



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Año 4, N°6

Junio 2019

ISSN 2519-7649

Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña

**Versión oficial de posteros
MONFU 2019**



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña

INAIGEM

Año 4, Número 6 – Junio 2019

Presidente Ejecutivo

Dr. Hernando Tavera Huarache

Gerente General

Abg. Víctor Saavedra Espinoza

Editor

Mg. Steven A. Wegner

Comité Editorial

Abg. Víctor Saavedra Espinoza

Dr. José Herrera Quispe

Abg. Guillermo Rojas Gutiérrez

Comité Consultivo

Dr. Lonnie Thompson (School of Earth Sciences, The Ohio State University, Columbus, EE.UU.)

Dr. Cedomir Marangunic Damianovic (Geoestudios, Santiago, Chile)

Dr. Bernard Francou (LTHE - Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, Grenoble, Francia)

Prof. Dr. Wilfried Haeberli (Geographisches Institut, Universität Zürich, Suiza)

Ing. Zaniel Novoa Goicochea (Departamento Académico de Humanidades - Sección Geografía, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima)

Dr. Jeffrey S. Kargel (Department of Hydrology & Atmospheric Sciences, The University of Arizona, Tucson, EE.UU.)

Dr. Enrique Flores Mariazza (Laboratorio de Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima)

Dr. Hildegardo Córdova Aguilar (Centro de Investigación en Geografía Aplicada, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima)

Dr. Bryan G. Mark (Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, EE.UU.)

La Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña es una publicación científica de periodicidad semestral (junio y diciembre). Tiene como objetivo difundir los resultados de trabajos de investigación en glaciares y ecosistemas de montaña desarrollados en los Andes, especialmente en el Perú, pero también en otros países andinos. La revista está dirigida a investigadores en temas de glaciología y ecología de ecosistemas de montaña, así como en disciplinas afines de ciencias de la tierra, ciencias biológicas y ciencias sociales, y además a tomadores de decisiones, docentes y estudiantes universitarios, y público interesado en general.

La *Revista* publica artículos científicos originales e inéditos, especialmente en las áreas de glaciología y ecología de ecosistemas de montaña, y además en disciplinas afines de ciencias de la tierra, ciencias biológicas y ciencias sociales. Los trabajos recibidos son sometidos a una evaluación de doble ciego por revisores pares externos al INAIGEM, según criterios de calidad profesional.

Aunque la *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* no está indizada todavía, es nuestra meta cumplir con las pautas para indizarla.

ISSN 2519-7649

Editado por:

Copyright © 2020. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Jr. Juan Bautista Mejía 887

Huaraz, Ancash, Perú

Teléfono: (51) 043-22-1766 / 043-45-6234

Correo electrónico: publicaciones@inaigem.gob.pe

El contenido de cada artículo es de responsabilidad exclusiva de los autores y no expresa, necesariamente, la opinión de la *Revista* o del INAIGEM.

Es permitido realizar la reproducción parcial o total de los artículos publicados en esta revista con la obligación de indicar el nombre del autor y la fuente.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-17526

Diagramación: INAIGEM

Edición digital: Agosto de 2020

La Revista está disponible a texto completo en:

<http://repositorio.inaigem.gob.pe/xmlui/handle/INAIGEM/298>

Foto de la portada: Nevado Tullparaju (Alexzander Santiago Martel).

PRESENTACIÓN

Como institución organizadora del Simposio Internacional "Las Montañas: Nuestro Futuro", realizado en la ciudad imperial de Cusco el 10, 11 y 12 de diciembre de 2019, el INAIGEM buscó difundir el conocimiento técnico científico sobre los ecosistemas de montaña y los glaciares tropicales, en un contexto de cambio climático.

Los objetivos específicos de este Simposio fueron:

- Transferir el conocimiento científico sobre los efectos e impactos del cambio climático en los ecosistemas de montaña y los glaciares tropicales, a la institucionalidad nacional e internacional para la toma de decisiones.
- Motivar estudios e investigaciones científicas en la recuperación de los servicios ecosistémicos y en propuestas de acción ante el retroceso glaciar.
- Considerar si los resultados y hallazgos de investigaciones han contribuido a políticas públicas y si estos han influido en la implementación de prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Aparte de las ponencias principales (véase <https://inaigem.gob.pe/simposio/wp-content/uploads/2020/02/LIBRO-DE-RESU%CC%81MENES-VERSION-FINAL-FEBRERO-2020.pdf>), el Simposio contó con la presentación de 43 pósteres de investigación científica de expertos nacionales e internacionales en temas relacionados con glaciología, cambio climático, retroceso glaciar, ecosistemas de montaña, meteorología, políticas públicas y otros, seleccionados en un concurso de 68 propuestas, y abarcando diversos temas referentes a glaciares tropicales y ecosistemas de montaña, especialmente:

