del 54.89% (temporada húmeda) y del 57.15% (seca) durante las horas pico (11:00-15:00). Se observan tendencias decrecientes en el BMS, con tasas de pérdida de hasta -0.023 m w.e./año, especialmente en la zona sur. La reducción del albedo y de la recongelación incrementa la ablación, especialmente en la temporada húmeda. Este estudio ofrece nuevos conocimientos sobre la dinámica del balance de masa superficial en los glaciares tropicales de alta montaña.

Modelamiento geoespacial multicriterio para la identificación de áreas con peligro a movimientos en masa en la cuenca alta del río Chicama

Albert Luis Flores Mendoza

Autoridad Nacional de Infraestructura

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad la creación de un modelo digital que permitiera mapear zonas con peligro a movimientos en masa en la cuenca alta del río Chicama. Esta iniciativa nace como respuesta a la problemática de la cuenca asociada al riesgo de deslizamientos, además, la regulación hídrica constituye otro de los pilares por el cual se ha considerado realizar este proyecto. Para alcanzar tal fin, se desarrolló una metodología que combina el uso de los sistemas de información geográfica y el proceso analítico jerárquico, realizándose el geoprocésamiento de 7 parámetros teniendo como motor fundamental el análisis multicriterio, lo que hizo posible evaluar alternativas considerando la importancia referencial de los factores. El producto obtenido, fue corroborado con el empleo de imágenes satelitales para determinar la eficacia en representación geoespacial del peligro. Los resultados mostraron que la matriz empleada fue consistente; es decir, hay coherencia en las comparaciones y los pesos ponderados son fiables, dado que se obtuvo un valor de 0.0172 en la proporción de consistencia (CR); por otra parte, de los 93 puntos zonales muestreados de manera aleatoria mediante cuadrícula de investigación, 81 lugares lograron una correspondencia adecuada al ser comparada con las imágenes satelitales, lo que resulta en un nivel de confianza del modelo de 87.09%. Finalmente, se puede concluir que el modelo de peligro a movimientos en masa es fiable y puede ser replicado para la realización de futuros proyectos que engloben la gestión de riesgo de desastres en cuencas de montaña.

Registrador autónomo de temperatura y presión para el monitoreo de glaciares

Jean Pol Lujan Leon¹, Susan Coaguila, Luzmila Davila Roller, Percy Lovon Ramos, Yessica Gutierrez Quenta, Robert Alvarado-Lugo, Luis Alberto Torres

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

En el monitoreo de glaciares ya sean cubiertos por sedimentos, rocosos o con presencia de permafrost, es fundamental comprender su dinámica, sus impactos en los ecosistemas y los recursos hídricos. La temperatura del aire, la precipitación y la presión atmosférica son parámetros clave en la dinámica glaciaria, similarmente, la temperatura subsuperficial del glaciar que influye en el drenaje de agua y el volumen de escorrentía, lo que resulta crítico para muchas regiones donde los glaciares cubiertos y/o rocosos son y pueden considerarse en una fuente de agua fresca para millones de personas, principalmente en temporada de estiaje. Además, se podría caracterizar su nivel de ablación, ofreciendo una visión de su sensibilidad al cambio climático. En este contexto, presentamos un registrador de datos alimentado por una batería 18650, con una autonomía superior a un año, ideal para entornos glaciares donde la instalación de infraestructuras es desafiante. El dispositivo, basado en un microcontrolador ESP32, utiliza el sensor DS18B20 para medir temperatura subsuperficial y el sensor BMP280 para presión atmosférica. Las mediciones han sido validadas con instrumentos patrón Vaisala (HMP155 para temperatura y PTB330 para presión), lo que garantiza la precisión de los datos y la calidad del control antes de su implementación. Además, el registrador tiene la capacidad de integración con otros instrumentos como piranómetros, pluviómetros y anemómetros, proporcionando una visión más completa de las condiciones glaciares. Actualmente, un prototipo funcional ha sido implementado en la morrena derecha de la laguna Palcacocha, donde se está evaluando su rendimiento para validar su potencialidad.

