

SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

MOQUEGUA
2023
8 al 10
Noviembre

LIBRO DE RESÚMENES

WWW.SIMPOSIO.INAIGEM.GOB.PE



SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

MO
QUE
GUA
2023

8 al 10
Noviembre

TEMA 1

Dinámica de Glaciar
en un contexto de
cambio climático

Spatiotemporal analysis of glacial retreat at the Coropuna and Solimana volcanoes in Peru, using NDWI calculation between 1986 - 2022

Antonio Liendo, Fabrizio Alexander Viera Castañeda, María Fernanda Villena Cortegana, Daniela Kristel Bolívar Fernández, Andrea Jazlynn Rodríguez Paredes

En las últimas décadas la deglaciación de los nevados tropicales representa una reducción del almacenamiento hídrico para poblaciones, actividades económicas y ecosistemas que dependen de sus aguas, especialmente en zonas áridas como las vertientes de la cordillera del Ampato en el departamento de Arequipa, en los Andes Surperuanos, siendo necesario determinar los factores que lo impulsan, como su relación con el calentamiento global y otros eventos climatológicos relevantes. En ese sentido el objetivo de la investigación fue determinar la relación entre la pérdida de área glaciar en los estratovolcanes Coropuna y Solimana con la variación de temperaturas y precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas más próximas durante el periodo 1986 a 2022. Para ello, se determinó la superficie de los glaciares con imágenes multiespectrales Landsat de cada año, mediante el cálculo del índice diferencial normalizado de agua en el software QGIS, para ser correlacionada con los principales elementos del clima de la zona. Como resultados del análisis, se determinó una reducción de área glaciar de 64%, presentando una correlación más fuerte con el incremento de la temperatura máxima, en comparación con relaciones más débiles frente a una temperatura mínima estable y precipitaciones fuertemente fluctuantes con una ligera tendencia incremental. Se concluye que existe una marcada tendencia de pérdida de masa glaciar, reduciendo al nevado Coropuna a menos de la mitad de la máxima extensión que presentó en 1989, siendo más acentuada en el Nevado Solimana que mantiene apenas un 4% del área que tuvo ese mismo año. Asimismo, en el periodo previo o inicial de un evento El Niño-Oscilación del Sur de fuerte intensidad se presenta una recuperación temporal del área glaciar, pero es seguido de un periodo con fuerte pérdida de masa glaciar por incremento de temperaturas y precipitaciones líquidas durante la etapa de mayor intensidad del evento.

Carbono negro atmosférico y su impacto en la dinámica glaciar tropical de los Andes

Elver Villalobos Puma, Luis Suarez Salas

Las montañas de los Andes tropicales son un refugio de los contaminantes atmosféricos que se emiten en las zonas bajas asociado a las emisiones de fuentes naturales y antropogénicas (industrias, agricultura). Estos contaminantes atmosféricos se conocen como Partículas Absorbentes de Luz (PAL), siendo el carbono negro (CN) el componente principal. Al depositarse sobre la superficie glaciar, gatilla la disminución del albedo y aumenta la absorción de la luz solar, acelerando la fusión de la nieve y el hielo. Igualmente, impacta sobre las propiedades óptica, microfísica y crioscópica del glaciar, así como con la formación de crioconitas causando una pérdida significativa focalizada de la masa glaciar.

A fines del 2022, el INAIGEM implementó un centro de monitoreo cerca al nevado Huaytapallana donde se desarrollan estudios sobre los niveles de concentraciones de PAL, y determinar su impacto sobre el glaciar. Actualmente, se viene desarrollando el proyecto carbono negro que busca entender la dinámica del CN y su impacto al glaciar. Igualmente, se están identificando sectores potenciales de fuentes de emisiones de PAL utilizando los modelos meteorológicos WRF y HYSPLIT que permiten caracterizar el transporte y la dispersión de las masas de aire contaminada a partir del análisis de campos meteorológicos y las retro-trayectorias de las parcelas de aires. Los primeros resultados en el periodo 2022-2023 evidencian que la cordillera glaciar de Huaytapallana recibe concentraciones significativas de CN atmosférico y su magnitud es controlada según el ciclo diurno y por la topografía. Altas concentraciones de CN está asociada al sistema de vientos de valle-montaña que dispersan el aire contaminado desde el valle Mantaro, mientras que, bajas concentraciones de CN está asociada a las circulaciones del este y canalizado por las quebradas desde la región de transición Andes-Amazonia.

Teledetección para el análisis de la variación espacio-temporal de la dinámica glaciar y su relación con los cambios en los humedales altoandinos, cordillera Blanca, Perú

Francisco Castillo-Vergara, Sofia Rodriguez-Venturo, Edwin Loarte, Katy Medina, Edy León-Chávez, Eladio Tuya

Diversas investigaciones se han centrado en determinar el impacto del retroceso glaciar sobre la escorrentía superficial, sin embargo, pocos estudios se han centrado en conocer la relación del retroceso glaciar con la dinámica de otros componentes, como es el caso de los humedales altoandinos. Al estar interconectados hidrológicamente con la escorrentía glaciar, estos elementos están propensos a cambios en tiempo y espacio en función del retroceso glaciar. Esta investigación buscó analizar los cambios en la dinámica glaciar y su relación con las variaciones del área de los humedales altoandinos en las unidades hidrográficas Quillcay y Yanayacu en la cordillera Blanca. Para ello, se realizó un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat en el periodo 1989-2019, para correlacionar estadísticamente los elementos de estudio. Los resultados indicaron que los glaciares de estudio perdieron entre el ~22-63% de su área y volumen, y los humedales aumentaron su área entre ~44-289% en el mismo periodo; asimismo, se encontró que estos parámetros de la dinámica glaciar presentaban una correlación inversa y estadísticamente significativa con los cambios en los humedales, con un valor r entre ~0.64-0.69 ($p < 0.05$). La investigación resalta la interconectividad de los elementos de estudio, donde, el retroceso glaciar (asociado al aumento de la escorrentía) actúa como una fuerza espacial impulsora para el aumento de las áreas de humedales permanentes, dado que los glaciares se convierten en la principal fuente de agua superficial en época seca en las zonas altoandinas.

Evaluación del Impacto del Cambio Climático en el Retroceso del Glaciar Pastoruri en la Cordillera Blanca de Perú

Aldair Alexander Timana Del Rosario, Anner Ramon Rojas Chapilliquen, Lesly Marilyn Campoverde Santivañez

El Glaciar Pastoruri, situado en la Cordillera Blanca de Perú, ha experimentado un retroceso del 77% de su área desde 1962 debido al cambio climático. El aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones han impulsado esta transformación. La pérdida de Pastoruri tiene amplias implicaciones, ya que provee agua para riego, consumo humano y energía hidroeléctrica, además de ser un atractivo turístico vital para las comunidades locales.

El estudio se propuso evaluar el impacto del cambio climático en el retroceso del Glaciar Pastoruri, utilizando imágenes satelitales para analizar su área entre 1962 y 2023. Contextualizado en la creciente evidencia científica global de retroceso glaciar vinculado al aumento de las temperaturas, el Pastoruri representa un caso emblemático de la crisis que enfrentan los glaciares andinos debido a su ubicación geográfica y su significado ambiental y social.

La investigación se justifica por la necesidad de comprender cómo el cambio climático afecta específicamente a los glaciares de montaña en los Andes peruanos. Este estudio busca proporcionar información crucial sobre la tasa de retroceso del Glaciar Pastoruri y los factores climáticos y geomorfológicos que lo impulsan. A través de este análisis, se contribuye al conocimiento científico, con la intención de informar estrategias de adaptación y mitigación en las comunidades afectadas.

En resumen, este estudio profundiza en el entendimiento de cómo el cambio climático ha influido en el retroceso del Glaciar Pastoruri en la Cordillera Blanca de Perú. Al utilizar datos satelitales para analizar las transformaciones entre 1962 y 2023, se aporta al conocimiento de cómo los factores climáticos impactan en los glaciares de montaña en el contexto de los Andes peruanos, con el propósito de guiar acciones para enfrentar los desafíos socioambientales resultantes.

Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por la contaminación de metales en agua superficial de la subcuenca del río Negro, Áncash

Walter Angelo Bravo Zevallos, Yadira Fernández Jerí, Juan Carlos Torres Lázaro, Karol Zúñiga Bardales

La contaminación del agua superficial por metales debido a la generación de drenajes ácidos de roca (DAR) en entorno glaciar y periglaciar, como consecuencia de la desglaciación por el cambio climático es una preocupación en Áncash, Perú, debido a la amenaza potencial a la salud humana y al ecosistema. Por ello, se evaluaron los índices de riesgo para la salud humana por la contaminación de metales (Fe, Li, Al, Co, Mn, Ni y Zn) en 19 puntos de muestreo de agua superficial distribuidos en la subcuenca del río Negro. Los análisis hidroquímicos indicaron que la concentración promedio de metales fue Fe (28.5974 mg/L) > Al (3.8324 mg/L) > Mn (1.0846 mg/L) > Zn (0.2338 mg/L) > Ni (0.0853 mg/L) > Co (0.0529 mg/L) > Li (0.0365 mg/L) > Cu (0.0048 mg/L) > Pb (0.0016 mg/L). El riesgo se evaluó utilizando el índice de contaminación por metales pesados (HPI) e índice de peligro (HI). El valor promedio de HPI fue 360.959, indicando contaminación alta (HPI > 150), la evaluación del riesgo para la salud humana sugirió que se deben considerar efectos adversos a la salud causado por Fe, Li y Co en niños y adultos. El análisis de correlación de Pearson, análisis de componentes principales y análisis de conglomerados indicó que $SO_4^{=}$, Fe, S, Al, Co, Mn, Ni, Zn y Li se deriva de fuentes naturales, asociado a la generación de ARD en entorno glaciar y periglaciar.

Automatización del cálculo de la línea altitudinal de nieve (SLA) equivalente a la línea de equilibrio altitudinal (ELA) en el glaciar Artesonraju, cordillera Blanca, Perú, 2005 - 2022

Juan de Dios Fernandez Vega, Yadira Curo, Mayra Doris Mejía, Gladis Celmi Henostroza, Alberto Castañeda

La línea altitudinal de nieve (SLA), en el periodo de máxima retracción glaciar, se aproxima a la línea de equilibrio altitudinal (ELA) del glaciar, este a su vez es un indicador del estado de salud de los glaciares. En el contexto de los Andes peruanos la estimación del SLA comúnmente se realiza mediante técnicas de fotointerpretación. No obstante, con el renovado auge del aprendizaje de máquina y la computación en la nube se abre la posibilidad de automatizar la extracción de la SLA equivalente de la ELA. En ese sentido, revisando diversos trabajos realizados en los Alpes y otras regiones glaciares, así como la disponibilidad de información, se implementó un código que se apoya en los algoritmos de "Random forest" y "Main patches" para extraer la línea de contacto (SLA) entre las clases acumulación y ablación glaciar para el periodo hidrológico 2005-2022, descartándose el periodo 2011-2014, en el que hay un vacío entre las misiones landsat 5 y 8, que son las imágenes empleadas en este estudio. Los datos generados fueron correlacionados con información de campo (ELA) proporcionada por la Autoridad Nacional del Agua. Adicionalmente, se estimó la precisión general. Los resultados de la aplicación del código propuesto indican que los valores de SLA automatizados para 14 años, tienen una correlación significativa de 0.78 con los datos de ELA. Así también, la evaluación temática de la precisión general se encuentra entre 0.94 y 0.78. Por lo que la propuesta, en la mayoría de los casos, clasifica adecuadamente, las clases de hielo y nieve. Finalmente, el algoritmo propuesto constituye una primera versión para la automatización del cálculo de la SLA como parte de la caracterización de la dinámica glaciar en el marco del Inventario Nacional de Glaciares.

Identificación, distribución y caracterización de glaciares rocosos del departamento de Moquegua

Yadira Curo, Gladis Celmi Henostroza, Mayra Doris Mejía, Juan de Dios Fernandez Vega

El déficit hídrico es un problema que se está acentuando en el sur del país, y el departamento de Moquegua es una de las zonas que ha visto afectado su suministro de agua en los últimos años. En Moquegua se encuentran parcialmente las cordilleras Volcánica y Barroso, actualmente estas cordilleras han perdido su cobertura de glaciares libres y cubiertos por detritos afectando así el régimen hídrico en el departamento. Sin embargo, se han identificado glaciares rocosos, que son unidades geomorfológicas constituidas por detritos y hielo que fluyen pendiente abajo. Estudios recientes consideran que este tipo de glaciares constituyen reservas fundamentales de agua congelada, especialmente en zonas áridas.

La identificación de estos glaciares se ha realizado a través de la fotointerpretación, de características geomorfológicas que nos permiten evaluar la forma, el talud, flujo y vegetación, en las imágenes satelitales. Así mismo, se ha evaluado la actividad o dinámica de estos glaciares clasificándolos en "Activos" que se encuentran en movimiento por su contenido de hielo y los "Inactivos", que se subdividen en "Intactos" (el contenido de hielo no se encuentra en movimiento porque su gradiente de temperatura está muy debajo de los 0°) y "Relictos" (cuyo contenido de hielo es muy bajo o nulo y por ello ya no presentan movimiento). En el departamento de Moquegua se han identificado 308 glaciares rocosos que cubren una superficie de 15.52 km², el 14.3 % (44) son glaciares rocosos activos, el 34.4 % (106) son glaciares rocosos inactivos y el 51.3 % (158) han sido considerados inciertos. También se puede mencionar que la cuenca de Tambo es la que alberga la mayor superficie de estos glaciares (10.2 km²), seguido de la cuenca Ilo - Moquegua que posee de 4.9 km², mientras que la cuenca de Locumba y Quilca - Vitor - Chili poseen menor cantidad.

Sondeo Eléctrico Vertical en el permafrost tropical del complejo volcánico Nevado Coropuna, Andes peruanos centrales

Velnia Chacca Luna

El retroceso acelerado de los glaciares está dando espacio para la formación de permafrost en el flanco occidental de los Andes tropicales, donde se encuentran las porciones más grandes del permafrost tropical del mundo. En este estudio geofísico mostramos los resultados de 4 perfiles de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) realizados en los flancos oriental y occidental del Nevado Coropuna (15°32'S, 72°39'W) a 6337 m sobre el nivel del mar, respectivamente. El análisis de los resultados numéricos, junto con las observaciones de campo, han permitido distinguir 4 tipos de materiales para las áreas de estudio según sus rangos de resistividad y determinar la profundidad de la capa de permafrost. Para la zona oriental, se encontró una capa activa de más de 1 m de espesor con un rango de resistividades entre 6600 y 150000 Ωm , junto con una capa de permafrost que varía de 3 y 21 m de profundidad que exhibe una resistividad entre (10000 – 13000 Ωm) y sedimentos basales no congelados / lecho rocoso con una resistividad de (~ 2200 Ωm). En el área de estudio occidental, el SEV exploró un glaciar rocoso encontrando un valor de resistividad superior a 21000 Ωm hasta 15 m de profundidad. Los datos encontrados en el Nevado Coropuna encajan con los que se encuentran con frecuencia en los depósitos glaciales-periglaciares en los Andes, donde las intensas mineralizaciones de sedimentos pueden causar un aumento en la conductividad sedimento/rocas. Los perfiles SEV proporcionaron información sobre la existencia de permafrost y el contenido potencial de hielo en profundidad, abriendo la puerta para una interpretación más robusta de los depósitos glaciares y periglaciares presentes en las cercanías del glaciar Nevado Coropuna. Los resultados también destacan la efectividad del SEV para detectar permafrost en altas montañas tropicales, donde la condición de la superficie y la logística suelen ser un desafío.

Evaluación del Carbono Negro en Glaciares de Huaraz y su Difusión Educativa

Mark Albert Gregory, Wilmer Sánchez

La investigación liderada por Wilmer Sánchez desde 2014 se enfoca en la evaluación del Carbono Negro y otras partículas absorbentes de luz en los glaciares de Huaraz, Perú, específicamente en Shallap, Yanapaccha y Vallunaraju. El Carbono Negro, un subproducto de la combustión incompleta de materiales orgánicos, se acumula en la superficie glaciar, afectando su albedo y acelerando el derretimiento.

La metodología empleada incluye la medición de la concentración de Carbono Negro en muestras de hielo y nieve mediante técnicas espectrofotométricas y análisis químicos. Los resultados revelan niveles significativos de Carbono Negro en los glaciares estudiados, lo que contribuye a su rápido derretimiento. Cuando la empresa Kumbre Media estaba investigando temas para su documental sobre el cambio climático en Huaraz, "Chasing Glaciers: Cordillera Blanca", se puso en contacto con el Sr. Wilmer Sánchez y comenzó una colaboración. En el documental, se capturó el proceso de medición del carbono negro en los glaciares y se entrevistó al Sr. Sánchez sobre el impacto del carbono negro en estos. El objetivo era difundir esta información de manera efectiva, comunicando los hallazgos científicos de forma accesible al público en general. Además, se creó contenido accesible en redes sociales sobre el carbono negro y se organizaron charlas educativas para informar a la población en Lima y Huaraz acerca de la amenaza que representa el Carbono Negro para sus glaciares.

Este enfoque integral de investigación y divulgación tiene como propósito principal generar conciencia sobre la importancia de preservar los glaciares y el medio ambiente. La información recopilada contribuye al entendimiento científico, y promueve una mayor participación de la sociedad en la mitigación de la contaminación y el cambio climático.

La presentación en el Simposio del INAIGEM tiene como finalidad compartir estos resultados y resaltar la necesidad de continuar con este tipo de investigaciones interdisciplinarias.

Determinación de los espesores de hielo mediante GPR en la Cordillera Blanca

Eduardo Keny Ramos Valenzuela, Kusi Wayta Saavedra, Gilber Gonzales, Rolando Cruz, Wilson Suárez

Los glaciares tropicales, también conocidos como “los centinelas del clima”, se caracterizan por su alto grado de sensibilidad climática a escala decenal. Actualmente, en el Perú se encuentran aproximadamente el 70% de glaciares tropicales del mundo, lo cual abarca alrededor de 1,114 km² de superficie glaciar. En términos de importancia hídrica, la Cordillera Blanca, ubicada en la zona norte del país, posee la mayor superficie glaciar del Perú. No obstante, estudios actuales revelan que, en las últimas cinco décadas, se registró una pérdida de superficie glaciar de casi el 54% a nivel nacional y se proyectó la extinción completa de los glaciares peruanos para el año 2100.

En ese sentido, la presente investigación busca emplear una nueva metodología, el georradar (GPR), para la determinación de los espesores de hielo de 4 glaciares de la Cordillera Blanca (Shallap, Artesonraju, Gueshgue y Yanamarey). Esta investigación es posible a la prospección realizada durante el año 2017 mediante un georradar (GPR) bi estático con una frecuencia de 5.2 MHz y 16 metros de longitud de antena en dichos glaciares diferentes entre sí (parcialmente cubiertos, no cubiertos, con laguna pro glaciar, pendiente, etc.). El presente trabajo muestra los resultados de más de 6 km de trazas de GPR obtenidos en esta campaña de medición, destacándose la existencia de espesores superiores a 150 metros y otros no mayores a 20 metros. Cabe destacar que el uso de estas técnicas de percepción remota permitirá tener por primera vez información disponible para la validación de los diferentes trabajos de modelización de espesores y volúmenes de hielo realizados en esta región.