- Impactos del cambio climático en glaciares y ecosistemas de montaña
- Acciones de adaptación ante el retroceso glaciar y cambio climático
- Investigaciones para la recuperación de ecosistemas de montaña y/o sus servicios ecosistémicos
- Estudios de caso en que las investigaciones, en el ámbito de montañas, han trascendido hacia la política pública
- Contribuciones de las ciencias sociales a la adaptación al cambio climático y la política pública

El Simposio Internacional "Las Montañas: Nuestro Futuro" fue de gran provecho para todos los especialistas y público general asistente. Con este número especial de la Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, aprovechamos la oportunidad para publicar todos los pósteres presentados, acompañados por sus resúmenes originales.

El Editor

Contenido

INTERPRETACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA GLACIAL EN EL ANÁLISIS PALEO-CLIMÁTICO EN EL VALLE RANRAHIRCA (CORDILLERA BLANCA, PERÚ)	12
Ronald Concha Niño de Guzmán, Joshua Iparraguirre, Hilbert Villafane, José Úbeda Palenque, Harrinson Jara	
ANÁLISIS DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS Y MODELAMIENTO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN EL GLACIAR ARTESONRAJU	14
Christian Torres, Jorge Arigony, Tobias Sauter, Anselm Arndt, Wolfgang Gurgiser, Wilson Suárez, Nelson Santillán, Éder Maier	
LA DEGLACIACIÓN DEL INCACHIRIASCA ENTRE 1975 Y 2018 (NEVADO SALCANTAY, CORDILLERA VILCABAMBA, PERÚ)	16
Álvaro Navarro, José Úbeda Palenque, Jesús Gómez López	
EVOLUCIÓN GLACIAR DEL NEVADO HUAYTAPALLANA DESDE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO, APLICANDO REGISTROS GEOMORFOLÓGICOS	18
Gonzalo Luna, Estibene Pool Vásquez, José Úbeda, Igor Astete, Joshua Iparraguirre	
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL GLACIAR ARTESONRAJU EXPLICADA EN ISÓTOPOS DE ^{18}O Y ^2H	20
Lihan del Rocio Hoyos Zarzosa, Luzmila Dávila Roller, Ibeth Celia Rojas Macedo	
EVALUACIÓN DE AEROSOL DEPOSITADOS EN LA ZONA DE ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU: 2014-2016	22
Rolando Cesai Cruz Encarnación, Rafael Ramón Figueroa Tauquino, Wolfgang Gurgiser, Fiorella Yesenia Quiñónez Collas, Marlene Kronenberg, Alejo Cochachin	
RAHU: IMPLICATIONS OF GLACIER SHRINKAGE ON FUTURE TROPICAL ANDEAN WATER SECURITY AND MANAGEMENT [título modificado: RAHU: SEGURIDAD HÍDRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS ALIMENTADAS POR GLACIARES]	24
Andrés Goyburo, Pedro Rau, Fabian Drenkhan, et al. [lista modificada para incluir a 15 autores – véase el póster]	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA LAGUNA PROGLACIAR PALCACOCHA PREVIO Y POSTERIOR AL ALUVIÓN DE 1941	26
Alexzander Santiago Martel	
MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE UN POTENCIAL GLOF EN LA LAGUNA PARÓN, CORDILLERA BLANCA, PERÚ	28
Hilbert Villafane Gómez, Juan Carlos Torres Lázaro, Adriana Caballero Bedriñana, Harrinson Jara Infantes, Ronald Concha Niño de Guzmán, Énver Melgarejo Romero, Julia Araujo Reyes, Joshua Iparraguirre Ayala	