Retroceso glaciar y variabilidad climática en las cordilleras glaciares del Perú (1985-2022)

Brandon Fajardo Dioses

Universidad Nacional Agraria La Molina

Este estudio analiza la variación multitemporal de la superficie glaciar en cada una de las 20 cordilleras glaciares del Perú y su posible correlación con las principales variables climáticas (precipitación, temperaturas mínima máxima y promedio) desde 1985 hasta 2022. Para ello se utilizó los mapas de cobertura terrestre y uso de suelo del proyecto MapBiomás Perú y los productos de reanálisis climático de ERA5-Land. Mediante la plataforma Google Earth Engine se agruparon todos los datos geoespaciales de cada cordillera glaciar en un dataframe, y mediante librerías especializadas de Python en la plataforma Google Colab se analizó los cambios en el área glaciar y la elevación promedio de esta para cada cordillera; posteriormente, se correlacionaron estos datos con las principales variables climáticas. Nuestros hallazgos revelan un retroceso significativo en las áreas glaciares para todas las cordilleras, consistente con los patrones globales de pérdida de hielo glaciar debido al cambio climático. Además, la elevación promedio de los glaciares aumentó, reflejando el derretimiento a altitudes más bajas. Los análisis de correlación entre variables glaciológicas y climáticas mostraron relaciones fuertes, particularmente entre la temperatura y el área glaciar; sin embargo, los patrones de precipitación mostraron mayor variabilidad. Estos resultados resaltan la importancia de entender los factores climáticos y geográficos locales para evaluar el impacto del cambio climático en los entornos glaciares del Perú.

Análisis de métodos para la estimación del volumen de agua en lagunas glaciares: Caso laguna Qori Kalis, Quelccaya, Cusco

Luis Enrique Quispe Borda¹, Oscar Vilca, Ricardo Eddson Vila Garrafa

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

Este estudio se centra en la estimación del volumen de agua de la laguna Qori Kalis, en la cordillera Vilcanota, Cusco; mediante la comparación entre relaciones empíricas y datos batimétricos. Para ello, se realizó una exhaustiva recolección de datos utilizando equipos especializados, como ecosonda de alta precisión y RPAS. Se emplearon herramientas analíticas y programas estadísticos, para procesar y analizar la información obtenida. El estudio compara diferentes relaciones empíricas propuestas por diversos autores. La eficacia de estas relaciones se evaluó a través de mediciones y análisis estadísticos. El método que agrupa lagos con morrena (RBDS) mostró una efectividad significativa en comparación con los demás métodos, siendo la relación propuesta por Muñoz la que más se aproximaba para la estimación del volumen de la laguna Qori Kalis. Los resultados revelaron que la relación empírica RBDS, al compararse con los datos batimétricos, presenta un error porcentual de 0,62%. Además, se demostró que las relaciones sugeridas por Muñoz et al. 2020 pueden integrarse de manera efectiva para obtener estimaciones más precisas del volumen de las lagunas glaciares con vasos morrénicos. Este estudio aporta al conocimiento sobre la estimación del volumen de agua que almacenan las lagunas glaciares y ofrece datos útiles para la cuantificación de la reserva hídrica en las montañas del Perú.

Monitoreo y modelación conceptual de Cuencas Hidrológicas Experimentales de Montaña

Nicolas Castro¹, Pedro Rau, Waldo Lavado

¹Universidad de Ingeniería y Tecnología

Las cuencas hidrológicas representativas y experimentales son cruciales para investigar el ciclo hidrológico, estudiar los efectos de cambios naturales y realizar predicciones hidrológicas. Equiparlas con redes de monitoreo asegura la calidad de los estudios, y en los ecosistemas andinos, los sensores hidrológicos son herramientas fundamentales para generar y fortalecer la información. Para una gestión efectiva de los recursos hídricos, es vital diseñar redes de monitoreo hidrométricas confiables y el uso de sensores de bajo costo para medir el nivel de agua es una alternativa eficiente.

Impactos hidrológicos y ecosistémicos de la transferencia de agua entre cuencas en una cabecera de los Andes del sur del Perú

William J. Stansfield, Michael J. Ronayne, Eduardo Oyague, Pablo J. Franco León, **Álex Yaja**¹, David J. Cooper