Impacto del Carbono Negro en el Balance de Energía y Masa Superficial del Glaciar Huaytapallana, Región Junín

Viankcor Cashpa Carrion, Elver Villalobos Puma, Octavio Fashé, Yamina Silva, Christian Torres

Investigaciones recientes llevadas a cabo en diferentes glaciares tropicales del mundo, han evidenciado un significativo incremento en las concentraciones de carbono negro (CN), llegando a alcanzar hasta un 270 % en comparación con la época preindustrial. Además, persiste una considerable incertidumbre acerca de los efectos de estas concentraciones en los ecosistemas de montaña como los glaciares y los recursos hídricos. En consecuencia, con el propósito de abordar esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo estimar el impacto del CN en la dinámica del glaciar Huaytapallana, ubicado en el departamento de Junín, Perú. Para lograrlo, se empleó observaciones in-situ de CN y el Modelo Radiativo de Nieve, Hielo y Aerosol (SNICAR, por sus siglas en inglés) junto al Modelo Acoplado de Balance de Masa y Energía de la Capa de Nieve y la Superficie del Hielo en Python (COSIPY, por sus siglas en inglés), con el fin de estimar el balance de energía superficial (BES) y el balance de masa superficial (BMS) durante el periodo de mayo a diciembre de 2022. Así mismo, se usaron datos horarios de la estación meteorológica Huaytapallana y de reanálisis ERA5 para forzar los modelos glaciológicos. Los resultados revelan que la presencia de CN sobre la superficie del glaciar incrementó el BES en 0.4 W/m^2 , lo que condujo a un BMS más negativo de hasta 24 mm equivalente de agua. En conclusión, esta investigación demuestra que es factible cuantificar el impacto del CN en la dinámica de los glaciares peruanos y se evidencia que la presencia de CN provoca una pérdida significativa de masa glaciar.

Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar

Yadira Curo, Mayra Doris Mejía, Gladis Celmi Henostroza, Juan de Dios Fernandez Vega, Alberto Castañeda, Alexzander Santiago Marte

Los glaciares y lagunas constituyen reservas de agua dulce estratégicas, que cumplen el rol de abastecimiento de agua para el consumo humano y para las principales actividades productivas del país. El Perú reúne el 68% de glaciares tropicales del mundo que junto a las lagunas de origen glaciar, constituyen importantes reguladores del recurso hídrico en la zona altoandina. Por la importancia de estos recursos, el INAIGEM tiene como misión la actualización del Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar en 20 cordilleras glaciares, distribuidos en 14 departamentos.

El estudio se realizó empleando tecnologías de percepción remota, sistemas de información geográfica, fotointerpretación, análisis multitemporal e información cartográfica disponible. Con fines de optimización de recursos se implementaron herramientas en lenguajes de programación, facilitando el procesamiento de grandes volúmenes de datos en la nube. Asimismo, se determinó el retroceso glaciar en 58 años.

Los resultados muestran un total de 2084 glaciares libres y cubiertos por detritos y 2147 glaciares rocosos, que ocupan una superficie de 1050.32 km² y 107.49 km² respectivamente, también se han identificado 8466 lagunas de origen glaciar con una extensión de 1081.31 km². Los resultados por departamentos indican que Ancash tiene la mayor superficie de glaciares limpios y cubiertos por detritos del país (441.13 km²), Arequipa alberga la mayor superficie y cantidad de glaciares rocosos (1097 glaciares y 55.72 km²) y Puno cuenta con la mayor cantidad y superficie de lagunas de origen glaciar (1532 lagunas y 166.3 km²). El retroceso glaciar entre 1962 y 2020 revela que las cordilleras Blanca y Vilcanota perdieron 301.4 km² (41%) y 251.76 km² (51%) de su superficie respectivamente; mientras que las cordilleras Chila, Chonta y Huanzo presentan pérdidas del 99.8, 97.8 y 94%, respectivamente, esta tendencia conlleva a la pérdida de los glaciares libres y cubiertos por detritos en estas cordilleras.

Teledetección en el Monitoreo de Glaciares en los andes del centro del país

Caso Glaciar Sullcon

Alexzander Santiago Martel, Brandon Fajardo Dioses, Carmen Rosario Barra Oscata

Los glaciares de los Andes peruanos, están sufriendo los impactos del cambio climático, a través de la acelerada disminución de su área y la formación de nuevas lagunas. Para evidenciar estos cambios, es necesario contar con información detallada, la cual es obtenida mediante sensores ópticos, no obstante esta información posee limitaciones respecto a las condiciones atmosféricas (nubes) que obstaculizan la visión de la superficie terrestre. Además, realizar la reconstrucción de modelos digitales de elevación (DEM) se ve limitada por no poseer imágenes estéreo y/o proyectos de construcción de la superficie terrestre actualizadas que permitan analizar los cambios actuales de la superficie glaciar. Analizado las limitaciones nacen los proyectos de uso de tecnología de Sistemas de Aeronaves Pilotadas de Manera Remota (RPAS), con el objetivo de obtener información actualizada del área de estudio, como la topografía que permita realizar el análisis detallado de la dinámica glaciar enfocado en la variación de área, espesor, volumen y formación de lagunas (supraglaciar, proglaciar).

En la presente investigación se usó como caso de estudio el glaciar Sullcon, del cual se generó la información detallada del periodo 2019 al 2021 haciendo uso de la tecnología RPAS para el análisis de la evolución glaciar mediante el método del co-registro, el análisis de la formación de lagunas se realizó haciendo el uso de los ortomosaicos obtenidos del vuelo fotogramétrico. De manera complementaria, se evaluó las imágenes ópticas Sentinel-2 del periodo septiembre 2019 a septiembre 2021 para realizar el análisis de la dirección y velocidad de desplazamiento glaciar, mediante el método de la correlación de imágenes. En el estudio se determinó que el glaciar Sullcon posee una velocidad máxima de 33.3 m/año con una correlación cruzada (CC) de 0.7, donde los valores de una buena CC es próximo a 1. El retroceso máximo del frente es de 34 m ubicada al noreste del glaciar, donde la laguna proglaciar se encuentra en crecimiento. Durante este año de estudio en el área de análisis se perdió una superficie glaciar de -10371.168 m².

El análisis del volumen se realizó en 2 sectores de la zona de ablación (alta y baja); donde en la parte alta se posee una ganancia de volumen de 368028.69 m³, y las velocidades del glaciar son entre 18 a 33 m/año lo cual estaría alterando el análisis, mostrando los resultados del desplazamiento y no una ganancia por parte del glaciar. En el caso del sector bajo que corresponde a la parte frontal del glaciar, se evidencia los movimientos de 2 a 6 m/año, donde se presenta la pérdida de volumen de -74446.43 m³ lo cual estaría relacionado con el proceso de fusión glaciar, que representa una pérdida de -0.66 metros equivalente a agua que aportó hacia la cuenca.

Análisis multitemporal del retroceso glaciar, formación de lagunas e influencia climática en las cuencas Rímac, Cañete y Mala 1985-2022

Brandon Fajardo Dioses, Giovanna Amparo Egas Tapia

Los glaciares tropicales andinos (ATG) representan uno de los mejores indicadores del impacto del cambio climático. Estos han ido reduciendo su área y espesor, lo cual ha favorecido la formación de nuevas lagunas. El análisis de la retracción glaciar y dinámica de lagunas a través de la teledetección, se ha convertido en un insumo clave para estimar la variabilidad del aporte hídrico que proviene de los glaciares a las cuencas hidrográficas, sobre todo en aquellas cuencas que tienen un rol importante por la regulación y provisión de recursos hídricos a grandes ciudades y poblados de la costa peruana, cuya demanda hídrica se incrementa año a año.

Considerando que ciudades costeras del Perú como Lima, Cañete y Mala todavía reciben importantes servicios ecosistémicos hídricos de cuencas que se alimentan de sistemas glaciares localizados en la cordillera Central de los Andes, se implementó el análisis multitemporal de la recesión glaciar y formación de lagunas, complementado con el análisis de variables climáticas, usando imágenes satelitales Landsat (1985 -2016), Sentinel 2 (2016 - 2023) y Planet NICFI (2016-2023). La identificación de la superficie glaciar se realizó con el índice NDSI en la plataforma Google Earth Engine (GEE), y las lagunas con la aplicación del modelo SAM (Segment Anything Model), el cual es capaz de segmentar casi cualquier objeto (incluidas las obtenidas por teledetección). Asimismo, el análisis de las variables climáticas se implementó con el producto de reanálisis ERA5-LAND, obteniéndose promedios climatológicos para el periodo 1985-2022 y el análisis de tendencias con pruebas paramétricas.

Los resultados demuestran que existe una fuerte correlación inversa entre el comportamiento de la recesión glaciar y la temperatura promedio, los cambios observados en la dinámica de lagunas siguen el mismo patrón; sin embargo, en ninguno de los casos se observó una correlación importante con el comportamiento de la precipitación.

Factores climáticos y cambios demográficos en el retroceso glaciar de la cordillera Apolobamba, zona la Rinconada (Ananea), Perú (1989-2019)

Ricardo Chambi Apaza, Cristian Evelio Quispe Ccajavilca, Fiorela Esmeralda Quispe Flores

El retroceso glaciar en las cordilleras andinas es un fenómeno alarmante y de gran importancia, ya que afecta directamente a las poblaciones humanas que dependen de estos recursos hídricos para su supervivencia. La Cordillera Apolobamba no es una excepción, y su ubicación en La Rinconada, que alberga una población en constante crecimiento debido a la actividad minera, aumenta la relevancia del estudio. La metodología se basa en la integración de datos climáticos históricos de temperatura y precipitación, que se obtuvieron a partir de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA, para evaluar tendencias a lo largo del período de estudio. Así mismo, el uso de Google Earth Engine que permitió el análisis de imágenes satelitales Landsat y el monitoreo de los cambios en la extensión glaciar a lo largo de los años, por otra parte, softwares como QGIS, se utilizó para procesar y visualizar los datos geoespaciales, lo que facilitó la identificación de pérdidas de área glaciar. Además, se aplicó un análisis de correlación para determinar si existía una relación significativa entre las variables climáticas y las variables demográficas. Asimismo, la influencia determinante de las variables climáticas, especialmente la temperatura y la precipitación se correlacionan con las pérdidas de área glaciar, además el crecimiento demográfico acelerado y una mayor actividad minera también contribuyen al retroceso glaciar; esto resalta la interconexión entre el clima, la demografía y la actividad humana. En conclusión, este análisis del retroceso glaciar en la Rinconada entre 1989 y 2019, respaldan la importancia de continuar monitoreando las condiciones climáticas y glaciares en la Cordillera Apolobamba y resaltan la necesidad de implementar medidas de mitigación del cambio climático para preservar estos ecosistemas frágiles y fundamentales para el equilibrio ambiental.

Análisis de la evolución de la cobertura glaciar en el Nevado Coropuna a través de índices climáticos de El Niño

Rosmery Lidez Condori Huanca, Maryann Alessandra Alata Chambilla,
Aldo Arévalo Anastacio, Isabel Camila Granados Quispe

La Cordillera de los Andes es una de las cadenas montañosas más importantes debido a su vasta disponibilidad de recursos hídricos y su alta biodiversidad. En esta región se encuentran diversos tipos de glaciares, cada uno asociado a sus respectivos nevados. Entre ellos, se destacan los glaciares de tipo tropical como los que se encuentran en el Nevado Coropuna. Estos glaciares son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, y estudios previos han señalado la presencia de efectos de teleconexiones relacionados con diversos índices, incluido el ENSO (El Niño Oscilación del Sur). No obstante, aún no se ha determinado qué índices del ENSO tienen una influencia más significativa en el Nevado Coropuna ni cómo afectan su área glaciar. El objetivo de este estudio es analizar la magnitud y la naturaleza de este impacto en la cobertura glaciar del Nevado Coropuna. Los resultados indican que todos los índices muestran una correlación negativa con los cambios en la cobertura del glaciar. Además, se observa un aumento significativo en la influencia del ENSO en el Nevado Coropuna posterior al año 2000. Entre todos los índices evaluados, se destaca la mayor significancia del PDO (Oscilación Decadal del Pacífico) con un valor aproximado de -0.5 en correlación. Asimismo, se encuentra que el índice 3.4 tiene mayor significancia que el índice del Niño costero (1+2), con un valor de aproximadamente -0.35. Estos hallazgos son relevantes ya que resalta el notable efecto de El Niño en zonas de alta montaña, como los nevados, lo que subraya la importancia de estos estudios para la comprensión y la gestión de estos ecosistemas sensibles.

SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

MO
QUE
GUA
2023

8 al 10
Noviembre

TEMA 2

Peligros y riesgos en
zonas de alta
montaña

Impactos del cambio climático sobre las sequías en el Altiplano e incremento de incendios forestales

Ricardo Zubieta, Jorge Molina, Wilber Laqui, Juan Sulca, Merci Ilbay

La reducción de lluvias durante periodos prolongados puede conducir a sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas. Cada sequía puede afectar a la población y actividades productivas con distinta intensidad, duración y frecuencia. Contextualizando un escenario óptimo para la ocurrencia de incendios ante la conformación de combustible forestal. El objetivo del estudio se basó en evaluar el impacto del cambio climático en las sequías en las cuencas del lago Titicaca, el río Desaguadero y el lago Poopo (sistema-TDPS) dentro de la región del Altiplano comparando las series de tiempo hidroclimáticas proyectadas 2034-2064 y observadas 1984-2014. El estudio utilizó proyecciones climáticas mensuales con corrección de sesgo de Modelos Acoplados (CMIP5), bajo los escenarios RCP8.5. Las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas se analizaron a partir de los índices estandarizados de precipitación, humedad del suelo y escurrimiento, respectivamente. Estos dos últimos estimados a partir de un modelo hidrológico. Bajo escenarios de aumentos de temperatura media de hasta 3°C y cambios de precipitación espacialmente diversos, nuestros resultados indican que las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas serán más intensas, frecuentes y prolongadas en el sistema-TDPS. También se proyecta un aumento significativo en la frecuencia de sequías agrícolas e hidrológicas de corto plazo (duración 1-2 meses). La disminución esperada en la precipitación anual y el mayor aumento de la evapotranspiración en el TDPS (zona sur) se combinan para producir mayores aumentos proyectados en la frecuencia e intensidad de las sequías agrícolas e hidrológicas en esta región. Los resultados sugieren que las sequías en el altiplano conducirían a incrementar las condiciones potenciales para la ocurrencia de incendios forestales durante el segundo semestre del año. Dado el impacto de la sequía (reducción de lluvia e incremento de la evapotranspiración) sobre la cobertura vegetal, las prácticas de quema en la región Puno y el retraso del inicio de la nueva temporada de lluvias.

Mecanismos físicos asociados a las nevadas extremas sobre los Andes peruanos

Juan Carlos Sulca Jota

Las nevadas extremas sobre los Andes peruanos (NEA) generan grandes pérdidas económicas. Sin embargo, no existen estudios acerca de los mecanismos físicos de gran escala asociados a las NEA para su pronóstico. Por lo cual, el objetivo de este estudio es analizar el rol de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y la oscilación Madden-Julian (OMJ) en la ocurrencia de las NEA. Para ello, se utilizan el reanálisis NCEP/NCAR durante los meses de verano (diciembre-febrero, DEF) e invierno (junio-agosto, JJA) para el periodo 2004-2013, a lo cual se le extrae el componente intraestacional aplicando un filtro pasabanda de 20-90 días a las anomalías diarias. Además, se hace uso de las series temporales del índice multivariado de tiempo real de la OMJ (RMM1, RMM2). Las condiciones El Niño y La Niña son identificadas a través del índice oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Las fechas de las NEA son extraídas de SENAMHI (2018).

Durante el verano (DEF), las NEA ocurren preferencialmente bajo las RMM Fases 4-8 de la OMJ y La Niña. Las NEA son causadas principalmente por la convección profunda sobre los Altiplano peruano inducidas por la superposición de las anomalías de vientos del oeste en los niveles altos troposféricos y la incursión de una masa seca y fría proveniente de la parte sur del continente, la cual es causada por el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia del Pacífico del Sur. Para el invierno (JJA), las NEA están asociadas generalmente al efecto combinado de las RMM Fases 5, 7 y 8 de la OMJ y El Niño. Las NEA son causadas por una circulación anómala ciclónica sobre el océano Pacífico entre Perú y Chile en la alta tropósfera como resultado de un efecto barrera contra las ondas Rossby extratropicales que se propagan hacia las bajas latitudes.

Evaluación de microplásticos en los glaciares de montaña de la Rinconada Departamento de Puno

Brayan Leon Apaza

Los llamados microplásticos (MPs) son partículas con un tamaño menor a los 5 milímetros (mm) que por sus propiedades físicas teorizan a ser ubicuos, representando una amenaza potencial para muchos ecosistemas. El Perú cuenta con 18 cordilleras de gran importancia ambiental para la región y la Cordillera de Apolobamba, ubicada al sur del ramal occidental, cuenta con una extensión de 35 km cumpliendo importantes funciones ecosistémicas, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar presencia de microplásticos en el glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba del departamento de Puno. Se establecieron 13 puntos de monitoreo distribuidos en la zona de ablación, se extrajeron muestras de nieve superficial, crioconita y sustrato, teniendo como técnica de aislamiento de microplástico la separación densimétrica con un adicional para el sustrato, donde se utilizó tamices de acero inoxidable con diferentes medidas de poro. Posteriormente se realizó la identificación visual para registrar las características físicas como el color, la forma, y utilizando un microscopio, se determinó el tamaño de estos. Se encontraron 1179 ítems de microplástico, donde para la nieve superficial se halló 121.50 ± 45.85 mp/L, crioconita 383 ± 236.34 mp/kg y para sustrato 283.34 ± 67.88 mp/kg; la forma predominante fue el de tipo película 56.9%, en cuanto al color el blanco (54.96%) y celeste (19.50%) fueron los más encontrados, finalmente el tamaño promedio fue de $0.25 \mu\text{m}$. Se llegó a la conclusión de que el glaciar ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba, es uno de los ecosistemas que presentan contaminación por microplásticos mostrando así la ubicuidad del mismo en los glaciares a gran altitud, siendo el primer estudio que registra esta información en el Perú evidenciando el riesgo a la calidad y la cantidad de este recurso.

Percepciones de actores clave sobre el papel del fuego y soluciones preferidas a los incendios forestales en los Andes peruanos

Vanessa Luna Celino

El fuego es una herramienta en la agricultura de subsistencia que sirve para eliminar restos agrícolas y abrir nuevas tierras de cultivo. Sin embargo, algunas quemas agrícolas resultan en incendios, en parte promovidos por el calentamiento global. Comprender las percepciones de los actores clave es el primer paso en la gobernanza del fuego y se puede aplicar para facilitar la toma de decisiones transparente y gestión de conflictos. Nuestro objetivo es comprender las opiniones de actores clave sobre el fuego y las mejores prácticas de manejo en los Andes peruanos, para lo que aplicamos la metodología semicuantitativa 'Q'. 56 personas completaron la evaluación, entre miembros de comunidades campesinas, bomberos, investigadores, organizaciones sin fines de lucro, áreas protegidas y agentes gubernamentales. Como resultados principales encontramos tres narrativas sobre el rol del fuego: una que enfatiza sus impactos negativos en los servicios ecosistémicos; otro reconoce algunos beneficios del fuego e impactos negativos en la disponibilidad de agua; y el tercero reconoce algunos beneficios del fuego, especialmente al abrir tierras agrícolas. En cuanto al manejo de fuego, también surgieron tres narrativas: una que enfatiza la supresión del fuego; otra, el manejo de fuego desde las comunidades campesinas, además de sanciones por originar incendios; y la tercera favorece el manejo de fuego integrado y desde las comunidades. Tanto el reconocimiento de los impactos negativos del fuego como la supresión como estrategia de manejo son narrativas que se encuentran especialmente entre agentes del gobierno y bomberos, en comparación con otros actores clave. El reconocimiento de opiniones diversas sobre el rol del fuego y qué hacer con él nos habla sobre la necesidad de gestionar de la mano con diversos actores sociales y reconciliar sus variadas voces, así como facilitar el flujo de información y la colaboración entre ellos.