GEODYNAMICS AND GLACIER RETREAT ON THE SOUTH FACE OF MT. SACSARAYOC (CORDILLERA VILCABAMBA, PERU) [título modificado: GEODINÁMICA Y RETROCESO GLACIAR EN LA CARA SUR DEL NEVADO SACSARAYOC (CORDILLERA VILCABAMBA, PERÚ)]	30
Estibene Pool Vásquez Choque, Ángel Gonzalo Luna Guillén, Igor Astete Farfán	
BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA CORDILLERA CARABAYA, PUNO, PERÚ	32
Ángel Quispe Huahuasoncco, Magna Mollinedo Machaca, Leslie Mamani Mamani	
MODELO PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO EN SECUENCIAS DE VÍDEO EN MONTAÑAS CON PELIGRO DE AVALANCHA. CASO DE ESTUDIO: LAGUNA PALCACOCHA	34
Milwart Calizaya Bobadilla, José Herrera Quispe	
GESTIÓN AMBIENTAL Y PROTECCIÓN JURÍDICA DE LOS GLACIARES EN EL PERÚ	36
Zarela Reyes Cubas, Juan Francisco Baldeón Ríos	
VARIACIONES DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD DE LA LAGUNA PALCACOCHA, HACIA FINALES DEL SIGLO XXI BAJO LOS ESCENARIOS DE EMISIÓN RCP4.5 Y RCP8.5	38
David Garay Marzano, Christian Yarlequé Gálvez	
AGRICULTURAL DEVELOPMENT PROJECTS IN ANDEAN MOUNTAIN COMMUNITIES: THE IMPORTANCE OF OPERATIONALIZING THEIR MULTI-DIMENSIONAL DIVERSITY [título modificado: PROGRAMAS DE DESARROLLO AGRÍCOLA EN COMUNIDADES ANDINAS DE MONTAÑA: LA IMPORTANCIA DE OPERACIONALIZAR LA DIVERSIDAD MULTI-DIMENSIONAL]	42
Claudia Parra Paitán, Marjolein Visser	
OBSERVACIONES ENTRE RETROCESO GLACIAR Y SU POTENCIAL IMPACTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	44
Yeidy Nayclin Montano Chávez, Frank Santiago Bazán, Helder Mallqui Meza, Pedro Tapia Ormeño	
EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE TURBA EN EL BOFEDAL DE MILLOC (CARAMPOMA, LIMA): NIVEL FREÁTICO Y COBERTURA VEGETAL	46
Daniella Vargas Machuca	
TEPUI-SAT: AUTONOMOUS ENVIRONMENTAL MONITORING AND SIMULATION SYSTEM FOR CULTIVATION OF VULNERABLE TROPICAL MONTANE FLORA SPECIES	48
Mateusz Wrazidlo, Judith Rosales	

DISTRIBUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA LÍNEA ARBÓREA EN LA CORDILLERA DE LOS ANDES	50
Erickson Giomar Urquiaga Flores, Dirk Nikolaus Karger, Michael Kessler	
RED DE INICIATIVAS VOLUNTARIAS DE CONSERVACIÓN – CUSCO: ALIADOS PARA LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA [título modificado: RED DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN VOLUNTARIA CUSCO]	52
Gabriela Cairo, Andrea Bellota	
CONDICIÓN ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN LA CUENCA OCCORURUNI PARA UN ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	54
Ángela Mendoza Ato, Joshua Castro Camacho, Juan José Alegría Olivera	
RESTAURACIÓN DE TURBERAS DE PÁRAMO DRENADAS Y SU MONITOREO	56
Paola Fuentes, Bert De Bièvre, Juliette Delerue, Enrique Quinteros, Wilson Vega, Tania Calle, Silvia Salgado y Esteban Suárez	
EXPERIENCIAS DE INSEGURIDAD HÍDRICA A ESCALA DE HOGARES EN COMUNIDAD CAMPESINA DE CHUSCHI (AYACUCHO, PERÚ)	58
Rossi Taboada Hermoza, Fabiola Cárdenas Maldonado, Noemi Tomaylla Berrocal, Lisbeth Pariona Flores, Bram Willems, Chad Staddon	
ENSAYO DE GERMINACIÓN DE OREOCALLIS GRANDIFLORA, ESPECIE DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA EN LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA	60
Sandra Jackeline Arroyo Alfaro, Herbert Valverde Balabarca, Melissa Catherine Aranda Depaz, Abel Luis Flores Milla, Beatriz Fuentealba Durand	
ESPECIES DE PASTOS NATIVOS DESEABLES PARA EL GANADO Y POTENCIALMENTE TOLERANTES A HELADAS	62
Herbert Flavio Valverde Balabarca, Sandra Jackeline Arroyo Alfaro, Luis Armas Flores, Abel Flores Milla, Beatriz Fuentealba Durand	
MONITOREO ECOHIDROLÓGICO DE LA RECUPERACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE UNA MICROCUENCA EN RONTOCOCHA (ABANCAY, APURÍMAC)	64
Jan R. Baiker	
CAMBIO DE USO DEL SUELO: COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL Y ECOSISTEMA PAJONAL [título modificado: ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO Y UN PAJONAL ANDINO]	66
Helder Mallqui, Sandra Arroyo	