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Las ciudades y las actividades agrícolas en la vertiente occidental y en la zona costera en regiones como Arequipa, Moquegua y Tacna son dependientes del agua derivada de montañas relativamente húmedas en el Altiplano. Este estudio utilizó modelos numéricos basados en procesos para investigar los efectos de la extracción de recursos hídricos (RRHH) con fines mineros que ocurren desde la década de 1950 en la Pampa Huaytire-Gentilar, parte de la cabecera de cuenca del Río Locumba y que son transferidos hacia las operaciones de Southern Copper en Toquepala y Cuajone. El agua superficial de la microcuenca endorreica de Huaytire es desviada desde la Laguna Suches y el agua subterránea es bombeada desde el acuífero de roca sedimentaria subyacente. Un modelo hidrológico superficial y subterráneo se desarrolló para examinar el impacto del desvío del agua a largo plazo sobre la hidrología local y el uso de agua por la vegetación. Fueron considerados tres escenarios diferentes para reconocer la incertidumbre asociada con la tasa de recarga de agua subterránea en el Altiplano y los potenciales efectos del cambio climático. Los tres escenarios dieron como resultado que el área de estudio habría pasado de ser una cuenca abierta con salida de agua superficial a una cuenca cerrada con un lago endorreico dentro del período de 50 años posteriores al inicio del bombeo. La descarga de agua subterránea al lago, la descarga de agua subterránea a los tramos fluviales, la evapotranspiración y la descarga aguas abajo de la cuenca fueron todos menores al final de una simulación dinámica de 63 años (en ~ 9.5, 50, 18 y 51 %, respectivamente). Esta alteración de la conectividad hidrológica afecta tanto a los ecosistemas dependientes de agua (humedales) ubicados en la Pampa Huaytire que experimentan una gran variabilidad en su vigor entre distintos años como a las condiciones de calidad de aguas en el Río Callazas.

Riesgos de seguridad hídrica en la Cordillera Blanca: retroceso glaciar y deterioro de la calidad del agua

Fabian Drenkhan¹, Sofía Castro Salvador, Martín Leyva Molina, Christian Fernández Molina, Leisel Figueres Lara, Eyvind Herrera More

¹Pontificia Universidad Católica del Perú

El retroceso glaciar en los Andes del Perú está generando una serie de impactos que afectan a la seguridad hídrica de los sistemas socio-ecológicos. Las investigaciones desarrolladas en cuencas en proceso de desglaciación se han centrado mayormente en estudiar los cambios en la disponibilidad de agua, pero se sabe poco sobre los impactos en la calidad del agua. El derretimiento glaciar expone a las rocas lo que facilita la meteorización y el proceso de oxidación y liberación de aguas ácidas y elementos tóxicos en algunas cuencas específicas. En este estudio de caso, se exploran los principales riesgos para la seguridad hídrica frente al deterioro de la calidad del agua provocado por el retroceso glaciar y el drenaje ácido de roca en la cuenca del río Negro-Olleros (Cordillera Blanca). Para ello, se ha desarrollado un estudio integrado que incluye el recojo de datos sobre la calidad de agua del río (pH, conductividad eléctrica y temperatura), y el análisis y la colaboración de actores en la comunidad de Cordillera Blanca (Olleros). Tal esfuerzo permite comprender la gobernanza del agua en una cuenca crecientemente impactada por el cambio climático y los factores socio-económicos adversos. Esta línea de base de conocimiento coproducida demuestra la urgencia de implementar medidas de adaptación eficaces y robustas. Ello requiere un proceso participativo de planificación y toma de decisiones para una gestión integrada de recursos hídricos a fin de garantizar la seguridad hídrica frente a los crecientes riesgos hidrológicos en cuencas en desglaciación y con cambios socio-económicos sustanciales.

Estado de conservación del hábitat fluvial y calidad de aguas en relación con la geomorfología, el uso del territorio y la variabilidad climática en una cuenca de Puna húmeda y Yungas en los Andes centrales

Pamela Meza, Jhanmarcos Quispe, **Rodolfo Doria**¹, Eduardo Oyague, Daniel Álvarez, Julio Rivera