Estrategias participativas de adaptación al cambio climático en comunidades de alta montaña: Lecciones de la subcuenca Quillcay, Huaraz

Jenny Luz Menacho

La investigación de Jenny Menacho aborda estrategias de adaptación al cambio climático en alta montaña, con un enfoque participativo y aplicado en la subcuenca Quillcay de Huaraz, Perú. Durante su tesis de 2017-2019, se centró en comprender las capacidades de adaptación de los pobladores locales y desarrollar estrategias para fortalecerlas.

El estudio se enfocó en la subcuenca Quillcay, una zona vulnerable a los efectos del cambio climático, como el retroceso de glaciares y eventos climáticos extremos. Mediante enfoques participativos, Menacho investigó las respuestas locales al cambio climático y las capacidades de la comunidad para adaptarse. Esto incluyó diálogos con residentes, análisis de sus prácticas agrícolas y su percepción del cambio ambiental.

Una de las estrategias clave que surgió fue la biorremediación por drenaje ácido de roca (DAR). Esta técnica busca mitigar los efectos negativos del DAR, un problema ambiental en la región, mediante la restauración de cuerpos de agua y suelos afectados.

Las lecciones aprendidas en la subcuenca Quillcay se han extendido a otras comunidades de alta montaña, como Lullán-Paron y Río Blanco de Huaylas. Menacho ha colaborado con diversas organizaciones e instituciones, tanto públicas como privadas, para implementar estrategias de adaptación. Estas estrategias incluyen cambios en los cultivos y prácticas agrícolas, como el uso de abono orgánico en lugar de pesticidas, así como prácticas de riego más eficientes.

El enfoque participativo es fundamental para involucrar a la comunidad en la toma de decisiones y asegurar la sostenibilidad de las estrategias de adaptación. La investigación de Jenny Menacho es un ejemplo de cómo la ciencia y la colaboración comunitaria pueden abordar efectivamente los desafíos del cambio climático en entornos de alta montaña, mejorando la resiliencia de las comunidades locales y protegiendo su patrimonio natural. Esta presentación en el Simposio del INAI GEM busca compartir estas valiosas experiencias y promover enfoques participativos en la adaptación al cambio climático en todo el mundo.

Variabilidad climática, retroceso glaciar del nevado Ausangate (Cordillera Vilcanota) y percepción local en el distrito de Ocongate, Cusco, 2023

Danitza V. Ccopa Maque

Desde hace décadas, existe una preocupante situación de deshielo glaciar que enfrentan ecosistemas de alta montaña que contienen glaciares. Esto tiene un impacto en la disponibilidad de recursos hídricos y en la vulnerabilidad socio-económica de las poblaciones cercanas. Asimismo, el retroceso glaciar puede significar un mayor riesgo y exposición a los desbordes de lagunas glaciales y aludes en la zona de influencia, dado que existen antecedentes de eventos extremos originados por el fenómeno de deshielo.

Entonces, el objetivo de la presente investigación se basa en realizar un estudio sobre el retroceso glaciar del nevado Ausangate en un contexto de cambio climático y riesgo de desastres naturales en la zona alta de la provincia de Quispichanichis, específicamente en el distrito de Ocongate.

Por ello, se realizará una comparación de las percepciones sociales sobre el retroceso glaciar con el análisis climático de variables como las precipitaciones, temperaturas y el área glaciar a través de imágenes satelitales del nevado Ausangate, así como su relación con las tasas de descenso glaciar. Se busca encontrar las perspectivas de las comunidades a través de encuestas y entrevistas para conocer cómo enfrentan y se adaptan a los cambios en el ambiente, analizando los impactos socioeconómicos y culturales del fenómeno de retroceso acelerado de los glaciares. Con ello además se logrará conocer sobre cuáles son las medidas institucionales a nivel nacional relacionadas a los glaciares y su influencia a nivel regional y local.

Modelamiento e impresión 3D como soporte en la implementación y mantenimiento de sistemas de monitoreo hidrometeorológico en zonas de alta montaña.

Jean Lujan Leon, Robert Alvarado Lugo, Percy Lovon Ramos, Danny Robles, Cristian Benites Condori

El monitoreo hidrometeorológico (MH) en las zonas de alta montaña es esencial para satisfacer la creciente demanda de información meteorológica. En respuesta a esto, han surgido iniciativas innovadoras que aprovechan el modelado e impresión 3D para crear herramientas personalizadas y rentables, en contraste con los métodos tradicionales de fabricación.

Este trabajo presenta una revisión del uso del modelado 3D en el MH, explorando sus oportunidades y desafíos. Para contextualizar esto, se incluye un estudio experimental en zonas de alta montaña.

La validación de estas piezas implica el modelado (software Inventor) seguido de la impresión 3D (utilizando filamentos ABS y PLA), con su posterior implementación en el terreno. Esta metodología no solo agiliza la creación y aplicación de componentes para el MH, sino que también conlleva ahorros económicos. Además, permite la adaptación precisa de las piezas a las necesidades específicas de cada tarea de monitoreo, resultando en herramientas más personalizadas.

Entre los casos prácticos se incluye el diseño e implementación de componentes como la pantalla Stevenson, gabinetes de protección personalizados y pluviómetros de tic, junto con piezas de repuesto como veletas de dirección, cazuelas de anemómetro y soportes mecánicos de instrumentos de medición. Los resultados han demostrado la eficacia de las piezas en condiciones climáticas severas, aunque se requiere un tiempo de observación prolongado para consolidar aún más esto, lo cual se considera en futuros trabajos. En términos de costos, se logra un ahorro significativo en comparación con opciones comerciales, como se evidencia en la pantalla Stevenson y los repuestos de piezas para instrumentos meteorológicos.

Por lo que estas implementaciones no solo beneficiarían a investigadores con recursos limitados, sino que también mejorarían las tareas de mantenimiento e implementación de sistemas de MH. Esto es fundamental para abordar los desafíos cambiantes del clima y fortalecer la resiliencia ante el cambio climático.

Uso de botones no tripulados en levantamientos batimétricos, ventajas y desafíos para uso en lagunas glaciares

Jean Lujan Leon, Pablo Iribarren Anacona, Gonzalo Durán Vilches

El retroceso glaciar ha generado la formación de numerosas lagunas en la Patagonia (Chile – Argentina) y zonas periglaciares del Perú. Estudiarlas resulta crucial debido a los servicios ambientales que brindan, así como al potencial peligro de vaciamientos repentinos e inundaciones que pueden generar, todo esto más la complejidad del acceso y la peligrosidad asociada a los entornos glaciares han impulsado el desarrollo de vehículos acuáticos no tripulados (USV) para llevar a cabo estudios batimétricos.

Este trabajo presenta un análisis del estado actual de los USV y su aplicabilidad en la investigación de lagunas glaciares. Se contextualiza con nuestra propia experiencia al diseñar e implementar un USV específico para esta finalidad (“Calle-Calle boat”), un bote para levantamientos batimétricos, diseñado en el entorno Ardupilot y modelado en 3D. Este equipo, con dimensiones de 90 cm x 40 cm x 35 cm y un peso inferior a 5 kg, se caracteriza por una autonomía de 45 minutos con una batería de 8000 mAh. Además, está equipado con el sonar Deeper Chirp +2, que alcanza una profundidad de 100 metros y puede ser programado para rutas específicas o dirigido mediante radiocontrol.

En este trabajo también se proponen mejoras futuras, como la integración de un sonar compatible a nivel de hardware y software, así como la implementación de un sistema de despliegue de termómetros mediante un huiñche para caracterizar la estratificación térmica de los lagos. Por otro lado, podemos resaltar que el diseño ha conllevado un equipo liviano, portátil y estable, que al mismo tiempo ofrece una alta autonomía para su uso en entornos glaciares de difícil acceso.

Zonas Potenciales para reserva de agua de lluvia frente al Cambio Climático en la Cuenca Mantaro

Cristian Benites Condori, Robert Alvarado-Lugo, Jean Pol Lujan Leon, Percy Lovon Ramos, Susan Coaguila Agurto

Los glaciares son indicadores críticos del cambio climático y juegan un papel fundamental en los sistemas hidrológicos globales. Su estudio proporciona información valiosa sobre la evolución del clima y sus futuras implicaciones. Los datasets glaciológicos son conjuntos de datos estructurados, esenciales para los científicos, ya que ofrecen mediciones precisas de la masa, extensión y comportamiento de los glaciares a lo largo del tiempo.

La estructuración adecuada de estos datasets es esencial. La falta de organización puede dar lugar al desorden y dificultar la búsqueda de información relevante. La colaboración entre investigadores también se ve perjudicada sin una plataforma centralizada para compartir datos y resultados, lo que puede ocasionar una duplicación de esfuerzos y proyectos poco cohesionados. Asimismo, la falta de un sistema que documente y registre adecuadamente los procesos y cambios en los datos puede comprometer la reproducibilidad de la investigación y la credibilidad de los resultados científicos.

En este estudio se analiza las experiencias al implementarse plataformas como: el National Snow and Ice Data Center (NSIDC) y Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS), que proporcionan acceso a mediciones satelitales en tiempo real, también el World Glacier Inventory que contiene datos detallados sobre glaciares individuales, incluyendo su ubicación, tamaño y altitud. Estos sistemas han mejorado la accesibilidad de datos glaciológicos a nivel global, facilitando la investigación y la toma de decisiones informadas sobre el cambio climático y la conservación de los recursos hídricos.

En conclusión, los datasets glaciológicos son herramientas cruciales para entender los glaciares y su impacto en el clima global. Su estructuración y organización son vitales para una investigación efectiva y colaboración científica. Las plataformas presentadas han fortalecido la capacidad de científicos y formuladores de políticas para abordar los desafíos del cambio climático y mejorar la calidad de la investigación en este campo crucial.

Análisis de los peligros potenciales en la laguna Upiscocha, como consecuencia del retroceso glaciar en un contexto de Cambio Climático

Oscar Vilca, Ricardo Vila

El cambio climático está causando la reducción constante en la extensión y volumen de los glaciares. El retroceso de los frentes glaciares conlleva, en la mayor de las veces, a la formación de lagunas nuevas que ocupan las depresiones dejadas por el accionar erosivo del hielo durante las etapas de expansión.

La laguna Upiscocha es un caso reciente de una laguna en formación, identificada en el último inventario de lagunas de la ANA, reportada por el INAIGEM como laguna potencialmente peligrosa en octubre del 2020, cuenta con registros de la primera batimetría realizado en octubre del 2021 donde se da cuenta de un volumen almacenado de 2,147,308 m³ en una superficie de espejo de 205,846 m², contrastado con el último resultado de batimetría realizado en agosto del 2023 donde se reporta un volumen de 17,864,016 m³ con una superficie de espejo de 618,311 m², evidenciándose así el incremento de más de quince millones de metros cúbicos de agua, lo que obliga a un replanteamiento de todo análisis en relación a los peligros realizados hasta la fecha, además se cuentan con registros periódicos del comportamiento del frente glaciar, reportes de eventos de desbordes ocurridos en mayo y agosto del 2022, información que nos permitirá analizar diversos componentes desde como influye el cambio climático en el retroceso acelerado de los glaciares y su relación con la evolución en la morfología del vaso lagunar y el volumen de agua almacenado en cada etapa, el análisis incluye el planteamiento de diferentes escenarios de peligros potenciales que podrían generar desbordes con caudales altamente destructivos.

La formación de lagunas atractivos turísticos, reservorios de agua dulce, pero también constituyen una amenaza para las poblaciones situadas aguas abajo.

Mecanismo de la avalancha de hielo inducida por la variabilidad climática: Estudio de caso de la avalancha de hielo del Huáscarán en junio de 2023, Perú

Hilbert Villafane Gomez, Juan Carlos Torres, Enver Melgarejo, Manuel Cosi, Joanne L. Wood, Ryan Wilson, Imelda V. Aliaga

En junio de 2023, se registró más de tres avalanchas de hielo en el pico norte del Huascarán, Cordillera Blanca, Perú. La avalancha de hielo de alta montaña con mayor magnitud ocurrió a una altitud de 6 495 m; el flujo de avalancha tuvo un recorrido horizontal de más de 2 500 m en un desnivel de 1 500 m. Este estudio busca esclarecer el mecanismo de las avalanchas de hielo del pico norte del Huascarán ocurridas en junio del 2023 resaltando las características del evento y la dinámica del proceso que fueron analizadas usando imágenes satelitales multitemporales (Sentinel 2) y la simulación numérica con Rapid Mass Movement Simulation (RAMMS) con el módulo Avalanche. Los resultados muestran que las avalanchas de hielo fueron provocadas por las fluctuaciones de la temperatura en los meses anteriores al evento a la vez precedidas por las grietas preexistentes en la parte superior de los bloques glaciares desprendidos y condicionadas por la topografía del lugar. La dinámica de la avalancha de hielo se dividió en tres fases consecutivas mediante el registro en los vídeos y la observación sobre el terreno, incluyendo la zona de desprendimiento y desintegración, la zona de flujo y la zona de disipación, además, acompañada de una nube de nieve pulverizada y partículas de hielo en suspensión en el aire aguas abajo de la zona de desprendimiento. El efecto de arrastre nulo y la fricción de la superficie del glaciar 511 se identificaron como las principales causas de la disipación del flujo de avalanchas. Los resultados numéricos reprodujeron el proceso dinámico de la avalancha de hielo, además el análisis de las grietas del pico norte del Nevado Huascarán muestra indicios de futuros desprendimientos y avalanchas.

Caracterización espacio-temporal de las heladas meteorológicas en el Perú (1981-2020)

Kevin Campos Sánchez, Patricia Rivera, Anabel Castro, Javier Chiong

Las heladas meteorológicas constituyen una amenaza climática recurrente en la región andina del Perú, con impactos en diversas actividades humanas tales como la agricultura, ganadería y salud. Este estudio se enfoca en proporcionar una caracterización climática de las heladas meteorológicas (HM) en el país tomando como referencia el periodo climático 1981-2020. Para ello se emplearon técnicas estadísticas como cálculo de medias y análisis de tendencias, junto a técnicas de zonificación basada en aprendizaje no supervisado. Los resultados (preliminares) del estudio identificaron que en el Perú existen, por lo menos, cuatro grandes regiones con patrones coherentes y diferenciados en términos espaciales y temporales de HM, que reflejan la amplia variabilidad climática de este fenómeno. De estas regiones destacan las localizadas en la sierra sur como las más vulnerables a la mayor incidencia e intensidad de HM. Además se evidencia una tendencia de incremento en la frecuencia mensual de HM en la sierra sur oriental, particularmente en áreas cercanas al lago Titicaca. Estos hallazgos ofrecen una comprensión más profunda del comportamiento climático de las heladas meteorológicas en Perú, lo que puede ser fundamental para tomar decisiones y desarrollar estrategias de gestión eficaces.

Señal isotópica en la lluvia y los carbonatos del norte peruano: implicancias en el análisis del paleoclima y la gestión de riesgos de desastres

Lizbeth Bulnes Herrera, James Apaéstegui Campos

Durante el último siglo, la costa norte peruana experimentó impactos considerables debido a la fase positiva de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés), conocida como fenómeno El Niño. Esta fase se caracteriza por aumentos de la temperatura superficial del mar (TSM), lo que desencadena cambios atmosféricos y lluvias intensas.

El presente estudio explora la relación entre la señal isotópica de las lluvias ($\delta^{18}O$) en la región occidental de los Andes norperuanos, específicamente en la región de Cajamarca durante 2021 - 2022 y su relación con los índices oceánicos que caracterizan la ocurrencia del ENSO. A su vez, analiza la señal geoquímica en espeleotemas fechados que fueron colectados en la cueva Polulo, Cajamarca y los compara con otros registros paleoclimáticos con el objetivo de detectar cambios en los patrones de lluvia de los últimos 1 000 años.

Los resultados indican que $\delta^{18}O$ se correlaciona con los índices E y Multivariante ENSO Index (MEI), sugiriendo una respuesta a condiciones El Niño. A su vez, la señal isotópica en carbonatos ($\delta^{18}O_c$) resulta similar a las reconstrucciones obtenidas con diatomeas (Conroy et al., 2009), sedimentos (Conroy et al., 2008) en regiones próximas a las islas Galápagos e indicando que el norte peruano habría sido más lluvioso en los últimos 200 años, posiblemente debido a cambios en la frecuencia e intensidad de la ocurrencia del fenómeno El Niño en comparación con el periodo 200 - 1 000 años. El estudio contribuye a la comprensión de la dinámica del ENSO en la región, convirtiéndose en una herramienta relevante en la gestión de riesgo de desastres

Capacidad de los focos de calor obtenidos de conjuntos de datos satelitales para representar áreas quemadas en ecosistemas andinos de Cusco, Perú

Yerson Jaime Ccanchi Espinoza, Ricardo Zubieta, Romina Liza Contreras

El uso del fuego, principalmente en actividades agropecuarias, es común en los Andes. Lamentablemente en muchos casos las quemadas se descontrolan y se convierten en incendios forestales. Los satélites proporcionan una fuente de información alternativa para estudiar el desarrollo de los incendios forestales. Este estudio evalúa la eficacia de los datos de focos de calor provenientes de satélites en la identificación de fuegos activos en los Andes de Cusco. Se utilizaron los conjuntos de datos satelitales MODIS (producto MCD14DL) y VIIRS (productos SUOMI y JPSS-1) para caracterizar la actividad de incendios forestales mediante la detección de focos de calor. Además, el estudio utilizó el índice de área quemada normalizada (NBR) debido a que resulta ser un indicador valioso para mapear las áreas quemadas o cicatrices de fuego. Nuestros hallazgos indican que los focos de calor MODIS y VIIRS demuestran una alta confiabilidad en la detección de fuegos activos (errores de comisión aproximado de 1%). Sin embargo, la detección de áreas quemadas no capturadas por los focos de calor de MODIS o VIIRS fue significativamente alta en superficies afectadas menores a 10 ha (errores de omisión aproximado de 90%). Sin embargo, esta deficiencia de detección disminuyó para áreas quemadas mayores a 50 ha (errores de omisión menores al 30% utilizando VIIRS SUOMI y JPSS-1). Estos resultados sugieren que los focos de calor provenientes de satélites no son adecuados para identificar fuegos activos de áreas quemadas pequeñas como resultado de una baja intensidad del calor que emiten y/o una corta duración de desarrollo. Los resultados de este estudio mejoran nuestra comprensión de la idoneidad de la detección de focos de calor para la prevención de incendios forestales en los Andes peruanos.

Estudio sobre Loss & Damage (pérdidas y daños) en el Perú – Una sistematización en base del caso de la cuenca del río Vilcanota-Urubamba (Cusco, Perú)

Jan R. Baiker, Dina Farfan Flores, Javier Farfan Flores, Miguel Arestegui, Colin McQuistan

El concepto de pérdidas y daños (Loss & Damage o L&D) ha ganado importancia en las negociaciones internacionales sobre cambio climático (CC), en la ciencia y en la gestión política. Se define como los impactos del CC que no son evitados a través de la mitigación o adaptación. L&D pueden ser directos o indirectos y se los puede evaluar desde una perspectiva cuantitativa (económica) o más cualitativa (no económica).

En estudio optó por desarrollar entendimiento común sobre L&D inducidos por el CC en el Perú, por proveer una sobrevista detallada de las herramientas y metodologías usadas en la práctica para enfrentar L&D al nivel nacional y a nivel de cuencas. El enfoque del estudio eran los riesgos climáticos más prevalentes en las comunidades dentro de la cuenca del río Vilcanota-Urubamba (región Cusco, Perú), en contexto de las intervenciones de la Zurich Flood Resilience Alliance.