COMPORTAMIENTO DEL BOSQUE DE POLYLEPIS EN EL ECOSISTEMA DE CAJATAMBO (LIMA) ENTRE 1987-2014	68
Lissel Arnao Sayán, Zulema Quinteros Carlos, Edgar Sánchez Infantas, Pablo Ramos Quiroz	
DISEÑO Y APLICACIÓN PILOTO DE LA EPACA (ENCUESTA DE PRESIONES ANTROPOGÉNICAS EN CUENCAS ALTOANDINAS)	70
Fabiola Valeria Cárdenas Maldonado, Rossi Taboada Hermoza, Noemi Tomaylla Berrocal, Doris Pariona Flores, Bram Willems, Chad Staddon	
DEMANDA AGRÍCOLA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA QUILLCAY, Y LAS MEJORAS DE SU INFRAESTRUCTURA RIEGO	72
Gonzalo Pablo Galarza Peña, Edwin Aníbal Loarte Cadenas, Helder Mallqui Meza	
CARACTERIZACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE UN SISTEMA DE BOFEDALES DE LA MICROCUENCA CHICLLARAZO (AYACUCHO)	74
Walter Martín Leyva Molina, Bram Willems, Wouter Buytaert, Raúl Loayza, Fernando Quinto Cuba, Julián Llanto Verde, Mariela Huaycha Alcca, Mayra Diana Gutiérrez Quintanilla, Floro Ortiz Contreras, Fiorella Paola La Matta Romero, Chad Staddon	
EVALUACIÓN DE LAS CAUSAS DE DEGRADACIÓN DEL PASTIZAL DE ACOCANCHA, COMUNIDAD CAMPESINA CORDILLERA BLANCA, RECUAY	76
Ángel Antonio Mendoza Granados	
IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA	78
Javier Antiporta, Juan Diego Bardales, Katya Pérez, María Angélica Villasante, Boris Ochoa Tocachi, Vivien Bonnesoeur, Luis Acosta, Francisco Román, Wouter Buytaert	
ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE GENTIANELLA NITIDA (GRISEB.) FABRIS	80
Giovana Patricia Vadillo Gálvez, Susy Juanita Castillo Ramón, Mery Luz Suni Ninataype	
ANDES: PRIMER SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO DE CAUDALES EN PERÚ A PASO HORARIO	84
Waldo Lavado Casimiro, Juan Carlos Jiménez Nina, Adrián Marko Huerta Julca	
UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY AIR TEMPERATURE OBSERVATIONS - PISCOT V1.2t	86
Adrián Marko Huerta Julca, Waldo Lavado Casimiro, Juan Carlos Jiménez Nina, Kevin Traverso	
TEMPERATURA MEDIA INVERNAL DE LA SUPERFICIE TERRESTRE COMO INDICADORA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CORDILLERA VILCANOTA	88
Hairo León Dextre, Katy Medina Marcos, Edwin Aníbal Loarte Cadenas	

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA ZONAS DE ALTA MONTAÑA	90
Jean Pol Luján León, César Verde Mendocilla, José Rodríguez Figueroa	
SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF WRF PRECIPITATION ASSOCIATED WITH THE REGIONAL-LOCAL CIRCULATION IN THE TROPICAL ANDES	92
Alan García Rosales, Rosmeri Porfirio da Rocha, Clementine Junquas	
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO KÁRSTICO FISURADO EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, DISTRITO DE CHINCHERO, CUSCO	94
Carlos Wiliam Huamán Sucso, Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela	
DRY SEASON CIRCULATION TYPE CLASSIFICATION APPLIED TO PRECIPITATION AND TEMPERATURE IN THE PERUVIAN ANDES	96
Marti Bonshoms Calvelo, Francisco José Álvarez García, William Cabos Narváez, José Úbeda Palenque, G. Liguori, Kelita Quispe Vega	
ÁRBOL DE DECISIONES PARA LA DELIMITACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN LA U.H. PARIAC-RAJUCOLTA, APLICANDO TELEDETECCIÓN	100
Raquel del Pilar Ríos Recra, Beatriz Fuentealba Durand	
ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN, CORDILLERA BLANCA, PERÚ	102
Gladis Celmi, Mayra Mejía, Lucas Torres	



GLACIARES



INTERPRETACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA GLACIAL EN EL ANÁLISIS PALEO-CLIMÁTICO EN EL VALLE RANRAHIRCA (CORDILLERA BLANCA, PERÚ)

Ronald Concha Niño de Guzmán^{1*}, Joshua Iparraguirre¹, Hilbert Villafane¹,
José Úbeda Palenque², Harrinson Jara¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Universidad Complutense de Madrid (UCM), España

*Email: ronaldconcha1@gmail.com

El intenso modelado glacial ocurrido durante el periodo Cuaternario en la Cordillera Blanca (CB), originó impresionantes paisajes montañosos, con profundos valles esculpidos por glaciares. Este trabajo, pretende contribuir al conocimiento y comprensión del retroceso glacial, experimentado en el valle Ranrahirca ($-9^{\circ}3'S-77^{\circ}37'O$), que alberga extensas masas de hielo y morrenas bien conservadas, que registran su antigua expansión y proporcionan valiosa información para interpretar algunas variables paleo-climáticas.