¹Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa

Los ríos de la vertiente oriental de los Andes representan una fuente importante de recursos hídricos y sólidos transportados hacia la cuenca amazónica. La cantidad y calidad del agua que transportan depende, entre otros, del estado de conservación la cobertura natural que contribuye con la infiltración y la descarga de estiaje y controla la erosión. En este estudio, evaluamos cómo cambios en la cobertura vegetal y la variabilidad climática han afectado la calidad ambiental en los ríos de la cuenca del Chanchamayo (675 - 5217 m s.n.m.), los cuales fueron previamente clasificados en seis categorías geomorfológicas. Se registraron parámetros fisicoquímicos y biológicos en ocho campañas realizadas entre 2008 y 2020, y en seis campañas bimestrales entre 2022 y 2023. Mediante modelos lineales mixtos se analizó la influencia de los factores geomorfológicos (factor fijo), climáticos y de cambio en el uso del territorio (variables aleatorias) sobre las respuestas químicas y biológicas en el río. Los análisis revelaron una tendencia constante y significativa (p -valores entre 0.025 y 0.042) en el incremento de ciertos parámetros fisicoquímicos relacionados con los cambios en la cobertura vegetal como los sólidos disueltos, la conductividad y el fósforo. Se encontró que la geomorfología ejerce la mayor influencia en las respuestas químicas (p valor = 0.027) y biológicas (p valor = 0.00012) seguida por los cambios en la cobertura del territorio (p valores de 0.0016 y 0.036 respectivamente). Los factores geomorfológicos son inherentes a la cuenca, derivan de la interacción entre su posición geográfica, la geología estructural y la climatología del lugar, por tanto, constituyen variables estacionarias (al menos en escalas de tiempo de la vida humana). En consecuencia, los esfuerzos de conservación que buscan mantener los servicios ecosistémicos hidrológicos en esta región de montañas deben concentrarse en los factores relacionados con el cambio de la cobertura natural en la Puna húmeda y las Yungas de los Andes Centrales, que son aquellos que generan los cambios a corto y mediano plazo.

Análisis de la calidad ambiental del humedal de importancia internacional Laguna del Indio - Dique Los Españoles, mediante imágenes espectrales y datos de campo.

Horacio Zeballos Patrón, Christian Javier Málaga Espinoza¹, Diego Benny Gonzales Barrios, Angeline Caprice Riera Perez, Daniela Isabel Ramos Choquegonza, Sebastian Tapia Manchego

¹Universidad Católica de Santa María

El humedal Laguna del Indio - Dique Los Españoles, ubicado en un ecosistema de montaña a 4450 msnm, es un sitio RAMSAR de gran importancia para la conservación de aves. A si mismo juega un papel en la seguridad hídrica de la ciudad de Arequipa, siendo una las principales represas que abastecen agua a la ciudad.

El proyecto, aún en desarrollo, tiene como objetivo evaluar el estado de la calidad ambiental del humedal mediante imágenes espectrales y monitoreo remoto. El área de análisis ha sido el embalse Dique de Los Españoles, donde se realizó una caracterización limnológica preliminar para establecer puntos de monitoreo. Los resultados iniciales de las mediciones de clorofila-a en los seis puntos muestreados indican una concentración promedio de 5.79 µg/L en la zona lacustre, 17.73 µg/L en la zona intermedia, y 25.98 µg/L en la zona fluvial. Estas variaciones significativas sugieren una heterogeneidad en la distribución de algas dentro del embalse. Los próximos pasos incluyen ampliar la recolección de datos limnológicos y espectrales, realizar un análisis fitoplanctónico y la integración de datos satelitales de mayor resolución para mejorar el monitoreo continuo de la calidad del agua.

Los resultados aunque preliminares permiten establecer los primeros pasos de un futuro sistema de alerta temprana ante floraciones algales basado en sensores remotos, lo que a largo plazo podría reducir los costos de monitoreo y mejorar el tiempo de respuesta y gestión de las autoridades competentes evitando episodios que afecten la calidad del agua de distribución para consumo humano.

Desafíos de la adaptación a riesgos climáticos en comunidades alto andinas: Estudio de caso en las cuencas del Río Santa y Salkantay

Hagen, I, Schnyder, S, Yanac León, I¹, Juhola, S, Muñoz, R, Veruska Muccione, C. Huggel

¹Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle

Los pobladores de las comunidades altoandinas de las cuencas del Alto Río Santa y Salkantay están siendo afectados por una multitud de riesgos relacionados con el clima, y los desafíos en la actualidad es cómo afrontar los cambios bruscos, respecto a la disponibilidad del agua, patrones de precipitación, retroceso de los glaciares, incremento de enfermedades y plagas, cultivos y la protección de los medios de vida. Para ello, hay iniciativas de ciertas medidas de adaptación que podría permitir mitigar en cierto modo los graves efectos del cambio climático, no obstante, las posibilidades para las comunidades tienen una compleja interacción entre los factores culturales, socioeconómicos, políticos, técnicos e institucionales. Los límites se derivan de problemas en el sistema de gobernanza (financiación, normas legales, rotación de funcionarios, burocracia y recursos), límites socioculturales (desigualdades, pobreza, conflictos y creencias), técnicos (métodos, equipos y acceso), de conocimiento (lagunas en la investigación, incertidumbres, sistemas de conocimiento no reconocidos) y biofísicos (desglaciación, cambios en las precipitaciones, acidificación de las fuentes de agua, aluviones y huaycos).