Se presentan los resultados y las conclusiones referente a los siguientes cinco objetivos del estudio:

- 1) lecciones aprendidas y brechas identificadas a distintos niveles políticos /de gestión, en abordar L&D.
- 2) marco metodológico para evaluar y abordar L&D de estresores relacionados con el clima y enlazados con el riesgo de inundaciones, considerando peligro, exposición y vulnerabilidad, sus impactos y sus límites.
- 3) análisis de los L&D que incluyen las pérdidas económicas y no-económicas causadas por inundaciones en las comunidades de la cuenca alta y media del río Vilcanota-Urubamba y evaluación como estas comunidades tratan los riesgos por inundaciones y evitan L&D a través de varias medidas de prevención y adaptación.
- 4) Revisión del estado de arte de la capacidad institucional para abordar L&D relacionado con el CC e identificación de la capacidad específica y requerimientos institucionales a diferentes niveles.
- 5) Recomendaciones para tomadores de decisión para abordar L&D causados por factores inducidos por el CC.

Incendios en pastizales de Puna seca: usos del fuego y percepción del riesgo de incendios en la comunidad ganadera de Apachaco (Espinar, Cusco)

Rossi Taboada Hermoza, Alejandra Martínez Rengifo

En el Perú, en los últimos cinco años (especialmente entre el 2018 y 2020) se ha registrado un incremento notable en la ocurrencia de incendios forestales, especialmente en zonas de pajonales de Puna. Si bien se desarrollan acciones para prevenir y mitigar estos eventos, poco se ha trabajado en comprender el uso actual del fuego y la percepción del riesgo. Su entendimiento puede contribuir al diseño de estrategias para reducir el riesgo de incendios en pastizales y afectaciones a las poblaciones más vulnerables.

Esta investigación tiene por objetivo analizar la ocurrencia de incendios forestales en pastizales de Puna a partir de los usos del fuego en la actualidad y la percepción del riesgo de incendio forestal en el caso de una comunidad predominantemente ganadera, como es Apachaco, ubicada en el distrito de Coporaque (Espinar, Cusco). De acuerdo a diversos estudios en Perú y otras regiones del mundo, el uso controlado del fuego en la ganadería ha tenido como principal finalidad la renovación de pastos más apetecibles para el ganado. Los resultados de esta investigación, de tipo cualitativo y etnográfica, revelan que los usos del fuego están asociados a la actividad agrícola, contrariamente a lo que señala la literatura hasta el 2017. En esta zona ganadera, con procesos de cambio de sistema de propiedad y de desarrollo de actividad agropecuaria tecnificada, el uso del fuego es cada vez menor; sin embargo, en la zona todavía se registran incendios asociados al descontrol en el uso del fuego con fines agrícolas y causas naturales.

SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

MO
QUE
GUA
2023

8 al 10
Noviembre

TEMA 3

Recursos hídricos en
ecosistemas de montaña:
impactos del retroceso
glaciar, adaptación y
oportunidades

Riesgo de degradación de los ecosistemas altoandinos en dos microcuencas de la subcuenca Chamacna, Lurín

Onocuica Quiroz Samanta Croshet

El presente estudio buscó estimar el estado de conservación de los ecosistemas, el grado de erosión y deposición del suelo para generar información que permita identificar el riesgo de la degradación de los ecosistemas altoandinos en dos microcuencas de la subcuenca Chamacna, perteneciente a la cuenca Lurín, distritos de San Andrés de Tupicocha en la región Lima. Debido a que estos ecosistemas proveen servicios a las poblaciones más aledañas, así como regulación hídrica aguas abajo. Se mapearon ecosistemas con el uso de la clasificación supervisada (Random Forest) aplicado en la plataforma GEE, obteniéndose 10 tipos de cobertura, una PG (precisión general) de 97% e índice Kappa de 0,95. El estado de los ecosistemas altoandinos se estimó evaluando en campo atributos e indicadores de conservación con la metodología desarrollada por el MINAM (2016a) y el uso de QGIS en gabinete. Asimismo, se priorizaron los ecosistemas caracterizados por la vegetación de pajonal y matorral. El grado de erosión y deposición se estimó aplicando el modelo USPED compuesto por factores biofísicos aplicando la herramienta GRASS-GIS 7.8. Seguidamente, se obtuvo el riesgo de degradación del ecosistema en cada microcuenca. La microcuenca Vichibampa presenta una cobertura del 33,6% con matorral denso y 25% de matorral con erosión severa-alta (20 t.ha-1.año a más), el 12,8% de matorral denso y 8,7% de matorral disperso con deposición muy alta (5 t.ha-1.año a más) y 23,6% de pajonal con erosión severa-alta y el 17,15% con deposición muy alta. La microcuenca Casama presenta el 40,8% de matorral denso y 29,8% de matorral disperso con erosión severa-alta, el 4,2% de matorral denso y 6,1% de matorral disperso con deposición muy alta y un 37,3% de pajonal con erosión severa-alta y el 8,8% con deposición muy alta. Finalmente, identificar las áreas con mayor riesgo posibilitó plantear medidas de prevención y protección.

Variación espacio-temporal de la cobertura de nieve en el departamento de Moquegua a partir de productos MODIS - TERRA

Mayra Doris Mejía, Juan de Dios Fernandez Vega, Yadira Curo, Gladis Celmi Henostroza

Durante las últimas seis décadas, los andes peruanos han perdido más del 56% de su cobertura glaciar, ello ha significado la desaparición de glaciares en algunos departamentos del Perú. De acuerdo a los inventarios de glaciares elaborados por diferentes instituciones, el departamento de Moquegua ha perdido por completo su cobertura de glaciares libre y cubiertos de detritos. Sin embargo, aún prevalecen importantes eventos nivales cuyo aporte contribuye a la regulación y suministro de agua en esta región. Por ello, el presente trabajo tiene por finalidad analizar las variaciones temporales y espaciales de la cobertura de nieve en el departamento de Moquegua que permita entender el régimen nival para la adecuada gestión del recurso hídrico a nivel de cuencas.

Se aplicó una metodología basada en el uso de productos MOD10A1 (cobertura Diaria) y MOD10A2 (cobertura máxima de 8 días), derivados del procesamiento de las imágenes del sensor MODIS/Terra (EOS), de los que se obtuvo la cubierta nivosa del departamento de Moquegua durante el período 2001 al 2022. Estos datos han sido procesados haciendo uso de la plataforma de Google Earth Engine, software de conversión HDF a GeoTIFF y GIS para el análisis geoespacial.

Los resultados, muestran que la acumulación de nieve es mayor entre los meses de enero y marzo. En el ranking anual los años 2016, 2014 y 2010 evidencian menor cobertura acumulada de nieve, producto de los eventos ENOS que impactan en las precipitaciones de los meses con evento nival. Altitudinalmente la mayor acumulación se da entre los 4450 y 5675 m snm, y en zonas asociadas a pendiente moderada (2°-15°). Asimismo, se evidencia mayor presencia de nieve acumulada en la cuenca del Tambo, cuyo principal aporte proviene de la cordillera Barroso y otras zonas de cabecera de cuenca.

Análisis de la persistencia de cuerpos de agua en el departamento de Moquegua

Gladis Celmi Henostroza, Juan de Dios Fernandez Vega, Mayra Doris Mejía, Yadira Curo

La disponibilidad de los recursos hídricos está siendo afectada por el cambio climático, el acelerado retroceso glaciar y la mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos (lluvias intensas y sequías), que alteran el régimen hidrológico de las lagunas y otros ecosistemas de montaña. En consecuencia, el suministro de agua en las ciudades está seriamente afectado, principalmente en aquellas zonas con ausencia de glaciares libre de detritos. Es el caso del departamento de Moquegua, que es considerada zona con déficit hídrico. Su fuente principal de agua son los ríos provenientes de las cabeceras de cuenca, donde también están los cuerpos de agua (CA) como las lagunas; fuentes que se alimentan de precipitaciones líquidas y sólidas (nieve) que ocurren en la zona.

Con esta investigación se buscó determinar la persistencia de CA, para ello se identificaron 149 CA, donde se implementó el análisis de persistencia, evaluando la dinámica de cada CA mediante herramientas de programación e imágenes satelitales en el periodo 2000 – 2020. El porcentaje de persistencia es el resultado de la cantidad de veces que aparece un CA, entre el total de imágenes disponibles en el periodo de evaluación y la variabilidad de su superficie. Con los resultados se clasificaron los CA en: a) Permanente (persistencia mayor al 60%) b) Estacional (entre 60% y el 15%) y; c) Temporal (menor a 15%). En Moquegua se identificó que el 49% de CA son permanentes, el 48% son estacionales y el 3% son temporales. Además, se evaluó el impacto de los eventos extremos en la superficie de lagunas, identificando meses y años anómalos (exceso o escasez de precipitaciones según el periodo) en el comportamiento de una laguna.

Siendo importante la información para la gestión del recurso hídrico y mecanismos de conservación de los CA, ya que en Moquegua no se cuenta con zonas de protección.

Metodología para la determinación de la capacidad de carga acuícola en lagos y embalses altoandinos

Albert Johan Mamani Larico, Angela Milagros Figueroa Tapia, Sebastián Tapia Manchego, Zaida Ysidora Samanez Calderon, Gian Anthony Salazar Torres

El creciente desarrollo de la acuicultura de agua dulce en Perú, impulsado por políticas, planes y programas del estado, buscan mejorar la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de comunidades altoandinas. Sin embargo, su desarrollo no regulado, especialmente en jaulas flotantes, genera impactos ambientales que afectan a los diferentes usos de agua asignados, principalmente el de consumo humano. Para garantizar el desarrollo sostenible de la acuicultura en jaulas flotantes, es necesario establecer un límite de producción acuícola, basado en las características hidrológicas, geomorfológicas y de calidad del agua de los cuerpos de agua. Este límite de producción acuícola puede determinarse a través de la propiedad de asimilación o capacidad de carga del cuerpo de agua, por medio de modelos como el de Beveridge, recomendado por la FAO y modelos físicamente basados como el de Chapra. La presente metodología propuesta se aplicó en el embalse El Pañe, ubicado en la provincia de Espinar, Cusco, cuyas aguas son trasvasadas hacia la UH Chili, en la región de Arequipa para diferentes usos, el consumo humano dentro de ellos. Este embalse presenta reiterados problemas de floraciones de cianobacterias desde el 2014, así como un desarrollo acuícola creciente mediante jaulas flotantes. Primero se determinó la tasa de incremento de la capacidad de carga mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución y el modelo inverso de Beveridge, determinando un incremento de 133 ton/año. Posteriormente se determinó la capacidad de carga acuícola que permite mantener una concentración objetivo de 35 ug/L de fosforo total corresponde a 495 ton trucha/año, con un 75% de confianza, obtenido a través de un análisis de incertidumbre y sensibilidad. Estos resultados permitieron plantear 4 escenarios de gestión y evaluar sus efectos para determinar la mejor alternativa para los tomadores de decisión.

Teratologic diatoms as bioindicators of high heavy metal concentration on surface waters from the Cordillera Blanca, Ancash

Pedro Miguel Tapia, Yeidy Montano, Monica Socola

Acid Rock Drainage (ARD) due to glacier retreat is a natural process that poses a serious risk in several places along the tropical Andes of Peru. After ice and snow melting, exposed basement rocks react to oxygen and rain water oxidizing sulfite-bearing minerals allowing to form sulphuric acid and lixivate heavy metals onto running waters. ARD affects the chemical, physical, biological, and ecological components of any aquatic and surrounding ecosystems in several ways such as increased acidity, reduction in pH, destruction of bicarbonate system, increase in soluble metal concentrations and particular metals, adsorption of metals onto sediments, decrease in light penetration, death of sensitive species, acute and chronic toxicity, toxin bioaccumulation within food chain, reduction in primary productivity, among others. Socioeconomic impact's are also extensive because of the avoidance of ARD waters for human and cattle consumption; low yield and contaminated soil in agriculture; as well as chronic toxicity on humans, plants, and animals.

A two-year investigation (2020-2021) of diatom (Bacillariophyceae, siliceous microalgae) survey (n=78) in five hydrographic units at the Cordillera Blanca, Ancash, allow us to identify several communities along a pH (3 to 10) gradient. Periphyton and surface sediment samples showed acid tolerant diatoms composed of several species of the genera *Eunotia* and *Frustulia*, meanwhile towards the other end, circumneutral to low alkaline assemblage are species of the genera *Achnantheidium*, *Encyonema*, *Staurosirella*, *Cocconeis*, *Nitzschia*, *Fragilaria*, *Brachysira*, and *Tabellaria*. Shannon-Weiner diversity index indicates lower values in acid tolerant assemblages than in the circumneutral-low alkalinity ones.

A subset of samples (n=50) composed of teratologically deformed to ornament-altered diatom valves is present along this pH gradient. Using the threshold value of 3.5 ‰ (Morin et al., 2012) at pH less than 5.5, we identify heavy metal impacted assemblages, although we also found deformed diatoms at higher threshold values (up to 44 ‰) in circumneutral waters. This may correspond to an initial stage of heavy metal lixiviation detected by sensitive taxa (*Encyonema*, *Ulnaria*, *Tabellaria*, *Fragilaria*). We hypothesize that this later association in non-acid waters could be used as an early warning system for ARD detection and that teratologically-deformed diatoms are important bioindicators that ought to be monitored for water quality studies.

Diseño de redes hidrometeorológicas en cordilleras glaciares del Perú: Cordillera Huayhuash y Huallanca

Danny Robles, Diego Santillana Villagomez, Luzmila Dávila Roller

Las cordilleras glaciares ofrecen servicios ecosistémicos hídricos y representan áreas de captación de las principales unidades hidrológicas del Perú, sin embargo, en estas zonas existe una amplia brecha de información hidrometeorológica in situ (una estación meteorológica por cada 10000 Km²) debido a su complejidad social y geográfica. Este problema es una limitante para comprender la dinámica hidrometeorológica y tomar decisiones basadas en evidencia para la gestión de recursos hídricos. En la cordillera Huayhuash (1166.5 Km²) se han identificado dos estaciones hidrometeorológicas, mientras en la cordillera Huallanca (990.6 Km²) solo una, considerando que poseen 137 y 150 centros poblados respectivamente, los cuales, utilizan el agua proveniente de cabeceras de cuenca.

Este proyecto plantea fortalecer la gestión de recursos hídricos mediante el diseño e instalación de redes de estaciones hidrometeorológicas en estas cordilleras. Para ello, se establecieron tres etapas utilizando el análisis multicriterio (AMC) mediante SIG, la primera etapa consistió en identificar áreas potenciales bajo cuatro criterios, pendientes, eventos de GLOFs, distancia a poblados y comisarías, en la segunda etapa se ubicaron puntos de estaciones mediante los criterios de clima y altitud, y en la tercera etapa se definirán si los puntos propuestos son factibles, evaluando la densidad de estaciones, territorios comunales, accesibilidad y finalidad de la información. Los resultados de la segunda etapa del AMC proponen 63 estaciones meteorológicas y 11 estaciones hidrológica en la cordillera Huayhuash, y 30 estaciones meteorológicas y siete estaciones hidrológica en la cordillera Huallanca. Éstas cantidades se evaluarán en la tercera etapa, dada la complejidad de los socio-ecosistemas en estos espacios. Asimismo, esta investigación propone una metodología que podría ser utilizada para la implementación y optimización de redes de estaciones hidrometeorológicas en las demás cordilleras glaciares del Perú, donde las observaciones in situ son escasas y necesarias en el contexto actual de cambio climático.

Estudio ecohidrológico de un bofedal como base para su restauración ecológica

Helder Mallqui, Cristian quispe, Nancy Argueta

A los humedales de gran altitud de los Andes, se les conoce localmente como bofedales. Los bofedales trabajan como reguladores hídricos, tanto en calidad como en cantidad, y su capacidad de almacenamiento de carbono los hace ecosistemas vitales por los servicios ecosistémicos que brindan y la biodiversidad que albergan. Tienen una gran capacidad de almacenar turba, generalmente se puede encontrar *Distichia muscoides*, que crece en forma de cojines y forma turba. El objetivo de la investigación fue establecer un sistema de monitoreo ecohidrológico a largo plazo, que permita entender el funcionamiento de un bofedal y como base para el establecimiento de medidas de restauración y la generación de evidencia científica sobre sus impactos en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos. El área de investigación tuvo lugar en el bofedal Ichikollcococho, ubicado en la parte alta de la unidad hidrográfica Pachacoto, cuenca del río Santa, dentro del Parque Nacional Huascarán en Áncash. Isopropundidad, conductividad hidráulica, caudal, descarga específica y gradiente hidráulico fueron algunos de los parámetros evaluados. El cálculo de volumen de almacenamiento se realizó con los datos de las observaciones de los piezómetros de los niveles máximos y mínimos en relación con la superficie del terreno. Usando el registro de nivel piezométrico y las características hidrogeológicas se estimó el caudal, velocidad y tiempo de residencia promedio del agua en el bofedal. Los resultados muestran que la conductividad hidráulica disminuye de 30,3 a 0,23 m/día junto a la dirección de flujo dominante norte-este a sur-oeste, el volumen útil de almacenamiento estimado es de 128 481 m³, tiempo de residencia de 0,86 años. Esto permite concluir que el bofedal estudiado se comporta como un acuitardo, teniendo una capacidad mayor de almacenamiento y una limitada capacidad de transmisión de agua horizontal y verticalmente hasta la profundidad estudiada.

El cambio climático y el drenaje ácido de roca: una propuesta de evaluación de impactos en los medios de vida de la subcuenca del río Quillcay, Áncash

Mirtha Josefina Camacho, Eliana Cerdán Estrada, Rosa María Dextre, Yessica Gutierrez Quenta, Peter D. Waugh

En las zonas altoandinas del Perú, las personas y los ecosistemas interactúan constantemente en torno a un flujo vital para ambos: el agua. Sin embargo, las fuentes de agua de las montañas están siendo afectadas por el cambio climático. Un fenómeno poco entendido y visibilizado es el drenaje ácido de roca (DAR) que se genera, entre otros factores, por el retroceso glaciar. Los factores biogeofísicos que influyen en la generación del DAR son principalmente la presencia de minerales sulfurados en rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, así como la exposición de los mismos a agentes oxidantes (Montano et al., 2021).

El presente estudio se enfoca en comprender la dimensión socioeconómica de los impactos a causa del DAR, un aspecto poco estudiado en las zonas donde se presenta este fenómeno, a pesar de los efectos en los servicios ecosistémicos hídricos. De esta forma, se utiliza el enfoque de riesgo climático, como marco conceptual para visibilizar el grado de afectación actual y las medidas necesarias ante el DAR como un fenómeno complejo que ya está afectando los medios de vida de las comunidades altoandinas altamente vulnerables al cambio climático (IPCC, 2023).

El estudio propone un marco de relación entre las dimensiones sociales y ecológicas para comprender los impactos del DAR. Además, ofrece una visión holística de los nuevos retos que plantea la crisis climática para la seguridad hídrica en la zona altoandina. Con este fin, se presenta un estudio de caso que evalúa los impactos socioeconómicos del DAR en el sector agropecuario de una zona priorizada en la subcuenca del río Quillcay, en la provincia de Huaraz, Áncash.