Este trabajo, se enfoca en la evolución glacial, sufrida desde la Pequeña Edad de Hielo (PEH), que fue el último periodo frío globalmente reconocido. En los Andes Centrales, este periodo tuvo lugar entre los años ~1500 y 1890, según indican los isótopos de oxígeno en testigos de hielo del glaciar Quelcaya (Thompson et al., 1986), dataciones liquenométricas en la Cordillera Blanca (Jomelli et al., 2008; Solomina et al., 2007) y dataciones cosmogénicas ^{10}Be en la Cordillera Vilcabamba (Licciardi, 2009).

Basándose fundamentalmente en el análisis geomorfológico, este trabajo estima la Altitud de la Línea de Equilibrio de los glaciares (ELA), que es el parámetro que mejor expresa la relación entre los glaciares y el clima. La ELA, es la línea que separa la zona de acumulación de la zona

de ablación de un glaciar. Este parámetro, es un concepto estadístico que puede referirse a diferentes escalas, en espacio y tiempo (Kaser & Osmaston, 2002).

Además de la estimación de las ELAs, este trabajo reconstruye la extensión de los glaciares (km^2), deduce sus volúmenes (Mm^3) y estima la variación de la temperatura con respecto al presente ($^{\circ}C$) en tres escenarios (PEH, 1962 y 2016).

Los resultados muestran la desglaciación en términos de 1) Reducción de superficie: $S_{PEH}=45.85 km^2$; $S_{1962}=32.08 km^2$ y $S_{2016}=24.47 km^2$; 2) Pérdida de volumen: $V_{PEH}=2163 Mm^3$; $V_{1962}=1255 Mm^3$ y $V_{2016}=868 Mm^3$ y 3) Elevación de la ELA: $ELA_{PEH}=5084 m$; $ELA_{1962}=5192 m$ y $ELA_{2016}=5260 m$. El desnivel de la ELA con respecto al presente permitió estimar la variación de la temperatura (de $0.96^{\circ}C$ a $1.1^{\circ}C$), coherente con el calentamiento global que sugieren las observaciones instrumentales (IPCC, 2013).

Palabras clave: Paleoglaciares, morrenas, PEH, ELA

INTERPRETACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA GLACIAL, EN EL ANÁLISIS PALEO-CLIMÁTICO EN EL VALLE RANRAHIRCA (CORDILLERA BLANCA, PERÚ)

Ronald Concha¹, Joshua Iparaguire¹, Hilbert Villafañe¹, Jose Úbeda² & Harrison Jara¹

¹ Instituto Nacional en Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montañas - INAIGEM, Perú
² Universidad Complutense de Madrid - UCM, España

1. INTRODUCCIÓN

El intenso modelado glacial ocurrido durante el periodo Cuaternario en la Cordillera Blanca (CB), originó impresionantes paisajes montañosos, con profundos valles esculpidos por glaciares. Este trabajo, pretende contribuir al conocimiento y comprensión del retroceso glacial, experimentado en el valle Ranrahirca (~9°35'73"O), que alberga extensas masas de hielo y morrenas bien conservadas, que registran su antigua expansión y proporcionan valiosa información para interpretar algunas variables paleo-climáticas.

Este trabajo, se enfoca en la evolución glacial sufrida desde la Pequeña Edad de Hielo (PEH), que fue el último periodo frío globalmente reconocido. En los Andes Centrales, este periodo tuvo lugar entre los años ~1500 y 1890, según indican los isótopos de oxígeno en testigos de hielo del glaciar Quelccaya (Thompson et al., 1986), dataciones lichenométricas en la Cordillera Blanca (Jomelli et al., 2008; Solomina et al., 2007) y dataciones cosmogénicas³ en la Cordillera Vilcabamba (Licciardi, 2009).

Basándose fundamentalmente en el análisis geomorfológico, este trabajo estima la Altitud de la Línea de Equilibrio de los glaciares (ELA), que es el parámetro que mejor expresa la relación entre los glaciares y el clima. Este parámetro, es un concepto estadístico que puede referirse a diferentes escalas, en espacio y tiempo (Kaser & Osmaston, 2002). Además de la estimación de las ELA's, este trabajo reconstruye la extensión de los glaciares (km²), deduce sus volúmenes (Mm³) y estima la variación de la temperatura con respecto al presente (°C) en tres escenarios (PEH, 1962 y 2016).

2. METODOLOGÍA

3.1. Cartografiado de glaciares y paleo-glaciares

Sobre la base de una imagen del satélite PLEIADES (2016) y fotografías aéreas (1962), se delimitó los glaciares en ambos escenarios, y mediante la elaboración de un mapa geomorfológico detallado (Figura 1), se delimitó paleo-glaciares de la PEH (Figura 2).