En el estudio utilizamos un marco conceptual desarrollado por Juhola et al. (2024) e identificamos las barreras de la adaptación mediante la investigación del estado actual y la interacción de las amenazas climáticas, las funciones de los ecosistemas, el sistema de gobernanza y las necesidades básicas y el bienestar de los actores en las dos regiones. Los datos se recopilaron mediante 50 entrevistas semiestructuradas con residentes y profesionales. Se realizó un análisis de contenido con Atlas.ti. En conclusión, este estudio contribuye a identificar y analizar concretamente los límites de la adaptación sobre el terreno, una laguna importante en este campo de investigación.

Evaluación y corrección de los tipos de precipitación sólida registrada por el disdrómetro PARSIVEL2 en ecosistema de alta montaña tropical

María A. Pérez¹, Jairo M. Valdivia, Iralmy Y.P, Yamina Silva-Vidal

¹Instituto Geofísico del Perú

En las regiones de alta montaña tropical de Perú, los tipos de precipitación han sido poco estudiados debido a la falta de observaciones detalladas y de instrumentos robustos. Comprender la dinámica de estas precipitaciones es fundamental para la hidrología. Este estudio analiza los tipos de precipitación utilizando un disdrómetro óptico PARSIVEL2 instalado a 4,709 metros en el glaciar Huaytapallana, un ecosistema clave para el suministro de agua. Se identificaron siete tipos de precipitación; llovizna con lluvia (30.57%), nieve (26.15%), granizo blando (20.21%), lluvia (12.46%), llovizna (8.39%), lluvia llovizna con nieve (2.05%) y granizo (0.16%) en 116 eventos de precipitación entre noviembre del 2022 y noviembre del 2023. Durante los eventos sólidos el valor de la precipitación se duplicó en comparación al registro del pluviómetro de peso Pluvio2. Esta sobreestimación se debe al método que emplea el PARSIVEL2 para clasificar los tipos de precipitación. Por ello, se aplicó curvas empíricas que relacionan diámetro y velocidad de caída de las partículas para reclasificar los tipos de precipitación. Como resultado, se redujo el error cuadrático medio de 5.6 a 2.6 mm en estos eventos, así mismo, los valores de precipitación iniciales y corregidos mostraron una correlación del 92%, evidenciando la efectividad del método en comparación con el algoritmo interno del instrumento. Este ajuste mejora la precisión para cuantificar la precipitación, crucial para la planificación hídrica. Para futuras investigaciones, se recomienda validar y perfeccionar el método, especialmente en la identificación y medición de nuevos tipos de precipitación como la nieve húmeda y el graupel.

Patrones estacionales de flujo de savia en un parche de *Polylepis rugulosa* en la vertiente occidental de los Andes de la Región Tacna

Syntia Noemi Huisa Maquera¹, Eduardo Oyague, Pablo Franco, Josue Pumasupa, David J. Cooper

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Los bosques de *Polylepis* contribuirían con la seguridad hídrica debido al potencial incremento de infiltración que promueven en su rango de distribución. Sin embargo, su uso del agua podría limitar su carácter contributivo en el balance hídrico. En la Región Tacna, existen 2 grandes extensiones de *Polylepis* separadas por la cordillera del Barroso, *Polylepis rugulosa* en la vertiente occidental entre 3700 y 4300 msnm y *Polylepis tarapacana* en la vertiente oriental entre 4300 y 5000 msnm. El objetivo de este estudio fue conocer los patrones estacionales del uso del agua de *P. rugulosa*, mediante la instalación de sensores de flujo de savia en 15 árboles estratificados de acuerdo a la posición topográfica Sureste (SE), Noroeste (NO) y Llanura aluvial (LL). Los resultados mostraron que el flujo de savia (L/temporada) es mayor en la época seca (NO = 768.47, LL= 860.58, SE= 336.08), que en la época húmeda (NO = 383.92, LL= 504.72, SE= 202.94). Los factores climáticos significativamente correlacionados con el flujo de savia fueron la radiación solar (RAD), temperatura (T) y déficit de presión de vapor (DPV). Durante la época seca las plantas presentan una mayor actividad fotosintética a causa de la alta radiación diurna ($r = 0.96$, $p < 0.001$) junto con una mayor transpiración generada por la alta temperatura ($r = 0.90$, $p < 0.001$) y el elevado déficit de presión de vapor ($r = 0.83$, $p < 0.001$). Por el contrario, durante la época húmeda, debido a la ocurrencia de lluvias, el flujo de savia disminuye en relación directa con la más alta humedad relativa ($r = -0.63$, $p < 0.001$). En conclusión, *Polylepis rugulosa* muestra una tendencia a consumir más agua durante la época seca que en época húmeda donde la cara NO presenta una gran diferencia en el consumo de agua estacional. Dado que la recarga hídrica por precipitación es de ~300 mm/año, fomentar su reforestación en un ecosistema semiárido como el de Tacna con el objetivo de potenciar el incremento de infiltración, puede resultar insostenible para el ecosistema a largo plazo.