Influencia de la revegetación con pastos nativos sobre la dinámica hídrica de la capa de suelo superficial en la microcuenca Piuray - Cusco

Carlos Alberto Lazo Oscanoa

La microcuenca Piuray alberga ecosistemas esenciales para la recarga hídrica de la laguna Piuray, que a su vez aprovisiona de agua a gran parte de la población de Cusco, sin embargo, muchos de estos ecosistemas se encuentran degradados o en proceso de degradación, por lo que medidas como la revegetación con pastos nativos para la recuperación de áreas degradadas permitiría reducir la vulnerabilidad de sufrir estrés hídrico en Cusco a futuro. Nuestra área de estudio corresponde a la cabecera de la microcuenca Piuray, localizada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región de Cusco, comprende un ecosistema de pajonal y césped de puna a una altura de más de 4000 msnm. Realizamos translocaciones de pajonal de la especie *Festuca dolichophylla* mediante tres tratamientos (con abono orgánico, abono inorgánico y sin abono) y un control sin translocaciones, sobre dos parcelas experimentales de 160m² cada una. Periódicamente se evaluó el vigor y la mortalidad de las translocaciones, también se midió la humedad volumétrica de la capa de suelo superficial cada 15 minutos y la precipitación total durante un periodo de 8 meses. Los resultados hasta la fecha muestran un mayor índice de supervivencia de las translocaciones en el tratamiento con abono orgánico, así como un mayor porcentaje de humedad volumétrica en promedio, seguido del tratamiento sin abono. Estos resultados preliminares nos indican que la utilización de fertilizantes favorece el proceso de revegetación con pastos nativos, y que los abonos orgánicos son los más convenientes; que el tratamiento con abono orgánico muestre un mayor porcentaje de humedad volumétrica que el control sin translocaciones, indica que la revegetación facilita la retención de humedad en la capa de suelo superficial y por lo tanto favorece la recarga hídrica de la laguna Piuray.

Comparación de las velocidades superficiales estimadas por análisis de imágenes en la unidad hidrográfica del río Quillcay, 2023

Edwin Loarte, Katy Medina, Francisco Castillo-Vergara, Jhon Salas, Hairo Leon, Alexis Palma, Sofia Rodriguez-Venturo, Alexzander Santiago Martel

La velocidad superficial es un factor clave para la cuantificación de los recursos hídricos, así mismo, es un indicador del retroceso glaciar y de la precipitación en determinada cuenca. Diversas investigaciones se han centrado en determinar el impacto del retroceso glaciar en la escorrentía superficial, sin embargo, han empleado equipos con un elevado costo y un alto riesgo en muchos casos. En este sentido, surge la necesidad de explorar nuevas metodologías que permitan obtener resultados equivalentes en situaciones donde los enfoques convencionales puedan no ser viables. En esta investigación se realizó un análisis comparativo de la estimación de la velocidad superficial de un tramo del río Quillcay, usando datos de detección remota, mediante el método de velocidad de imagen de partículas (PIV). Se recolectaron datos de videos grabados dentro del rango espectral visible, usando una cámara de dispositivo móvil (celular) y una cámara en un dron modelo DJI Phantom 4 RTK. Los datos fueron procesados usando el software RIVeR y su interfaz de PIVlab GUI, para el cálculo de la velocidad superficial. Los resultados obtenidos muestran que las variaciones de la velocidad son ligeras entre ambos dispositivos, obteniendo valores de 1.27 m/s y 1.15 m/s de los videos de dron y celular, respectivamente. La estimación de la velocidad obtenida con datos de dron es el más aceptable, debido a que se tomó en vista perpendicular a la superficie, con buen enfoque y buena estabilidad. En conclusión, el uso de tecnologías y software de bajo costo es una buena alternativa para la obtención de datos con alta precisión y de manera segura en zonas de difícil acceso.

Disminución de la cobertura glaciar del Nevado de Coropuna en el periodo 1963-2023 para la propuesta de adaptación ante la inseguridad hídrica

Gianela Milagros Paz Cahuina, Yulissa Deysi Salcedo Valencia

Los glaciares alrededor del mundo se encargan de almacenar agua dulce, que puede emplearse en diversos sectores y actividades diarias, sin embargo, las alteraciones climáticas e hidrológicas conllevan a la reducción de superficies glaciares considerablemente, es así, que la superficie glaciar del Nevado Coropuna es la fuente principal de abastecimiento del recurso hídrico en cuencas de la región Arequipa, por lo que su reducción podría generar severos impactos negativos en el suministro de agua. Por tal motivo, el principal objetivo de la investigación se centra en proponer medidas de adaptación frente a la inseguridad hídrica que atravesaría la región, dada la reducción del glaciar del Nevado Coropuna, por lo que se recopiló información de relevancia para realizar análisis multitemporales en el periodo de 1963 - 2023, asimismo, se procesaron todas las imágenes satelitales, permitiendo identificar el retroceso glaciar, de igual manera, se aplicó la ecuación de tasa de retroceso, donde, se consideraron áreas superficiales y número de años, resaltando que el Nevado Coropuna ha reducido su cobertura glaciar en más del 65%, dado el incremento de temperaturas en 0.42% ya escasez de precipitaciones. En tal sentido, se concluye que esta investigación ayudará a determinar la influencia del incremento de temperatura que en la mayoría presenta tendencias significativas y positivas en el retroceso acelerado de la superficie del nevado Coropuna, así mismo podría incrementar los caudales en los cauces de los ríos, afectando así a los habitantes cercanos. Se sugiere efectuar propuestas de conservación para los nevados en el Perú, dado que ante los impactos del cambio climático se requiere con urgencia conservar este tipo de fuentes y reservas de agua dulce con el fin de garantizar la presencia de ecosistemas, continuidad de actividades económicas y abastecer las necesidades básicas de la población.

Evaluación de escenarios de cambio climático en la cuenca del Río Santa-Perú desde el 2021 hasta el 2080

Cintya Katerine Espinoza A, Isabel C. Granados Quispe, Rosmery Lidez Condori Huanca, Paola A. Jeremias Espinoza

La cuenca del río Santa es la más importante en la región, debido a la Cordillera Blanca y la cantidad de glaciares que alberga en su interior. Esta es vulnerable al cambio climático, lo que afecta a diversos sectores, ya que se desconoce el comportamiento de las precipitaciones en el futuro y cómo estas podrían tener un impacto. Por esta razón, este estudio analiza los patrones de precipitación y temperatura, bajo los escenarios SSP 245 (moderado) y SSP 585 (severo) del CMP6 con alta resolución. Los resultados más significativos indican que en toda la cuenca se espera una tendencia al aumento de las precipitaciones, siendo más significativo en las zonas de mayor altitud, por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar, que en las zonas más bajas de la cuenca. Además, se prevé un mayor incremento de las precipitaciones en las zonas norte y sur, lo que se traduce en un aumento de la variabilidad, acompañado de un aumento de la temperatura. Los cambios en la precipitación bajo el escenario SSP 585 son aproximadamente el doble que los del escenario SSP 245. Por ejemplo, para el período climatológico de 2061-2080, se espera un aumento del 12% en las precipitaciones anuales en el escenario SSP 245, mientras que en el escenario SSP 585, el aumento puede llegar hasta el 30% en las zonas con mayor precipitación. En cuanto al período climatológico de 2021-2040, no se anticipan cambios significativos en las precipitaciones bajo el escenario SSP 245, pero en el escenario SSP 585 se observa un aumento del 4% al 10% en la precipitación anual en toda la cuenca. Estos resultados son esenciales para mantener informados a los tomadores de decisiones con el fin de respaldar estrategias resilientes al cambio climático y promover una gestión sostenible del agua.

Análisis de los modos de variabilidad de la precipitación en la cuenca del Río Santa-Perú, utilizando análisis de componentes principales (PCA)

Andres Fernando Figueroa Curo, Daniela Velásquez Gushike, Paola A. Jeremias Espinoza

La precipitación exhibe una variabilidad notoria en comparación con otras variables atmosféricas, debido a la influencia de factores de variabilidad que aumentan su naturaleza estocástica. En la cuenca del río Santa, la precipitación se ve afectada por varios factores de variabilidad en diferentes escalas temporales (diaria, semanal, mensual, anual, etc.). El factor principal es El Niño, que influye en las lluvias a escala interanual. Este estudio tiene como objetivo validar los datos y descomponer los modos de variabilidad en diversas escalas temporales para analizar su relación con El Niño. Se utilizó el método de Análisis de Componentes Principales (PCA) en datos de precipitación recopilados de productos grillados en la cuenca del río Santa desde 1981 hasta el 2015. Al validar los datos reales, se encontró que RAIN4PE tenía mejores validaciones que PISCO debido a un menor error cuadrático medio (MSE) y una mejor correlación con las estaciones de mayor altitud, a diferencia de PISCO, que mostró una mejor correlación con estaciones de menor altitud. En cuanto a la regionalización de las lluvias con funciones empíricas ortogonales (EOF), se observó una tendencia positiva en la zona oeste (menores altitudes) de la cuenca y una tendencia negativa en la parte este (mayores altitudes) para el EOF 2. Además, en toda la cuenca, se encontró una correlación débil e inversa con los dos primeros componentes principales. Sin embargo, al analizar la resolución temporal anual, se observó que el PC2 mostraba valores de correlación positiva moderadamente significativos (entre 0.5 y 0.6) con los índices de la región 1+2, como el Índice del Niño Costero (ICEN) e Índice E. Este estudio proporciona un marco de apoyo para anticipar y adaptarse a cambios en los patrones de precipitación, además de informar la toma de decisiones y orientar futuras investigaciones en esta área.

Evaluación de eventos extremos de precipitación en la cuenca del Río Santa-Perú 1981-2015

Maryann Alessandra Alata Chambilla, Sara M. Balvin Velásquez, Daniela Velásquez Gushiken, Andres Fernando Figueroa Curo

La cuenca del río Santa desempeña un papel importante en el contexto peruano por albergar la mayor reserva de agua dulce congelada de Perú en la Cordillera Blanca y por proveer recursos hídricos esenciales para el desarrollo de las ciudades principales de Chimbote y Huaraz, así como del sector de agroexportación y energético dentro y fuera de la cuenca. No obstante, tanto la cuenca como sus glaciares se ven significativamente afectados por los extremos de las temporadas húmedas y secas, traducidas como lluvias extremas y sequías. Con el propósito de abordar esta problemática, se validó los conjuntos de datos grillados PISCO y RAIN4PE con 6 estaciones aleatorias y se identificó que RAIN4PE presenta un ajuste más óptimo a la cuenca. Posteriormente, se llevó a cabo una evaluación de los extremos climáticos de precipitación entre los años 1981 y 2015 en base a índices climáticos. La mejor correlación con los indicadores de precipitación extrema en la cuenca del río Santa son aquellos relacionados con la variabilidad en el océano Pacífico, específicamente el índice C (calentamiento anómalo superficial en el Pacífico Centro), el índice E (calentamiento anómalo superficial en el Pacífico Este) y el PDO (Oscilación Decadal del Pacífico). De ello se destaca que la precipitación máxima en un período de 5 días en la cuenca está mayormente influenciada por el índice E. Por otro lado, la cantidad total de precipitación en días húmedos se ve principalmente afectada por los índices C y E. Además, el índice climático PDO muestra una correlación más significativa con el número de días de precipitación y el promedio de días húmedos consecutivos. Estos resultados ofrecen información crucial para la toma de decisiones y la planificación de medidas de mitigación y adaptación frente a los impactos del cambio climático en esta región estratégica.

Análisis de tendencias decadales de cuerpos de agua lénticos de Arequipa con series de tiempo de imágenes Landsat

Daryl Ernesto Ayala Saavedra

El agua es un recurso fundamental para lograr un desarrollo sostenible e inclusivo. En un contexto de crisis climática es esencial monitorear de cerca los cambios en los cuerpos de agua dulce terrestres para proporcionar información precisa a los encargados de tomar decisiones y así contribuir de manera efectiva al desarrollo sostenible y a la seguridad hídrica y alimentaria.

En este estudio, se utilizaron series temporales de imágenes satelitales de los satélites Landsat 4, 5, 7, 8 y 9 para llevar a cabo la delimitación de cuerpos de agua lénticos en la región de Arequipa, Perú entre los años 1987 a 2022. Utilizando una plataforma de cómputo geoespacial en la nube Google Earth Engine se logró computar el área de estos cuerpos de agua utilizando los índices NDWI, MNDWI, AWEInsh, AWEIsh, NWI y EWI, en imágenes satelitales que estaban libres de nubes, sombras, nieve y gaps (característicos de imágenes de Landsat 7). Se analizó la tendencia del área de cada cuerpo de agua utilizando la prueba no paramétrica de Mann Kendall y la curva de Sen para evaluar la magnitud de esta tendencia.

El análisis reveló que la mayoría de los cuerpos de agua examinados se encuentran en altitudes de 4000 a 5000 metros sobre el nivel del mar. Además, se observó que la mayoría de los cuerpos de agua mostraron una tendencia de incremento. Este incremento en el tamaño de los cuerpos de agua podría estar relacionado con los procesos de deshielo glaciar. Este estudio demuestra la importancia de utilizar la computación geoespacial en la nube y el análisis de datos históricos para comprender y abordar los desafíos asociados con la gestión del agua.

Análisis de tendencias hidroclimáticas en la cuenca del río Salcca, CUSCO (PERÚ)

Giovanna Egas Tapia

Se utilizó el test de Mann-Kendall para analizar las tendencias hidroclimáticas en la cuenca del río Salcca (Cordillera Vilcanota- Región Cusco) desde 1965 hasta 2005 utilizando datos de las estaciones meteorológicas de los alrededores del área de estudio (180 Km) y series temporales de escorrentía en la cuenca del río Salcca. Las tendencias de la temperatura máxima y mínima del aire, la precipitación y la escorrentía se comprobaron en las escalas de tiempo anual, estacional y mensual. Se analizó la relación entre la escorrentía y la variabilidad climática, y la relación de las variables hidroclimáticas con el fenómeno ENSO, en ambos casos mediante el método de rango de Spearman. Los resultados muestran el incremento en magnitud de las temperaturas máximas medias a escala anual, estacional y mensual, sin embargo no se detecta la misma proporción en todas las estaciones meteorológicas. Por otro lado, la tendencia positiva de la precipitación prevalece en la escala anual, sin embargo en la escala intraestacional se mantiene principalmente en el período húmedo (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo), mientras que se detectaron tendencias predominantemente negativas durante el período seco (mayo, junio, julio y agosto) y el segundo período de transición (septiembre, octubre) en las últimas cuatro décadas. Por otro lado, la escorrentía muestra principalmente tendencias positivas a lo largo de la escala anual, estacional y mensual, y una tendencia positiva en el caudal del régimen del río Salcca en los últimos 15 años. Los cambios en la escorrentía están en concordancia con el comportamiento de la precipitación que al mismo tiempo está influenciada de los eventos y anomalías del ENSO. Sin embargo, no hay una explicación clara para el aumento de la escorrentía durante el período seco y la segunda transición, la fuente más probable en estos periodos es el deshielo de los glaciares.

SIMPOSIO
LAS MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO

MO
QUE
GUA
2023

8 al 10
Noviembre

TEMA 4

Biodiversidad, conservación
y recuperación de los
Ecosistemas de montaña

¿Cómo es la ecología del paisaje en los bosques altoandinos? Características genéticas y ecológicas de *Polylepis canoi*

Fressia Ames Martínez, Harold Quispe-Melgar, Vladimir Camel, Edith Orellana, María Claudia Segovia-Salcedo, Ernesto C. Rodríguez-Ramírez, Michael Kessler

El género *Polylepis* conforman uno de los ecosistemas más vulnerables a nivel mundial, que representan la vegetación natural de los Andes entre los 3.000 a 4.900 msnm. Ocupa una gran variedad de hábitats, representando un sistema biológico, geográfico y ecológico único que alberga flora y fauna endémica. Estos bosques se caracterizan por tener una distribución fragmentada, por lo que es necesario realizar estudios genéticos y ecológicos, permitiendo así comprender mejor su comportamiento histórico y su respuesta frente al cambio climático. Por ese motivo, se determinó cómo las características ecológicas influyen en la genética y distribución espacial de los bosques de *Polylepis canoi*; para ello se utilizaron microsatélites (marcadores SSR) con el fin de determinar la diversidad genética en dos generaciones de plantas adultas y jóvenes, y las características autoecológicas y sinecológicas de estos bosques. Los análisis se realizaron en relación a factores de ubicación geográfica, altitud y condiciones ambientales. Obtuvimos un perfil de la diversidad genética y ecológica que permitirá explicar en parte cómo los bosques altoandinos logran establecer su nicho ecológico idóneo en hábitats particulares, esto permitirá tener mejores estrategias de conservación y/o restauración de estos ecosistemas.

Capacidad adaptativa de *Polylepis* de alta montaña ante eventos de sequía ¿cómo la anatomía de la madera explica la resiliencia climática en alta montaña?

Ernesto C. Rodríguez-Ramírez, Doris B. Crispín-DelaCruz, Fressia Ames, Anthony Guerra, Ginette Ticse-Otarola, Edilson Jimmy Requena-Rojas

En las últimas décadas se ha evaluado ampliamente el impacto de las variaciones climáticas en la anatomía de la madera de diversas especies arbóreas; no obstante, poco se ha estudiado de cómo la plasticidad hidráulica de los vasos de xilema se adapta ante el aumento de la temperatura. El efecto de la sequía sobre la anatomía de la madera y la conductividad hidráulica dependen de la capacidad de adaptación de las especies arbóreas de alta montaña como *Polylepis*. Evaluamos la adaptación de la arquitectura de los anillos de crecimiento y de caracteres de los vasos de xilema (diámetro hidráulico, índice de vulnerabilidad y densidad de los vasos) de tres especies de *Polylepis* (*P. rodolfovasquezii*, *P. rugulosa* y *P. tarapacana*). El efecto de la sequía influyó en la capacidad de las especies de *Polylepis* para ajustar el ancho de los anillos de los árboles y los caracteres anatómicos de los vasos. Nuestros resultados sugieren que los eventos de sequía principalmente influyen en la adaptabilidad y resiliencia de las especies de *Polylepis* a los periodos secos y también podrían restringir su permanencia como parte de los ecosistemas de puna y montaña de los Andes peruanos. No obstante, *P. tarapacana* presentó caracteres anatómicos mejor adaptados a ambientes más xéricos (diámetro hidráulico más pequeño, e índice de vulnerabilidad xérico).

Caracterización de la comunidad bacteriana cultivable del glaciar cubierto de Llaca, cordillera Blanca: una primera revisión

Sofía Rodríguez-Venturo, Francisco Castillo-Vergara, Eladio Tuya, Katy Medina, Edwin Loarte, Haydee Montoya, Cheryl Mejía-Uribe, Gabriel Lauya-Avelino, Yesenia Castro-Rodríguez, Holger Alva-Mejía, E. Julio Palomino

Los ecosistemas glaciares albergan comunidades biológicas que están dominadas por microorganismos, los cuales cumplen un papel clave en los ciclos biogeoquímicos en la superficie de los glaciares, así como, en la conducción del desarrollo y colonización del suelo tras su exposición debido al retroceso. Existen estudios microbiológicos previos, pero hasta la fecha, casi en su totalidad se han referido a glaciares con superficies de hielo expuestas (glaciares limpios) y no a glaciares cubiertos de detritos y escombros. En ese contexto, la investigación buscó estudiar a las comunidades bacterianas cultivables presentes en la lengua del glaciar cubierto de Llaca ubicado en la cordillera Blanca, Perú. Para ello, se evaluaron tres tipos de sustratos: detritos, agua (de lagunas supraglaciares) y núcleos de hielo. Se utilizaron técnicas dependientes de cultivo y se realizó un análisis fisicoquímico de los tres sustratos. Los resultados revelaron que las muestras de laguna y núcleo de hielo mostraron una abundancia de bacterias cultivables en el rango de 3.1×10^2 a 1×10^3 UFC/ml, mientras que, las muestras de detritos presentaron una abundancia en el rango de 6×10^5 a 14×10^5 UFC/g. Se obtuvieron un total de 50 aislamientos puros en condiciones de crecimiento aeróbico, la mayoría fueron psicrófilos según su temperatura de crecimiento. Además, se observó que las bacterias aisladas de lagunas supraglaciares exhibieron una notable diversidad en la producción de pigmentos, donde, se identificaron aislados puros pertenecientes a los géneros *Janthinobacterium*, *Iodobacter* y *Pseudomonas*, que destacaron por su capacidad para producir pigmentos visibles. Asimismo, se evidenció que un grupo de bacterias poseen la capacidad de producir biomoléculas con potencial biotecnológico. Nuestros resultados contribuyen al conocimiento de la ecología microbiana en glaciares cubiertos, siendo crucial para la protección de la biodiversidad en estos ecosistemas y su entorno, así como, para la bioprospección y descubrimiento de biomoléculas de interés biotecnológico.