3.2. Estimación de Volúmenes

Para ello, se utilizó Modelos de Elevación Digital (DEM's) para cada fase. Para el periodo 2016, se utilizó un DEM de 4m de resolución y se usó la metodología GLABTOP (Linsbauer et al., 2012), mientras que para obtener DEM's de los periodos 1962 y PEH, se usó la herramienta GLARE (Pellittero et al., 2016). Tanto GLABTOP como GLARE, asumen que la superficie actual del glaciar es reflejo de la topografía basal, para ello, se toma en consideración diversos parámetros físicos que influyen sobre la dinámica glacial. Además, GLARE, considera las alturas de las morrenas circundantes como un factor de corrección.

3.3. Cálculo de ELA's y Paleo-ELA's

Las ELA's actuales y pasadas (paleo-ELA's) se reconstruyeron utilizando el método Area x Altitud x Balance Ratio, AABR (Osmaston, 2005), mediante la herramienta ELA calculation (Pellittero et al., 2015). La herramienta, requiere como elemento de entrada, los DEM's obtenidos en el paso anterior. El método requiere también, la hipsometría, forma y la relación de equilibrio del glaciar (BR).

3.4. Estimación de la variación de las temperaturas

La obtención de las ELA's, permitió estimar la variación de las temperaturas (ΔT) del pasado respecto al presente, resolviendo la siguiente ecuación.

$$\Delta T = GTV - \Delta ELA, \quad (\text{Porter, 2001; Sutherland, 1984})$$

donde $GTV = \text{Gradiente Térmico Vertical del aire}$ (0.0065°C/m), que se considera apropiado para los trópicos (Kaser and Osmaston, 2002) y $\Delta ELA = \text{Desnivel ELA-paleoELA}$.

3. RESULTADOS

Los resultados se resumen en el cuadro 1.

Reducción de la superficie glacial: periodo 1962-2016 (23.7%), periodo PEH-2016 (46.6%). Desnivel de la ELA: periodo 1962-2016 (68m), periodo PEH-2016 (176m).

Variación de la Temperatura del aire: periodo 1962-2016 (0.5°C), periodo PEH-2016 (1.1°C). El calentamiento deducido en el periodo PEH-2016, es coherente con el calentamiento global que sugieren las observaciones instrumentales (IPCC, 2013). Además, se considera que durante los últimos 50-60 años la temperatura se ha incrementado 0.1°C/década (Vuille et al., 2008), los resultados del periodo 1962-2016, son también muy consistentes.

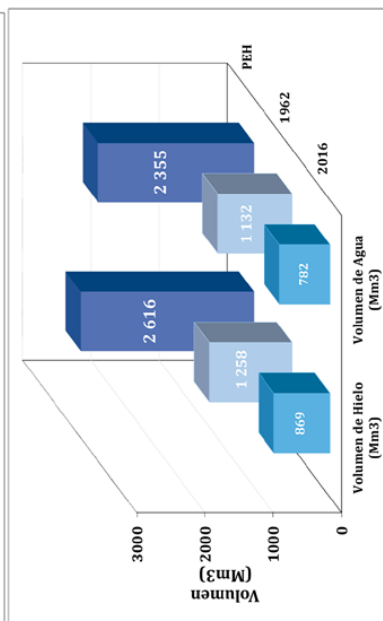
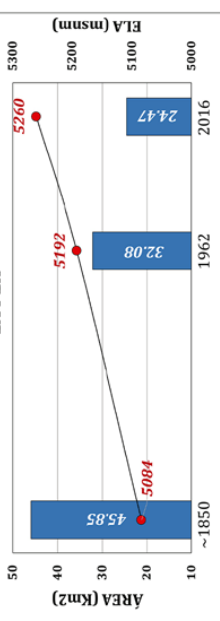
REFERENCIAS

- 1 - Concha, R., Úbeda, J., Iparaguire, J., Villafañe, H., Jara, H., 2016. Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlatTop: Application of a fast and robust approach. *Journal of Geophysical Research* 121, 117-130.
- 2 - Osmaston, H., 2005. Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. *Quaternary International* 22-31, 139-139.
- 3 - Pellittero, R., Ben, R., Spagnolo, M., Balle, J., Ivy-Ochs, S., Frew, C.R., Hughes, P., Riliboll, A., Lukas, S., Renssen, H., 2016. Glacis, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of paleoglaciologists. *Computers & Geosciences* 94, 77-85.