Recuperación de pastizales andinos ante la ocurrencia de incendios forestales en comunidades del Cusco

Ricardo Zubieta¹, Melida Roman, Yerson Jaime Ccanchi Espinoza, Alejandra Martinez, Ysai Paucar, Sigrid Álvarez, Julio Loayza, Filomeno Ayala

¹Instituto Geofísico del Perú

Los suelos son un valioso recurso renovable en escalas de tiempo humanas e interactúan con ecosistemas de pastizales distintivos caracterizados por una biodiversidad única y la provisión esencial de servicios ecosistémicos, como el suministro de agua y el secuestro de carbono.

Sin embargo, el conocimiento de los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes en los Andes sigue siendo limitado. Los pastizales andinos son actualmente uno de los ecosistemas de los Andes peruanos más afectados por los incendios forestales. El objetivo del estudio fue analizar el efecto de la actividad del fuego sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y analizar su contexto social en Cusco, en los Andes del sur del Perú. Para caracterizar los cambios en las propiedades del suelo y monitorear la recuperación de la vegetación después del incendio en dos comunidades locales dedicadas a actividades ganaderas. Se recolectaron muestras de suelo durante cinco períodos, que abarcan tanto la estación seca y lluviosa. La vegetación restaurada después del incendio forestal se midió mediante el método del "transecto escalonado". Los cambios en las propiedades del suelo posteriores al incendio indican ligeros aumentos en el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio durante el inicio de la temporada de lluvias; posteriormente se observó una reducción gradual de estos valores. Esta reducción se puede atribuir a la lixiviación asociada al régimen estacional de lluvias y escorrentía. Nuestros hallazgos indican que un año después del incendio, la biomasa en las áreas quemadas se reduce al 30-46% de la biomasa con respecto a áreas no quemadas. Es probable que se produzca una regeneración completa en hasta 4 años posteriores al incendio. Esta afirmación es respaldada por la opinión de la población afectada, expresada en entrevistas realizadas en las dos comunidades agrícolas. Ante la disminución de la cobertura vegetal durante varios años, esto sugiere también una limitada capacidad de retención de humedad en el suelo. La problemática se agrava debido a que en las últimas dos décadas la ocurrencia de incendios forestales se viene incrementando, lo que afectaría a largo plazo la seguridad hídrica de las cuencas andinas.

Reproducción del Pinzón Glaciar en los glaciares tropicales y perspectivas de su supervivencia frente al retroceso del glaciar Quelccaya

Carlos Alberto Lazo Oscanoa¹, Renny Daniel Díaz Aguilar

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM

El Pinzón Glaciar (*Idiopsar speculifer*) es la única ave conocida que anida exclusivamente sobre el hielo de los glaciares tropicales, un comportamiento único documentado por primera vez en 2008. Esta dependencia extrema de los glaciares hace que su supervivencia esté directamente relacionada con la preservación de estos entornos. En esta investigación, centrada en el Glaciar Quelccaya, al sur de Cusco, se estudian las condiciones microclimáticas que rodean la reproducción del Pinzón Glaciar. Para ello, se monitoreó un nido activo mediante sensores de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, además de utilizar una cámara trampa. También se analizaron las condiciones climáticas en áreas periglaciares y bofedales cercanos, para comprender la preferencia de esta especie por anidar en el hielo. Asimismo, se comparó la distribución actual de los nidos con registros históricos para evaluar el impacto del retroceso del glaciar. Los resultados preliminares sugieren que las condiciones microclimáticas de los nidos en el hielo son más estables que las del entorno externo, con temperaturas más moderadas cercanas a los 0°C. Además, se observará que el acelerado retroceso del glaciar ha provocado un desplazamiento significativo en la ubicación de los nidos a lo largo del tiempo. Esto plantea una grave amenaza para la supervivencia de la especie, ya que la pérdida de su hábitat de reproducción podría comprometer su futuro.