¿Cuántos tipos de bofedales? Describiendo las comunidades vegetales de los bofedales en Ayacucho y Huancavelica

Monica Maldonado Fonken, Hector Chuquillanqui Soto, Bruno Vildoso

De 2017 a 2019 se evaluaron 31 bofedales entre 4200 y 4900 m de elevación a lo largo de un transecto de 100 km en los departamentos de Ayacucho y Huancavelica con el objetivo de caracterizar las comunidades vegetales. Se evaluaron 127 parcelas de 1x1 m (grid quadrat frame), ubicadas siguiendo un diseño estratificado aleatorio. La caracterización incluyó el número de especies, equidad, cobertura de especies dominantes y de especies indicadoras de humedad. Entre las trece comunidades vegetales identificadas en función a la especie dominante (> 40% de la cobertura vegetal), sólo siete (comunidades de *Distichia muscoides*, *Werneria pygmaea*, *Plantago rigida*, *Plantago tubulosa*, *Lachemilla diplophylla*, *Aciachne pulvinata*, *Juncus stipulatus*) se diferenciaron estadísticamente a nivel de composición y abundancia, sin diferencias entre los años de estudio (2017, 2018 y 2019). De las seis comunidades restantes, dos corresponden a comunidades mixtas (sin dominancia marcada de una especie), y cuatro (*Calamagrostis rigescens*, *Calamagrostis chrysantha*, *Distichia filamentosa*, y *Lobelia oligophylla*) tuvieron pocas replicas por ser poco frecuentes. Si bien las comunidades registraron en promedio un alto porcentaje de cobertura vegetal (93%), se registró variaciones dentro de las comunidades (66%-98%). El mismo patrón ocurrió con los indicadores de humedad (92%, vs. 65%-97%), el número de especies (7 vs. 6-12) y la equidad (0.6 vs. 0.38-0.86). Los resultados muestran por un lado la variabilidad espacial de los bofedales y por otro la estabilidad temporal de las comunidades vegetales en el período evaluado. Estos resultados tienen relevancia práctica en procesos de manejo y restauración de bofedales: si bien los valores promedios sirven como referente general, un proceso de monitoreo o restauración requerirá de la distinción de todas las comunidades vegetales para hacer un seguimiento más preciso de los cambios y para establecer metas de recuperación acordes con las características locales.

¿Qué tomar en cuenta para la revegetación con *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides*? Experiencias en bofedales de la puna seca

Monica Maldonado Fonken, Pamela Nina, Jorge Cuadros, Michelle Molina,
Sandro Ludeña, Alejandro Mejia

Como parte del Manejo Sostenible de la Biodiversidad (MSB) del proyecto minero Anglo American Quellaveco (AAQ), en Moquegua entre 2022 y 2023 se hicieron ensayos de revegetación en bofedales degradados, mediante el trasplante de 375 matas de dos especies típicas de bofedal: *Oxychloe andina* y *Distichia muscoides*. Los objetivos fueron evaluar la sobrevivencia de éstas, considerando un potencial efecto del pastoreo y momentos diferentes de trasplante (octubre, marzo). Por especie se emplearon tres parcelas, cada una con zonas con/sin cerco, y cada zona con tres plots (1m²) para trasplante y tres plots control. En todos los plots se evaluó la cobertura por especie. El monitoreo de las matas se hizo inmediatamente después del trasplante, a la semana y a las ocho semanas. Se evaluó la sobrevivencia y el vigor de las matas. En cada parcela se monitorearon: la humedad del suelo, la tabla de agua, el pH y la conductividad eléctrica. Para las dos especies, el trasplante fue más exitoso (sobrevivencia 100% y vigor alto dominante a la semana 8) cuando se realizó en plena época húmeda (marzo). Las bajas precipitaciones de 2022 asociadas con La Niña, afectaron la sobrevivencia (*O. andina* 72%, *D. muscoides* 29%), y el vigor de las matas trasplantadas en octubre. La humedad, sobre todo al momento de realizar el trasplante, así como el pH estarían asociados directamente con la sobrevivencia de las matas. En contraste, una mayor profundidad de tabla de agua en el inicio reduciría la sobrevivencia. Estos ensayos de revegetación hacen parte de la estrategia de gestión de la biodiversidad AAQ, encaminada hacia un balance positivo en términos de impactos en los componentes claves de la biodiversidad, como los bofedales, y contribuye a la identificación de las condiciones iniciales que facilitan un trasplante exitoso de especies claves de estos ecosistemas.

Identificación de la actividad reproductiva de la polilla *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), la plaga altoandina de la papa.

Carlos Alberto Lizana, Carlos Martel

La papa es la principal fuente de carbohidratos en las zonas altoandinas del Perú. Más de 600 mil pequeñas unidades agrarias la producen, las cuales son la base del mercado interno. Desafortunadamente, la productividad de la papa se ve afectada por el aumento de plagas, las que pueden afectar hasta el 90% de la producción total. La polilla *Phthorimaea operculella* es una de las mayores plagas de la papa en los Andes, A pesar de ello, no se conocen a detalle la biología reproductiva de la misma. Por tal motivo, la presente investigación tuvo como objetivo identificar la actividad reproductiva de la *Phthorimaea operculella* (Lepidoptero: Gelechiidae). Por ello se colectaron papas de zonas agrícolas en el Centro de Perú en búsqueda de larvas. Las larvas encontradas fueron criadas en cámaras contraladas y se les permitió reproducirse al llegar al estadio adulto. Los adultos alcanzan la madurez sexual luego del segundo día como adultos. Los eventos de apareamiento son rápidos, la hembra levanta y curva el abdomen exponiendo su genitalia para facilitar la emisión de la feromona sexual; el macho percibe las señales químicas y va al encuentro de la hembra. Al encontrarse con la hembra, el macho arquea su abdomen y conecta con su genitalia con la de la hembra durante 3 horas. Las hembras vírgenes emiten la feromona por alrededor de 4 horas en promedio al día. Luego de apareadas, las hembras depositaron en promedio de 66.6 (\pm 22.2) huevos, los cuales eclosionaron a los 12.5 (\pm 2.4) días. Las larvas demoraron en promedio 13.8 (\pm 2.4) días en alcanzar su fase de pupa. Los adultos emergieron después de 14.2 (\pm 1.77) días. Estas observaciones serán de importancia para nuestros futuros estudios sobre el desarrollo de estrategias para el control químico/biológico de la plaga.

Floraciones algales en lagos de elevada altitud y baja latitud: factores influyentes y la Bahía de Puno como caso de estudio

Patricia Prieto Veramendi, Anne van Dam, Edwin Hes

La proliferación de algas es una amenaza cada vez mayor para los lagos de todo el mundo. Se compararon lagos en función a latitud y altitud, se encontró que la influencia de la altitud para determinar el clima fue más notable en las latitudes bajas que en las regiones de latitud media. Las actividades antropogénicas (escorrentía agrícola, vertido de aguas residuales con escaso o nulo tratamiento, turismo) en el lago y en su cuenca tienen una mayor influencia en el estado trófico de los lagos de alta latitud que la posición del lago dentro de la red hidrológica. Como caso de estudio se analizaron los parámetros de calidad del agua en la bahía de Puno, como ejemplo de lago de gran altitud a baja latitud. Se encontró que el intercambio limitado entre la Bahía Interior de Puno (BIP) y la Bahía Exterior de Puno (BEP) junto con una mayor carga externa de nutrientes para la BIP podría ser la causa de que la BIP tenga valores significativamente más altos para los parámetros de calidad del agua. Como la BIP es un cuerpo de agua poco profundo, está más expuesto al efecto del viento y al efecto de la variación diaria de la temperatura.

Estado de Conservación de los bosques de Polylepis del departamento de Moquegua

Carmen Chancayauri Vaca, Edwin Gutierrez Tito

El presente trabajo se llevó a cabo en el departamento de Moquegua, en un gradiente altitudinal entre los 2500 a 4500 msnm. La investigación se planteó con la finalidad de contribuir con el conocimiento de la distribución y estado de conservación de los bosques de Queñoa y su importancia para las poblaciones, ya en la actualidad están siendo amenazados por diversas actividades antrópicas y naturales, además que no se cuenta con los datos de su ubicación y área coberturada actualizada. Se utilizó la metodología de información bilateral con las poblaciones locales, toma de superficie y distribución de los bosques de Queñoa con apoyo del software GIS, para el estado de conservación se aplicó cinco criterios fundamentales como son la reducción de extensión original del bosque, fragmentación del bosque, degradación del bosque, integridad faunística, niveles de adecuación y equilibrio del paisaje cultural.

Como resultados se determinó la distribución de los bosques de Queñoa y remanentes en 12 distritos, coberturando un área de 11,677.93 ha, en un rango altitudinal entre 2690 a 4560 msnm. Sobre las categorías del estado de conservación se encuentra que aquellos bosques que están en los distritos de San Cristóbal, Carumas, Puquina, Coalaque, Omate, Matalaque están en buen estado denominados en la categoría de "relativamente estable"; aquellos bosques que están en Cuchumbaya, Torata y Ubinas están estado medio o regular denominados en la categoría de "vulnerable" y finalmente los remanentes que se encuentran en Moquegua, Lloque y Chojata se encuentran en mal estado denominados en la categoría "en peligro".

Riqueza y abundancia de la avifauna de la microcuenca Piuray - Cusco

Carlos Alberto Lazo Oscanoa

Los Andes del sur del Perú albergan una gran diversidad de especies de aves. La microcuenca de Piuray Ccorimarca es un hotspot, potencialmente amenazado por el progresivo desarrollo urbano. Un registro fiable de la riqueza y abundancia de la avifauna en esta cuenca aportará a la conservación, ya que esta evidencia brindará a los tomadores locales de decisión información para una adecuada gestión de los ecosistemas que albergan a estas aves. Nuestra área de estudio corresponde a la microcuenca Piuray Ccorimarca, localizada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región de Cusco. Tiene una extensión de 42.57km² y se encuentra entre los 3700 y 4550 msnm. Comprende un ecosistema lacustre altoandino rodeado de áreas de cultivo, con presencia de pajonal y césped de puna en la cabecera de la microcuenca. Realizamos censos en 12 puntos de conteo permanentes y 4 transectos de manera mensual. Además, hicimos evaluaciones nocturnas utilizando señuelos acústicos (grabaciones) en frecuencia trimestral y registros de encuentros ocasionales e históricos. Tras ocho meses de monitoreo hemos catalogado 16455 individuos de 144 especies, 18 órdenes y 35 familias. Registramos 6 especies endémicas (*Aglaeactis castelnaudii*, *Asthenes ottonis*, *Cranioleuca albicapilla*, *Elliotomyia viridicauda*, *Oreonympha nobilis* y *Poospizopsis caesar*). Este estudio servirá para generar una guía de aves de la Microcuenca Piuray y alrededores, que perfila ser una herramienta de conservación de los ecosistemas que albergan la avifauna local y contribuirá a generar cadenas de valor en turismo científico para las comunidades campesinas que habitan en este ámbito.

Establecimiento de plántones de *Polylepis rugulosa*: Influencia de la humedad y el nodricismo en la puna de Moquegua

Pamela Jessica Nina Falcon, Monica Maldonado Fonken, Michelle Molina, Jorge Cuadros, Susan Pochuanca Abarca, Sandro Ludeña, Alejandro Mejía

Como parte del Manejo Sostenible de la Biodiversidad (MSB) del proyecto minero Anglo American Quellaveco (AAQ) ubicado en el departamento de Moquegua, entre 2022 y 2023 se hicieron ensayos de revegetación en áreas de distribución potencial de *Polylepis rugulosa*. Se emplearon 45 plántones obtenidos por propagación asexual en el vivero de AAQ. El objetivo fue identificar el potencial nodricismo de otras especies (de al menos 50 cm de altura) a distancias crecientes (5, 30 y 60 cm), con el uso de hidrogel. La altura inicial promedio de los plántones fue de 10-23 cm. Se evaluó la sobrevivencia, la altura, diámetros y cobertura de los plántones, así como la humedad del suelo en sitios con y sin hidrogel. El monitoreo se hizo inmediatamente después del trasplante, a la semana y a las 10 y 23 semanas. La mayor sobrevivencia (80%) se registró a 5 cm de la potencial nodriza. La principal causa de mortalidad identificada fue la herbivoría por ingreso del ganado a las parcelas cercadas. La variación de altura (crecimiento) sólo fue estadísticamente significativa en la semana 23. No se encontró una correlación (Spearman, $p > 0.05$) entre la cobertura o altura inicial de los plántones con su sobrevivencia final, ni con la humedad de los plántones en los tres primeros monitoreos (inmediatamente después del trasplante, a las semanas 1 y 10). Tampoco se encontró una diferencia significativa en la humedad del suelo a diferentes distancias por monitoreo (Kruskal Wallis, $p > 0.05$); sin embargo, está siempre fue mayor en los sitios con hidrogel. Este es el primer reporte de establecimiento de plántones in situ de *P. rugulosa*, y constituye parte de la estrategia de gestión de la biodiversidad AAQ, encaminada hacia un balance positivo en términos de impactos en los componentes claves de la biodiversidad, como los rodales de *Polylepis*.

Influencia de los cojines de *Pycnophyllum molle* J. Rémy en la diversidad y abundancia de especies vegetales en el distrito de Tanta, Yauyos - Lima

Dionne Erika Ccanto Urbano

La existencia de especies nodrizas genera un microclima menos riguroso que el entorno circundante. Por ejemplo, las plantas que forman cojines modifican las condiciones de temperatura, humedad del suelo y concentración de nutrientes en comparación con el hábitat circundante. Esto sugiere que pueden influir tanto en la aparición como en la abundancia de otras especies de plantas (Cavieres et al. 2005, Arroyo et al. 2003, Körner 2003, Cavieres et al. 1998; Badano et al. 2002; Arroyo et al. 2003). Por lo tanto, parece que la presencia de plantas que forman cojines contribuye a la biodiversidad de especies y al equilibrio de la facilitación en condiciones menos favorables (Pugnaire et al. 2010). En este trabajo se evalúa la influencia de los cojines de *Pycnophyllum molle* J. Rémy en la diversidad y cobertura de especies vegetales de césped de puna en temporada húmeda y seca. Se determinó la riqueza y abundancia de especies vegetales que crecen asociadas al cojín de *P. molle* como en los espacios no asociados a los cojines. Los resultados mostraron que la riqueza de especies y la abundancia de individuos es mayor en temporada húmeda en presencia de los cojines en comparación a la comunidad de plantas no asociadas a los cojines. Sin embargo, la riqueza de especies en la temporada seca no mostró diferencias significativas en presencia de los cojines, así como en espacios no asociados a los cojines.

Ampliando el alcance de un nuevo índice para evaluar la recuperación de la vegetación en pajonales altoandinos

Fiorella Paola Eduardo Palomino, Hector Chuquillanqui, Reynaldo Linares-Palomino

Esta investigación presenta una aproximación innovadora para evaluar la recuperación de la vegetación de pajonales altoandinos basada en abundancia de especies vegetales expresada como cobertura vegetal. Este índice se construyó originalmente utilizando datos obtenidos a partir de transectos Parker. Se evalúa si se puede ampliar la aplicabilidad del índice a datos de cobertura vegetal colectados con parcelas Whittaker. Se explora la versatilidad del índice con otros parámetros como la riqueza de especies y la diversidad (usando el índice de Shannon). El estudio se basó en datos recopilados del 2012-2023 por el Programa de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad (BMAP) en nueve localidades entre 3000 a 4900 msnm, con pajonales altoandinos restaurados, en Ayacucho y Huancavelica. Se utilizó de manera consistente el inventario con parcelas Whittaker en zonas sometidas a procesos de restauración en el ámbito del gasoducto transandino de PERU LNG. Se utilizó "bootstrapping" no paramétrico para calcular intervalos de confianza de los parámetros propuestos, tanto en los promedios históricos de las parcelas control (fuera de la zona de influencia del gasoducto) como en las parcelas sobre el gasoducto y facilitar la visualización de la recuperación de la vegetación en el tiempo. Los resultados muestran una versatilidad destacable del índice, mostrando tendencias generales de recuperación de la vegetación en los diferentes sitios evaluados en términos de abundancia, riqueza de especies y diversidad. Nuestro análisis reveló que, a diferencia de su uso directo en la evaluación de la cobertura vegetal o la riqueza de especies, es más compleja la interpretación del índice cuando se usa diversidad Shannon. A través de este estudio, no solo resaltamos el potencial de este índice para rastrear la recuperación de la vegetación, sino que también subrayamos la importancia de seleccionar metodologías apropiadas para diferentes indicadores ecológicos, asegurando así una interpretación precisa y significativa.

Efecto de un incendio no controlado en la vegetación en pajonales del altiplano del sur de Puno

Fiorella Paola Eduardo Palomino, Zhe Ren, David Gibson, Karla Gage, John W Groninger, Yanina Huarasa, Joven Marino Llanos, Stuart A Walters

Este estudio evaluó el efecto de un incendio no controlado en la vegetación los pajonales de alta montaña en el Altiplano del sur de Puno, Perú. El incendio fue desencadenado durante una quema agrícola destinada a ampliar áreas de cultivo de papa cerca de Huacullani, en setiembre del 2019. Tras el incendio, se establecieron 4 parcelas Whittaker en la zona, en 2020. Se registraron 61 especies, con Asteraceae y Poaceae como familias predominantes. *Festuca dolichophylla* fue la especie más abundante. El análisis de ordenación reveló la presencia de 25 especies nuevas comparado con una línea base realizada en 2016, 36 especies persistieron tras el fuego y 20 no se detectaron después de cinco años. Se evaluó también la palatabilidad de las especies encontradas para alpacas y vacas. Diferencias en riqueza, diversidad filogenética y especies palatables para vacas surgieron tras el incendio no controlado. Los resultados respaldan la hipótesis de heterogeneidad en la trayectoria de los pastizales, con aparición de nuevas especies y ausencia de otras luego del incendio. El cambio en las especies podría ser influenciada por factores más allá del incendio, requiriendo investigación en condiciones controladas. Limitaciones incluyeron falta de información sobre la intensidad y duración del fuego y diferencias en las metodologías de evaluación pre y post incendio. Se enfatiza un programa de manejo del fuego con quemas prescritas y monitoreo continuo para preservar los pajonales. Se destaca la relevancia de futuros estudios para establecer estrategias de conservación y mitigación de incendios en estos ecosistemas.