Cuadro 1: Resumen de los resultados del trabajo

Periodo	Área (km ²)	Volumen Hielo (Mm ³)	Volumen Agua (Mm ³)	ELA (m)	Variación de la Temperatura (°C)
2016	24.47	869	782	5260	3.77
1962	32.08	1258	1132	5192	3.27
PEH	45.85	2616	2355	5084	2.67

EXTENSIÓN GLACIAR vs VARIACIÓN DE LA ELA, DESDE LA PEH



VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DESDE LA PEH

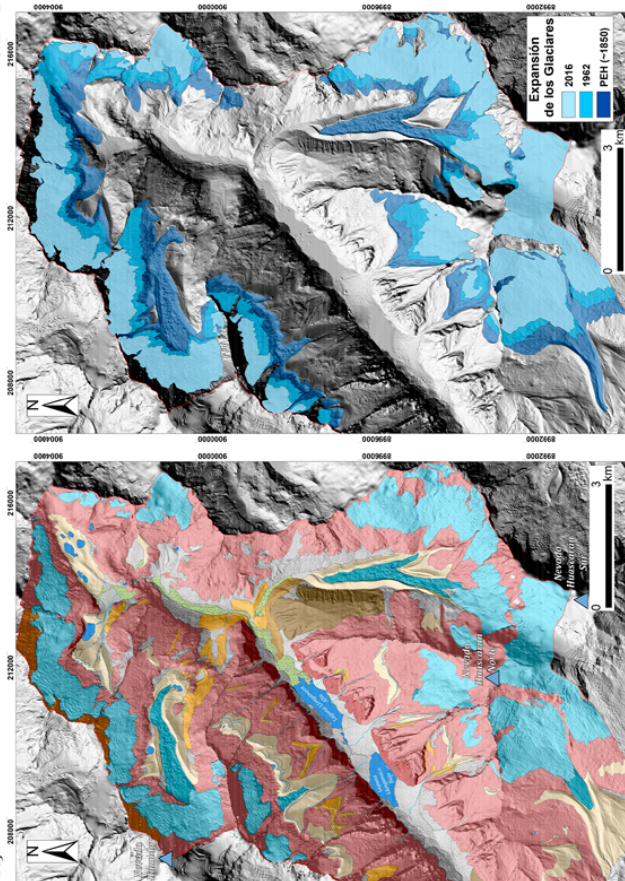
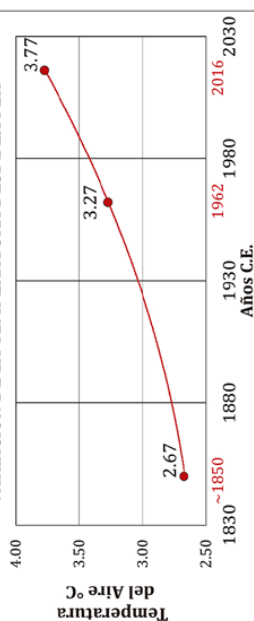


Figura 1: Mapa Geomorfológico del valle Ranrahirca

Figura 2: Mapa de Evolución glaciardesde la PEH en el valle Ranrahirca



ANÁLISIS DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS Y MODELAMIENTO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN EL GLACIAR ARTESONRAJU

Christian Torres^{1*}, Jorge Arigony², Tobias Sauter³, Anselm Arndt⁴, Wolfgang Gurgiser⁵, Wilson Suárez⁶, Nelson Santillán⁷, Éder Maier¹

¹Laboratório de Climatologia e Cartografia, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

²Laboratório de Monitoramento da Criosfera, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

³Institut für Geographie, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, Alemania

⁴Geography Department, Humboldt-Universität zu Berlin, Alemania

⁵Department of Atmospheric and Cryospheric Sciences (ACINN), University of Innsbruck, Austria

⁶Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Lima, Perú

⁷Área de Evolución de Glaciares y Lagunas, Autoridad Nacional del Agua, Lima, Perú

*Email: christian010194@gmail.com

Los glaciares en los Andes Peruanos juegan un papel importante para la hidrología local. Para explicar el retroceso acelerado de los glaciares peruanos es importante conocer primero las principales variables atmosféricas que interactúan con la superficie del glaciar, con la finalidad de evaluar el balance de energía glaciar-atmósfera. En este estudio, analizamos las variables atmosféricas colectadas por una estación meteorológica automática a una resolución horaria y simulamos el balance de energía superficial (SEB) del glaciar con un modelo recientemente actualizado de balance de energía y masa basado en procesos físicos y acoplado a la capa de nieve y hielo en Python (COSIPY) en su versión distribuida espacialmente en dos dimensiones en el Glaciar Artesonraju, localizado en los Andes Peruanos, desde 2016 hasta 2018. En COSIPY, todos los componentes del SEB son parametrizados fiscalmente a excepción de la radiación solar de onda corta incidente, que se mide directamente. Las condiciones promedio de las variables atmosféricas

para todo el periodo fueron: temperatura del aire 1.93 ± 0.83 °C, humedad relativa $74 \pm 18\%$, velocidad del viento 3.58 ± 2.47 m s⁻¹, la presión atmosférica 745 hPa y la precipitación acumulada 1740 mm. La entrada de energía en todo el glaciar es dominada durante todo el año por la radiación neta de onda corta ($+ 80$ W m⁻²), seguido por el flujo de calor de la subsuperficie ($+ 19$ W m⁻²) e el flujo turbulento de calor sensible ($+ 7$ W m⁻²), mientras que, la disponibilidad de energía en el glaciar es consumido por la radiación neta de onda larga ($- 65$ W m⁻²) y el flujo turbulento de calor latente ($- 15$ W m⁻²).