Amenaza en Bosques Andinos: Hongos Patógenos Potenciales Emergentes en *Polylepis*

Mary Childress, Colter Lemons, Tito Ramos Carrasco, Jorge Díaz Valderrama, Alisha Quandt, Josue Pumasupa, **Yarina Flores**¹

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Los bosques de *Polylepis* brindan servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación de la escorrentía, la infiltración y la captación de agua, contribuyendo de manera significativa a la seguridad hídrica en los ecosistemas de montaña. Sin embargo, estos bosques están cada vez más amenazados y se han vuelto susceptibles a patógenos fúngicos emergentes. *Paraleptosphaeria polylepidis* ha sido identificada como la causa probable de la disminución de *Polylepis* en dos parques nacionales de Bolivia, y no se ha documentado en ningún otro lugar. Este estudio es el primero en reportar y describir nuevas especies de *Paraleptosphaeria* y *Plenodomus* en el Parque Nacional Huascarán, Perú, afectando a *Polylepis albicans* y *weberbaueri*. La abundancia de este patógeno fúngico se ha duplicado en 60 parcelas establecidas en junio de 2019 y revisadas en diciembre de 2023 y enero de 2024. La expansión de este hongo podría alterar los procesos hidrológicos clave de los bosques, afectando su capacidad para regular los flujos de agua superficial y subterránea, y poner en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el agua. La presencia de hongos se ha asociado con factores ambientales como las laderas orientadas al norte, elevaciones más bajas y la perturbación humana. A medida que se investigan los factores ambientales y el cambio climático que impulsan la presencia de *Paraleptosphaeria*, este estudio contribuirá a una mejor comprensión de cómo este patógeno puede impactar los procesos ecológicos e hidrológicos que sostienen la seguridad hídrica en los ecosistemas de montaña.

Stock y captura de carbono en bofedales de dos regiones diferentes de los Andes peruanos

Idania Baldoce, Tonantzin Valdez¹, Carmela Landeo, Pablo Franco, Eduardo Oyague, David J. Cooper

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Los bofedales andinos son, mayormente, turberas minerotróficas que forman suelos orgánicos compuestos por sus propios restos en lenta descomposición. La formación de biomasa (productividad primaria bruta -PPB) es mayor que la pérdida por la respiración del ecosistema (RE), con una productividad neta del ecosistema (PNE) positiva en largo plazo. Los suelos turbosos representan un reservorio importante de carbono, especialmente en regiones frías donde la vegetación por encima del nivel del suelo está dominada por especies herbáceas y arbustivas que cuentan con menor biomasa. Además de su función como sumideros de carbono, los bofedales desempeñan un papel crítico en la regulación hídrica, actuando como almacenes de agua durante las estaciones lluviosas y liberando paulatinamente en épocas secas, asegurando un flujo constante de agua hacia los ríos y acuíferos que sustenta los ecosistemas y las comunidades locales. En este trabajo presentamos los resultados de dos estudios que evalúan el stock y la dinámica de carbono en regiones contrastantes: la Puna de los Andes Centrales en la Región Lima (Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, RPNYC) y la Puna Seca en la Región Tacna (cuenca alta del Río Callazas y Área de Conservación Regional Vilacota Maure, TAC). El contenido de carbono orgánico estimado en los bofedales de la RPNYC alcanzaría 398.08 T/ha (+/- 86.4) en tanto que en TAC se encontraría alrededor de 224 T/ha (+/- 73.2). Los valores de captura de carbono (PNE) estuvieron entre 0.13 y 0.42 g.m⁻².dia⁻¹ en RPNYC y entre 0.08 y 0.23 g.m⁻².dia⁻¹ en TAC. Las diferencias observadas entre RPNYC y TAC se deberían a dos factores principales: (i) la climatología de cada una de estas regiones, que determina la hidrología y la composición vegetal del ecosistema, y (ii) la geomorfología local que determina la profundidad y amplitud de los valles glaciares donde se desarrollan la mayor parte de estos bofedales.

SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

EDICIÓN BICENTENARIO
HUARAZ
23 AL 26 OCTUBRE 2024