Análisis y modelación de cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa y Moquegua

Leila Gretel Quispetera Chambi, Osmar Cuentas Toledo

La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB), abarca seis zonas de vida y es la principal fuente natural de agua para los departamentos de Arequipa y Moquegua. Esta investigación analiza los cambios de cobertura de la tierra en dos periodos 1991-2006 y 2006-2021, valida el modelo del año 2021 y proyecta el modelo al año 2050; a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8, con metodologías de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La zona de estudio tiene una extensión de 677 529,99 hectáreas, identificándose nueve categorías: bofedal, vegetación natural, pajonal, área agrícola, área artificial, superficie de agua, área sin o poca vegetación, salares y nevados, mediante el método de clasificación supervisada y el algoritmo de Máxima probabilidad, validándose a través del índice Kappa y V de Cramer; para la proyección al año 2050 se utilizó Cadenas de Markov y transiciones potenciales dando como resultado una exactitud de 75.11%. Del análisis realizado entre los años 1991 al 2021, se muestra un incremento de tasas de cambio anual en la cobertura de artificial con 7.05% y superficie de agua con 1.81%; mientras las coberturas que sufrieron disminución son los nevados con 4.60%, los salares con 0.86% y pajonales con 0.08% de tasas de cambio anual.

La proyección al año 2050 demuestra un incremento en la categoría artificial con una tasa de cambio anual de 1.86% y área sin o poca vegetación con una tasa de cambio anual de 0.36%; mientras que las coberturas en decrecimiento serán la cobertura de nevados con una tasa de cambio anual de 4.89%, bofedales con el 1.22% y pajonales con el 0.48%. Estos resultados indican que el crecimiento en todo lo que comprende áreas artificializadas afectará a las coberturas vegetales, requiriendo planificación temprana para preservar la reserva.

Comunidades de macroinvertebrados acuáticos y relaciones entre índices bióticos en la cuenca alta del río Cañete

Hector Chuquillanqui, Mariajosé Deza, Reynaldo Linares-Palomino, Jeronimo Chiarella, Ximena Velez-Zuazo, Jessica Deichmann

Los ambientes acuáticos de alta montaña se encuentran bajo diversas amenazas que afectan su estabilidad y capacidad para brindar servicios ecosistémicos. Determinar su estado de conservación y de salud requiere estudiar las relaciones entre sus componentes físicos y biológicos. Parte del componente biótico está conformado por los macroinvertebrados acuáticos, considerados como organismos bioindicadores de la calidad de los cuerpos de agua. Estos organismos son usados en diversas partes del mundo para calcular índices bióticos, pero están aún escasamente estudiados en zonas de alta montaña, donde las presiones ambientales y antrópicas están cambiando a ritmo acelerado. Como parte del proyecto “De la Sierra al Mar”, desarrollado en la cuenca del río Cañete, evaluamos comunidades de macroinvertebrados entre los 2800 y 4400 msnm, entre febrero y agosto del 2022, en 23 estaciones de muestreo (provincia Yauyos, Lima). Registramos 20 familias taxonómicas (incluyendo 143 morfoespecies), con las cuales calculamos los índices bióticos “ABI” (Andean Biotic Index) y “EPTabun” (índice de abundancia Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), positivamente asociados con cuerpos de agua de “buena calidad”. En la zona altoandina estudiada observamos una notable variabilidad en la composición de los grupos EPT, marcada particularmente por la estacionalidad (temporada seca vs lluviosa). De modo similar, la relación entre los índices EPTabun y ABI fue más clara durante la temporada seca, aunque estuvo supeditada al tipo de hábitat adyacente al cuerpo de agua (pastizal o bosque ribereño). Estos resultados refuerzan el carácter heterogéneo de las comunidades de macroinvertebrados en zonas altoandinas, influenciadas por un contexto temporal y espacial. Esta complejidad, muestra la necesidad de realizar, como mínimo, muestreos estacionales que consideren además los usos de suelo del área de estudio. Los índices basados en estos organismos deben ser interpretados con precaución, considerando distintas métricas que describan lo mejor posible el estado de los cuerpos de agua bajo estudio.

Determinantes climáticos de la variación espacio-temporal en pastizales altoandinos

Hector Chuquillanqui, Fiorella Paola Eduardo Palomino, Reynaldo Linares-Palomino

Diversos estudios han explorado la relación entre el clima y aspectos de la vegetación en distintas escalas espaciales.

En ecosistemas de montaña es común que los factores climáticos incluyan información sobre sequías, estacionalidad, o gradientes ambientales. Sin embargo, en los Andes no se tiene suficiente información sobre la importancia relativa de distintos factores climáticos que influirían sobre la vegetación. Se requiere de estudios a largo plazo para establecer como dichas relaciones cambian en el tiempo y espacio. En el presente estudio, analizamos la variación de las comunidades de pastizales altoandinos en un transecto de ~200 km, desde Ayacucho hasta Huancavelica, ubicado entre 3800–4500 m de elevación, parte del monitoreo anual del programa BMAP (Biodiversity Monitoring and Assessment Program). Empleamos datos de cobertura vegetal en 10 sitios, en una serie temporal de 4-8 años. Obtuvimos datos climáticos del producto PISCO (SENAMHI), y derivamos variables de precipitación, evapotranspiración y temperatura. Adicionalmente, incluimos información sobre características del suelo y fisiografía desde fuentes externas. Las variables derivadas fueron incorporadas en un Análisis de Redundancia, para determinar la contribución de cada una de ellas sobre variaciones en la vegetación. Finalmente, analizamos cambios en la composición vegetal mediante el cálculo de la diversidad beta espacial y temporal. La mayor contribución a la variabilidad en la composición estuvo determinada por las variables derivadas de precipitación (21%) y temperatura (14%). Las variables de evapotranspiración contribuyeron con el 6-9% de la variación. Nuestros resultados muestran que la variabilidad climática, en conjunto con la caracterización del sustrato, pueden explicar gran parte de la variación en las comunidades de pastizales. Resaltamos especialmente la relevancia de la estacionalidad para explicar dichos cambios, la cual puede mejorar las opciones de predictabilidad de la respuesta de la vegetación a fenómenos de como “El Niño”, o eventos de friaje extremos.

Presencia de especies potencialmente tóxicas de *Microcystis* (Cyanophyceae, Cyanobacteria) en ecosistemas acuáticos altoandinos del Perú

Leonardo Humberto Mendoza Carbajal, Anderson Estiben Dominguez Villanueva

Microcystis es un género cianobacterial cosmopolita que habita el plancton de aguas continentales, conteniendo varias especies potencialmente productoras de cianotoxinas. En el Perú, las especies de *Microcystis* han sido reportadas en diferentes ecosistemas acuáticos, siendo conocidas especialmente en la costa. Sin embargo, no se tiene información actualizada sobre la distribución y presencia de las especies de *Microcystis* lo largo de los Andes peruanos. El objetivo del presente trabajo es actualizar el conocimiento sobre las especies potencialmente tóxicas de *Microcystis* en ecosistemas acuáticos de los Andes peruanos. El trabajo se realizó mediante (1) la búsqueda de literatura científica publicada en la web y en bibliotecas nacionales sobre especies de *Microcystis*, empleando palabras clave "Microcystis" "especies" "plancton" "laguna" "lago" "Andes" "Perú" en inglés y castellano y, 2) muestreo de plancton en 12 estaciones del lago Titicaca durante abril y setiembre del 2021 utilizando una red de plancton de 10 micras de diámetro de poro, filtrando 40L de agua superficial. Posteriormente se elaboró una base de datos con las especies de *Microcystis* encontradas, identificándose aquellas con potencialidad de producir cianotoxinas. Se obtuvo un total de cuatro especies registradas en la literatura: *M. aeruginosa* (Kützing) Kützing, *M. elabens* var. *minor* Nygaard, *M. firma* (Kützing) Schmidle, y *Microcystis* sp. La especie *M. aeruginosa* registró presencia en la Bahía de Puno del lago Titicaca (Puno), y en el río Kaño (Tacna), siendo además la única especie potencialmente tóxica encontrada en la literatura. Se encontró a *M. aeruginosa* en el Lago Menor y Lago Mayor del lago Titicaca producto de la colecta realizada, ampliando su distribución para la zona altoandina. Se sugiere el monitoreo de las especies de *Microcystis*, en especial de *M. aeruginosa*, ya puede ocasionar problemas de eutrofización y floraciones algales, pudiendo producir problemas ecológicos y de salud pública en ecosistemas acuáticos andinos del país.

Percepción de los servicios ecosistémicos entorno a una laguna altoandina

Diana Quispe Roque, Octavio Chambi Ancori, Eddi Sucari Mamani,
Pascual Ayamamani Collanqui

Los ecosistemas de montaña son puntos críticos de la biodiversidad debido a que sustentan a especies de plantas endémicas y proporcionar agua dulce a las personas que viven en la montaña y a las comunidades de las tierras aguas abajo. Además, los recursos de las montañas son frágiles y susceptibles de degradación y esto repercute en la dinámica económica que se condiciona en un contexto del cambio climático. Esta investigación analizó las percepciones de los servicios ecosistémicos entorno a la laguna Qorina en el distrito de Haqira (Apurímac); la laguna Qorina es la principal fuente de agua para el área urbana del distrito de Haqira. Esta investigación utilizó el análisis cualitativo utilizando la técnica de la entrevista y así capturar la percepción a través de preguntas dirigidas pobladores con arraigo en la comunidad entorno a las creencias y costumbres arraigadas que se relacionan con la identidad respecto a los servicios ecosistémicos y su valoración. Los principales resultados destacan que la laguna Qorina ofrece una multiplicidad de servicios ecosistémicos. Las categorías asociadas a la dimensión soporte fueron hábitat de especies vulnerables, biodiversidad, capacidad del suelo y variabilidad climática; en la dimensión provisión se tienen a los alimentos, crianza de animales, recursos medicinales, agua; en la dimensión de regulación se tiene ciclo de agua, producción primaria y secundaria, control de plagas y enfermedades, mejoramiento de la fertilidad del suelo, saneamiento del agua y tratamiento de aguas residuales, uso de riego; y en la dimensión cultural se tiene tradiciones y costumbres, patrimonio cultural material y natural, ecoturismo y recreación. El estudio concluye que la laguna Qorina y la comunidad tienen una interdependencia profunda entre biodiversidad, sistemas socioeconómicos y cosmovisión.

Retención hídrica de cuatro grupos de musgos en dos bosques y una plantación de queñual (*Polylepis*) Huaraz, Perú, 2021 - 2022

Robinson Daniel Cuadros Rojas, Beatriz Fuentealba Durand

Los bosques de *Polylepis* son ecosistemas forestales que se desarrollan a gran altitud en los Andes y brindan importantes servicios ecosistémicos. Existe un incremento de las investigaciones en estos ecosistemas, sin embargo, se conoce poco sobre la comunidad de musgos asociada a estos bosques y el rol que cumplen. Se evaluó la capacidad de almacenamiento de agua y factores que influyen en el desarrollo de los musgos en dos bosques naturales (LL1 y LL2) y una plantación (QUI) de queñual, *Polylepis*, en Huaraz, Ancash. En cada sitio se establecieron 3 parcelas de 500 m² y se consideraron 4 grupos de musgos abundantes y con alta capacidad de almacenamiento de agua. Se evaluó la cobertura de cada grupo en los árboles, suelo y roca, y se estimó en laboratorio la capacidad de almacenamiento de agua en campo y máxima respecto a su peso seco, en meses de estiaje y lluvia. Obteniendo que los grupos 1 (familia Leucobryaceae) y 2 (familia Grimmiaceae) tuvieron una alta cobertura en suelo y roca en LL1 y LL2 (entre 7 y 17%), pero no se encuentran en QUI. En QUI el grupo 3 (familias Orthotrichaceae y Pottiaceae) fue el más abundante en suelo (21.4%). El grupo 4 (familias Hypnaceae y Semathophyllaceae) presentó la mayor cobertura en suelo y roca en LL2 (5.5%), respecto a otros sitios. En los meses de estiaje los grupos tuvieron valores menores al 30% de almacenamiento de agua, mientras que en los meses de lluvias los grupos 3 y 4 presentan valores significativamente mayores (428% y 495%, respectivamente) respecto a los grupos 1 y 2 (329% y 295%). La capacidad de almacenamiento de agua máxima fue muy alta para todos los grupos, con valores mayores al 600% de su peso seco, destacando el grupo 4 con el valor significativamente más alto (899%).

Análisis espacial y temporal de la degradación vegetal altoandina en la meseta del Bombón, Junín, Perú: análisis histórico (1985-2022) utilizando sensores remotos

Deyvis Cano Cochachin, Samuel Pizarro, Carlos Caccioto, Richard Peñaloza, Raúl Yaranga, Andreas Haller

La vegetación Altoandina de la meseta de Bombón, en la región Junín en Perú, viene siendo degradado por factores antropogénicos como la agricultura, el sobrepastoreo, el crecimiento urbano y la intensificación de la actividad minera. Actualmente estos sucesos pueden ser evaluados mediante sensores remotos. Por tanto, este estudio evaluó la degradación de la vegetación en la Meseta del Bombón a lo largo de casi cuatro décadas (1985-2022), utilizando datos de alta resolución espacial y temporal de los sensores Landsat 5, 7 y 8. Se empleó el índice de vegetación resistente a la atmósfera (ARVI) en conjunto con el análisis pixel a pixel de la prueba no paramétrica de tendencia de Mann-Kendall. Asimismo, mediante clasificación supervisada anual fue posible evaluar qué comunidades o coberturas vegetales fueron afectadas. Se halló que el 13.4 % de la cobertura vegetal total fue degradada. Con respecto al área ocupada por cada cobertura vegetal, los Juncuales se degradaron en 21 %, Pajonales en 13 %, Totorales en 16 %, Bofedales en 14 % y Césped de puna en 13%. Se observó a través del análisis de correlación de Spearman ($p < 0.01$) que el área ocupada de las coberturas degradadas es sustituida principalmente por Césped de puna y factores de cambio como el Área agrícola, Área Urbana y Suelo desnudo. El estudio determinó que una parte significativa de la degradación de la vegetación está relacionada a actividades antropogénicas, aunque también se reconoce la posibilidad de que los factores ambientales hayan influido en estos eventos de degradación.

El Global Biodiversity Standard (GBS), una oportunidad para reconocer las iniciativas de restauración en ecosistemas tropicales de montaña. El caso de Cusco.

José Manuel Mamani Ccoto

El año 2021 durante la COP 26 se anunció el Global Biodiversity Standard (GBS), la primera certificación que reconoce las mejoras en la biodiversidad logradas por proyectos de rehabilitación y restauración de ecosistemas, principalmente promovidos a través de forestaciones. Se eligieron 6 países tropicales: Brasil, India, Kenia, Madagascar, Perú y Uganda, para desarrollar la metodología evaluando experiencias remarcables de restauración en cada país.

En Perú la asociación Huarango Nature fue elegida para probar y colaborar en el desarrollo de la metodología del GBS. Así, desde el año 2022 se trabaja en el establecimiento de un Hub Andino con sede en Cusco, especializado en evaluar los proyectos de restauración de ecosistemas andinos, donde se busca congrega las experiencias, buenas y no tan buenas, en torno a proyectos de forestación y restauración en zonas de montaña.

Para este fin el Botanic Garden Conservation International (BGCI) que dirige el proyecto desarrolló una metodología en colaboración con la Society of Ecological Restoration (SER) y otras organizaciones de asesoramiento técnico como CIFOR-ICRAF, Plan Vivo, etc. la que ha sido aplicada en Cusco en dos sitios de plantaciones forestales con fines de conservación y restauración: Soraypampa (Mollepata, Anta) y Taucamarca (Caicai, Paucartambo).

Las pruebas realizadas, a partir de una metodología que combina análisis espacial, análisis social-comunitario, métodos físicos y biológicos clásicos y una evaluación de las prácticas de manejo y monitoreo, nos permitieron identificar prácticas comunes en restauración, y experiencias de las que aprender, propias de regiones de montaña como los Andes. El sistema de puntuación desarrollado por la metodología nos permite también comparar los resultados de cada sitio evaluado.

Si bien la región andina se muestra como una gran oportunidad para proyectos de forestación, estos deben adaptarse a los diversos contextos ecológicos, climáticos y geográficos. La diversidad de proyectos encontrados, nos permiten identificar modalidades muy diversas de restauración, que serán consideradas por el standard.

Finalmente, a través del Global Biodiversity Standard, se propone introducir el modelo de certificaciones como una oportunidad para potenciar las actividades de restauración en diversos tipos de ecosistemas, incluyendo las áreas de montaña, garantizando así su aporte a la mejora de la biodiversidad.

Estado de conservación de bofedales y lagunas altoandinas en Carabaya, Puno, Perú: variabilidad temporal de la biodiversidad y estructura comunitaria del plancton y perifiton

Anderson Estiben Dominguez Villanueva, Franco Mellado Nolis

Los bofedales y lagunas son ecosistemas altoandinos de gran importancia por proveer bienes y servicios. Además, son considerados ecosistemas frágiles por las amenazas a la que están expuestas; sin embargo, las evaluaciones en periodos largos de las comunidades acuáticas son escasas. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la variabilidad de la biodiversidad y estructura comunitaria del plancton y perifiton para conocer el estado de conservación de algunos ecosistemas altoandinos de la provincia de Carabaya, Perú. Se realizaron evaluaciones en temporadas húmeda y seca entre los años 2019 y 2022, en dos bofedales (Negrominas y Sornahuiña) y dos lagunas (Ccochapata y Collpa) ubicados en Carabaya, Puno. Se determinaron parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales (TDS). Para la colecta de plancton, se realizaron filtrados de 40 L de agua superficial con una red de fitoplancton de 20 μm , mientras para la colecta de perifiton se delimitó un área de 25 cm^2 sobre un sustrato. La mayoría de los sitios evaluados presentaron valores fisicoquímicos característicos de ambientes altoandinos, excepto la laguna Ccochapata presentó valores altos de TDS y el bofedal Negrominas presentó aguas de tendencia ácida. La riqueza de especies del fitoplancton fue de 69, predominando el grupo Bacillariophyta; una abundancia máxima de 103900 ind. y una diversidad promedio de 3.41 bits/ind. La comunidad zooplanctónica presentó 49 especies, predominando los rotíferos; con una abundancia máxima de 50 ind. y una diversidad promedio de 2.26 bits/ind. Del perifiton se identificaron en promedio 50 especies de algas y 14 de microorganismos, predominando las diatomeas y protozoarios, respectivamente; una abundancia de 6020 ind. (2.66 bits/ind.) de algas y 30 ind. (1.27 bits/ind.) de microorganismos. Se evidenció diferencias significativas de la estructura comunitaria por temporada. Según los índices bióticos el estado de conservación natural del agua, vario de mala a óptima calidad.

Climatologías en alta resolución para estudios de ecosistemas de montaña

Aracely Dayana Machaca Condori, Renny Daniel Diaz Aguilar, Efrain Lujano Laura

Las climatologías de alta resolución son cada vez más esenciales para comprender los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas de montaña. Se trabajó con los datos WorldClim, CHELSA a una alta resolución de 1km y PISCO a 10km para la cordillera Vilcanota. Para las variables de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima. Se utilizó data observada de las estaciones del SENAMHI para la validación de las climatologías para el periodo de 1971-2020. Se realizó la homogeneización y completación de datos faltantes con R climatol. Para la validación los valores de la data climática de WorldClim, CHELSA y PISCO se extrajeron de la cuadrícula de pixel a partir de puntos de coordenadas de estaciones meteorológicas, se emparejaron los datos y para evaluar el rendimiento se utilizaron tres métricas de desempeño que incluyen el coeficiente de correlación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo relativo (RB). Como resultados se obtuvo: R^2 , 0.98, 0.93 y 0.90; BIAS, 0.1, -0.02 y -0.9 y RMSE 170.3, 1.0 y 1.7 para precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima respectivamente para las 3 métricas. Como resultados observamos para la precipitación se ajusta mejor la climatología de WorldClim y para las temperaturas se ajustó mejor CHELSA. PISCO presentó índices menores a las dos climatologías globales. Una comparación de los conjuntos de datos de alta resolución identificó áreas con diferencias locales, particularmente en áreas montañosas. La incertidumbre es más alta en las áreas montañosas y en las áreas donde la densidad estaciones es baja. Debido a la baja densidad de estaciones climáticas disponibles, nuestras superficies no capturaron todas las variaciones que pueden ocurrir a una resolución de 30m, particularmente de precipitación en áreas montañosas. En trabajos futuros, dicha variación podría capturarse a través de métodos basados en el conocimiento y la inclusión de covariables adicionales.

Potencial biorremediador de *Distichia muscoides*, en un bofedal impactado con drenaje ácido de roca en

Cristina Otoya, Yeidy Nayclin Montano Chávez, Pedro Miguel Tapia, Carmen Carreño

La generación del drenaje ácido de roca (DAR) es un proceso natural favorecido por la pérdida de masa glaciar, estas condiciones generan aguas ácidas incrementando la acumulación de metales pesados en el agua, vegetación y suelo por donde circula, impactando negativamente a los ecosistemas de montaña y a la población que utiliza estos recursos.

En el Perú los bofedales se caracterizan por su vegetación tipo almohadilla y tienen capas de turba adyacentes.

Algunos investigadores mencionan que los bofedales son ecosistemas biorremediadores, porque tiene la capacidad de acumular metales y limpiar el agua. Sin embargo, son muy pocas las evidencias científicas que evalúan cómo responden estos ecosistemas a la presencia de metales pesados. En este contexto, en la cordillera Blanca, en la subcuenca Pachacoto (Ancash, Perú) se evidencia un proceso de DAR. Ante esta problemática, el objetivo de la investigación fue conocer el potencial biorremediador de *Distichia muscoides*, en un bofedal impactado con DAR. Para ello se evaluaron parámetros ambientales y químicos (metales) en dos bofedales, tanto en el agua, turba, tejido radicular y aéreo de *D. muscoides* y la presencia de bacterias sulfato reductoras.

Como resultado se encontró algunos metales (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) en la fase de caracterización del agua, turba, tejido radicular y aéreo de *D. muscoides* en los bofedales 1 (sin aparente impacto de DAR) y 2 (con impacto de DAR), no obstante, el bofedal 2 presentó concentraciones muy superiores de Fe y Mn y un promedio de pH de 4,88. Después del periodo de evaluación (5 meses) *D. muscoides* trasplantados resultaron acumuladores en el tejido aéreo de Cr, Fe, Mn, Zn y As y *D. muscoides* no trasplantados como acumuladores en el tejido aéreo de Zn, Cu y Mn. Además, *D. muscoides* trasplantados fueron calificadas como fitoextractores de Cr, Fe, Al, Mn, As, Zn y fitoestabilizadores de Pb y Cu. Finalmente se concluye que *D. muscoides* demostró potencial de biorremediación acumulando metales en mayor concentración en su tejido aéreo y además de encontró presencia de bacterias sulfatoredutoras.

Diseño del monitoreo de los impactos eco-hidrológicos en el marco de un proyecto de inversión de reforestación para la recuperación de suelos degradados en Moquegua

Natalia Aste, Víctor Jordi Alarcón Jibaja, Vivien Bonnesoeur

Los proyectos de inversión de recuperación de servicios ecosistémicos hídricos (control de erosión o regulación hídrica) desarrollados por los gobiernos regionales o locales peruanos representan un esfuerzo creciente e importante en la adaptación al cambio climático a través de soluciones basadas en la naturaleza. El monitoreo de los impactos de estos proyectos es a menudo insuficiente, a pesar de ser considerado como muy importante, ya sea para mejorar las prácticas o para rendir cuentas sobre la efectividad en el cumplimiento de las metas propuestas. La inclusión del monitoreo de los impactos y beneficios de un proyecto de inversión pública debe combinar a la vez las reglas de un diseño experimental robusto, como cualquier estudio científico, pero también las limitaciones que ocurren por las reglas y procesos normados del sistema de inversión pública. Por ejemplo, la instalación del sistema de monitoreo normalmente se realiza en la fase final de la ejecución, lo que no permite levantar una línea base robusta para su seguimiento durante la evaluación expost.

El presente trabajo aborda (1) la revisión de consideraciones generales para el diseño del monitoreo de impactos en el marco de un proyecto de inversión pública y (2) una propuesta de diseño de monitoreo de la cobertura vegetal y de la erosión de suelos para su incorporación en el expediente técnico de un proyecto de reforestación para la recuperación de suelos degradados en Moquegua. Se presentará los indicadores de monitoreo, las metodologías de medición remotas o en campo y una metodología de selección de parcelas en gabinete.

Finalmente esperamos contribuir a la participación de las universidades locales en el monitoreo de los proyectos de inversión de recuperación de servicios ecosistémicos en la región.

Evaluación ecohidrológica del proceso de recuperación del bofedal Milloc, subcuenca Santa Eulalia, Rimac

Víctor Jordi Alarcón Jibaja, Vivien Bonnesouer, Natalia Aste, Samuel Edwin Pizarro Carcausto

El bofedal Milloc es un humedal altoandino de gran importancia para el estudio de la recuperación de bofedales con niveles muy altos de degradación. Este ecosistema de turbera se encuentra ubicado a más de 4,300 msnm en la parte alta de la subcuenca Santa Eulalia dentro del territorio de la comunidad campesina de Carampoma. Por muchos años, este ecosistema estuvo afectado por una serie de factores como la desconexión hidrológica, la erosión, el drenaje y el champeo, principalmente. Sin embargo, en el año 2021 la empresa SEDAPAL ejecutó un proyecto de infraestructura natural para su recuperación implementando medidas como la construcción de un sistema de riego, la revegetación y la instalación de un cerco perimétrico.

El presente trabajo presenta la evaluación de la efectividad de las medidas implementadas por el proyecto de SEDAPAL en el proceso de recuperación del bofedal Milloc y sus servicios ecosistémicos hídricos. Para ello, se realizó el monitoreo eco-hidrológico mediante trabajo de campo y con vuelos de drone tomando como referencia los indicadores analizados durante su diagnóstico antes de la ejecución del proyecto. Los principales indicadores considerados fueron napa freática, materia orgánica, densidad aparente, riqueza de especies, cobertura vegetal y biomasa. Adicionalmente, se analizará la capacidad de retención hídrica del bofedal comparando las curvas de retención de la humedad del suelo para tres estados: degradado, en recuperación y conservado.

Los primeros resultados de la evaluación cualitativa del proceso de recuperación del bofedal Milloc muestran importantes procesos de activación de la regeneración natural de la vegetación producto de la restauración de las condiciones hidrológicas del bofedal. Ello se pudo comprobar en un análisis temporal del índice NDVI con imágenes satelitales de alta resolución entre 2017 y 2022, así como un crecimiento constante de los tepes utilizados para la revegetación principalmente en zonas con condiciones de humedad óptima.

Guía metodológica para el monitoreo ecohidrológico en cuencas andinas: hacia un análisis integrado de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos

Jan R Baiker, Dina Farfan Flores, Monica Maldonado Fonken, Javier Antiporta, Boris F. Ochoa-Tocachi, José Cuadros-Adriazola, Vivien Bonnesoeur, Margaret Stern, Sandro Domínguez, Luis Acosta, Luis Daniel Lambí, Francisco Román

Las montañas desempeñan un papel clave a nivel global: proporcionan diferentes servicios ecosistémicos básicos para un porcentaje importante de la población mundial, tanto rural como urbana, y son uno de los principales centros de origen y áreas de alta diversidad biológica de la tierra (hotspots). Al mismo tiempo, son ecosistemas vulnerables a las presiones antropogénicas y sensibles al cambio climático.

En los Andes Tropicales aún existe un gran vacío en términos de recolección y disponibilidad de datos ecohidrológicos (agua, suelo, vegetación y sus interacciones) y climático-meteorológicos, que sirvan de base para la adaptación sostenible a los efectos del cambio global. Este hecho es desproporcionado con la cantidad de proyectos centrados en la seguridad hídrica que están actualmente en marcha en esta región.

Nuestra guía metodológica para el monitoreo ecohidrológico en cuencas andinas es una herramienta que permite una visión más integral de la dinámica de los servicios ecosistémicos y la vegetación (incluyendo la diversidad específica, estructural y funcional), al generar información integrada de largo plazo sobre estas dinámicas y los compartimentos clave, y procesos vinculados a los servicios ecosistémicos hídricos, como la regulación hidrológica, en escenarios de cambio ambiental en múltiples escalas de análisis (cuenca, microcuenca, paisaje, ecosistemas/parcelas).

Esta guía está dirigida principalmente a formuladores y gestores de proyectos públicos y privados de seguridad hídrica con un enfoque ecohidrológico. Además, se espera que contribuya al desarrollo de investigaciones para llenar los vacíos de información sobre los impactos de diversas intervenciones en infraestructura natural, estrategias de conservación, restauración y adaptación basadas en ecosistemas, a través del monitoreo ecohidrológico.

SMEHP Chillca – Sistema de Monitoreo Ecohidrológico Participativo – un proyecto piloto comunitario basado en la ciencia para la resiliencia de los sistemas pastoriles altoandinos

Óscar Ladrón de Guevara Rodríguez, Nilton Mariano Montoya Jara, Dina Farfan Flores, Jan R Baiker, Filomena Rojo Quispe, Marco Rojo Huamani, Alexa Mishell Mormontoy Quispe, Eduardo Fred Melendres Pérez

Los sistemas pastoriles basados en la crianza de camélidos representan el medio de vida tradicional de las comunidades altoandinas del Perú. Durante las últimas décadas han sufrido una multitud de impactos, desde cambios demográficos hasta cambios fundamentales en el uso de la tierra. También se ven gravemente afectados por el cambio climático y los procesos de mitigación y adaptación a menudo se retrasan. Esta situación exige formas nuevas e innovadoras de monitoreo de los principales parámetros ambientales que permitan respuestas rápidas a eventos problemáticos (por ejemplo, sequías, glacial lake outburst flood - GLOF).

El SMEHP Chillca - Sistema de Monitoreo Ecohidrológico Participativo de Chillca es un ejemplo de un sistema de monitoreo renovado que ha sido diseñado e implementado en estrecha colaboración entre la ONG ACEMAA, la comunidad de Chillca y la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC. Fue instalado en 2022/2023, comprende 25.000 ha y consta de 14 estaciones de monitoreo ecohidrológico, cada una de ellas equipada con pluviómetros automáticos y manuales y sensores de temperatura y ultrasonidos, estos últimos se utilizan para mediciones del nivel de agua (subterránea) en bofedales y ríos (tres vertederos combinados) respectivamente. Además, contiene una red de 72 pozos de observación (piezómetros) y ocho transectos botánicos, distribuidos en ocho humedales altoandinos (bofedales). El SMEHP Chillca permite generar datos ecohidrológicos de alta resolución que sirven como base para la toma de decisiones informadas a nivel comunitario para acciones inmediatas y como un Sistema de Alerta Temprana ante eventos extremos. Es administrado por la ONG ACEMAA y un grupo de diez mujeres comunitarias (pastoras de alpacas, monitoras) y seis instructoras comunitarias quienes juntas, y en estrecha conexión con los demás miembros de la comunidad, están co-construyendo conocimientos para hacer los sistemas pastorales altoandinos más resistente al cambio global, especialmente al cambio climático

Dinámica de la producción y descomposición de la hojarasca en bosques de *Polylepis* con diferente historia de uso, Huaraz, Ancash.

Melissa Catherine Aranda Depaz, Beatriz Fuentealba Durand

Los bosques de *Polylepis* son ecosistemas altoandinos que se encuentran amenazados por la presión humana, los cambios en el uso del suelo y el cambio climático, los cuales están provocando alteraciones en la dinámica y funcionamiento de estos bosques. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es comparar el ciclo de nutrientes entre dos tipos de bosques naturales, uno conservado (LL1) y otro fragmentado (LL2), con una plantación de queñual (Qui) dentro del Parque Nacional Huascarán, Ancash entre el 2021 y 2022. En cada sitio, se establecieron tres parcelas de investigación de 500 m². Se evaluó la producción de hojarasca utilizando cuatro trampas colectoras por parcela, con un área de 1 m². Para evaluar la descomposición, se colocaron tres camas descomponedoras con 12 bolsas cada una, que se retiraban trimestralmente con tres repeticiones. Los resultados mostraron que las tasas de descomposición entre los bosques evaluados y la plantación son similares, sin diferencias significativas. Sin embargo, la mayor descomposición se encontró en el bosque fragmentado (LL2), el cual también presentó la mayor producción de hojarasca, con un promedio anual de 5,31 Mg ha⁻¹ año⁻¹, compuesta por un 73,14 % de hojarasca (H), 9,2% de hojarasca en descomposición (OH) y 17,6% de otros restos (OR). Esta producción no difiere significativamente del otro bosque natural, que produce 4,44 Mg ha⁻¹ año⁻¹, compuesto por un 77% de hojarasca (H), 9,3% de hojarasca en descomposición (OH) y 13,5% de otros restos (OR). En cuanto a la producción de hojarasca en la plantación, esta alcanzó los 4,88 Mg ha⁻¹ año⁻¹, compuesta en un 41,6% por hojarasca de queñual (H), un 38,2% por hojarasca de *Eucalyptus globulus* (OH) y un 20,1% por otros restos (OR).

Patrones de distribución de los Bosques Altoandinos ¿Naturales o Impactados?

Erickson Urquiaga-Flores, Maaike Bader, Michael Kessle

Los Andes tropicales tienen una larga historia de uso de la tierra por parte de los humanos, que ha tenido un impacto significativo en los patrones de vegetación, en particular la cobertura forestal en las zonas altas o de montaña. Sin embargo, existe un vacío de información y de cordilleras no perturbadas para cuantificar y detallar estos efectos. Para abordar esta incógnita y determinar los patrones de distribución de los bosques naturales y perturbados en los Andes de Perú se hizo un análisis a escala de paisaje, donde se seleccionó dos montañas con topografía, patrones climáticos similares y que estén cercanas. Una con signos de perturbación, y la otra con ausencia de esta. Para ello nos centramos en los cambios en las relaciones topografía-vegetación a lo largo de la elevación en estas dos zonas de estudio. Nuestros análisis mostraron que la Cordillera de Vilcabamba mostraba patrones de distribución donde la vegetación se encuentra en posiciones de la montaña que son más empinadas y donde se tiene cierta predisposición a lugares con menor humedad, esto de forma consistente a lo largo de la gradiente de elevación. Mientras, que en la Cordillera San Miguel, encontramos patrones similares a la Cordillera Vilcabamba a altitudes inferiores a los 3600 m. Sin embargo, a altitudes más elevadas, los patrones claramente comienzan a diferenciarse, donde la vegetación se limita a los fondos de los valles, como lo indica el índice de humedad topográfica con valores más altos y estableciéndose en áreas o, lugares llanos o fondos de valle. Estos hallazgos sugieren que los diferentes factores de perturbación en los Andes como: el uso de la tierra y los incendios, tienen una fuerte influencia en los patrones de distribución de la vegetación a escala de paisaje en esta parte de los Andes tropicales.

Resultados preliminares de translocación de gramíneas nativas como practica de recuperación de Servicios Ecosistémicos en parcelas experimentales de la Microcuenca Piuray, Chinchero, Urubamba, Cusco”

Lucely L Vilca-Bustamante, Angela Mendoza-Ato, Monica Maldonado Fonken

La microcuenca Piuray es una de las principales fuentes para el abastecimiento de agua a la ciudad de Cusco, lo cual hace relevante su conservación. Sin embargo, la cabecera de esta microcuenca tiene signos visibles de erosión y presencia de especies indicadoras de degradación. La translocación de gramíneas nativas claves es importante para recuperar la estructura y función de la comunidad ecológica. En el presente estudio se utilizó la especie *Festuca dolichophylla* “Chilligua” por su dominancia en la zona, su capacidad de respuesta y adaptación a ecosistemas de alta montaña y generación de condiciones favorables para el desarrollo de otras especies. La actividad se realizó en la cabecera de la microcuenca Piuray, en la quebrada Umasbamba, que es uno de los mayores aportantes a esta pequeña cuenca. Como parte de las prácticas de recuperación de servicios ecosistémicos hídricos se instalaron 06 parcelas con diferentes porcentajes de cobertura vegetal y tasas de infiltración, donde se realizó la translocación de esta gramínea. Se extrajeron macollos de una zona conservada cercana al área de restauración, eligiendo individuos vigorosos: hojas numerosas, mínimo diámetro 15cm, altura 20cm. Se procuró translocar los macollos con el suelo donde se desarrollaban, con el fin de asegurar su supervivencia. Se trasplantaron ocho macollos por parcela dejando un espacio de 1m entre ellos. Posteriormente fueron podados a nivel foliar y radicular para activar su crecimiento y establecimiento en el suelo. A la fecha se han realizado 3 evaluaciones entre los 2021 y 2023. Los resultados preliminares muestran que en promedio el crecimiento de los macollos y su cobertura aérea tienen una tasa positiva. Por otro lado, la cobertura vegetal y de costra biológica del área circundante tiende a la disminución. La cobertura de suelo desnudo aumentó y la de rocas se mantuvo constante.

Impacto de la educación ambiental como herramienta esencial para la conservación y preservación de los glaciares

Isabel Camila Granados Quispe, Heydei Alexandra Veliz Vasquez

Los glaciares enfrentan amenazas por el cambio climático y la actividad humana. Por tanto, la educación ambiental desempeña un papel crucial al concientizar a la sociedad sobre su importancia y las acciones requeridas para su conservación y preservación. El estudio analizó el impacto de la educación ambiental en la conservación y preservación de glaciares y propuso estrategias efectivas. Se evaluó el estado de los glaciares, sus amenazas por el cambio climático y la actividad humana, y se evaluó la eficacia de los programas educativos en concientizar sobre la importancia de los glaciares, identificando las barreras y desafíos en su implementación. Para la investigación, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica y se implementaron dos programas de educación ambiental sobre glaciares, ello se complementó con encuestas a los estudiantes y análisis estadísticos de los datos recopilados. El programa comenzó con un piloto en la IES "Nuestra Señora del Rosario" en Cusco, luego se implementó por completo en la IES "Santa Fe Tumpa" en Ancash. Logrando resultados positivos, ya que los estudiantes que formaron parte del programa experimentaron un aumento significativo (90%) en su conciencia sobre la vital importancia de los glaciares en el equilibrio ambiental, el suministro de agua dulce y su vulnerabilidad al cambio climático. Además, los programas demostraron ser efectivos en aumentar el conocimiento y la conciencia entre los estudiantes, sin embargo, se identificaron barreras importantes que afectan la implementación efectiva de la educación ambiental. Estas incluyen la falta de recursos y apoyo gubernamental, así como la necesidad de adaptar los programas educativos a las realidades locales y a las diferentes edades de los estudiantes. Por último, se propone diseñar programas eliminando las barreras identificadas y establecer sistemas de monitoreo para medir su impacto a lo largo del tiempo. Además, estimular la investigación científica en los glaciares, brindando oportunidades para que los estudiantes se involucren en proyectos.

S I M P O S I O

LAS 
MONTAÑAS
NUESTRO FUTURO



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN
GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Av. Centenario 2656 - Huaraz
(043) 643460

W W W . S I M P O S I O . I N A I G E M . G O B . P E