Palabras clave: Balance de energía, variables atmosféricas, glaciar Artesonraju



Análisis de las variables atmosféricas y modelamiento del balance de energía en el glaciar Artesonraju

Christian Torres^{1,2}(christian010194@gmail.com), Jorge Arigony², Anselm Arndt³, Tobias Sauter⁴, Wolfgang Gurgiser⁵, Wilson Suarez⁶, Nelson Santillan⁷, Éder Maier¹

¹Laboratório de Climatologia e Cartografia, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil ²Laboratório de Monitoramento da Criosfera, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil ³Department Geography, Humboldt-Universität zu Berlin, Alemania ⁴Department Geography, University of Erlangen-Nuremberg, Alemania ⁵Department of Atmospheric and Cryospheric Sciences, University of Innsbruck, Austria ⁶Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Perú ⁷Área de Evolución de Glaciares y Lagunas, Autoridad Nacional del Agua, Perú

LaCrio/FURG



I. Introducción

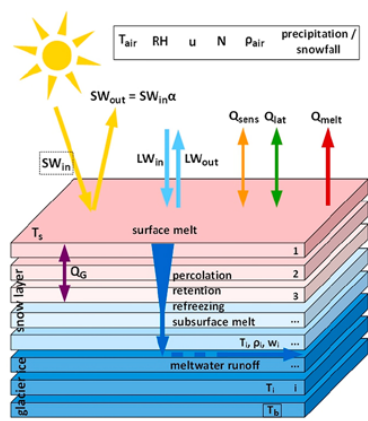


Figura 1. De Huintjes, 2014. Ilustración del SEB en un modelo de múltiples capas acoplado a la capa de nieve y hielo.

- Cerca del 70% de todos glaciares tropical se encuentran en el Perú.
- Las simulaciones del balance de energía (SEB) y masa (MB) de los glaciares son necesarios para estimar la escorrentía total en regiones montañosas.
- Para simular el SEB/MB se usan modelos de índice-temperatura, semiempíricos o basados en procesos físicos (Fig. 1).
- Ningún estudio uso un modelo basado en procesos físicos acoplado para simular el SEB/MB de los glaciares peruanos.

II. Métodos

- Usamos 2 años de datos meteorológicos entre 2016 y 2018, colectados por 2 estaciones meteorológicas.
- Usamos el modelo acoplado de SEB/MB a la capa de nieve y hielo (COSIPY) para simular los flujos de energía.
- COSIPY se ejecutó a pasos de tiempo por hora y a 1000 m de resolución espacial.

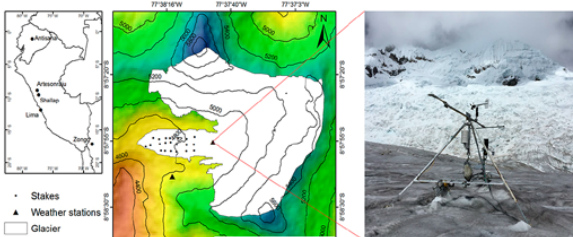


Figura 2. Localización del glaciar Artesonraju, estaciones meteorológicas automáticas AWS (triángulos) y red de balizas de ablación, con cetas a 200 m de intervalo. Derecha: foto de la estación meteorológica localizada en la zona de ablación por Fiorella Quinonez 2019.

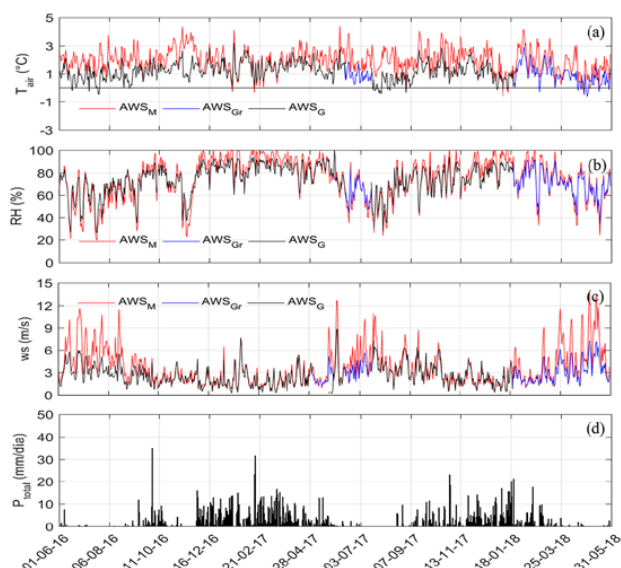


Figura 3. Promedio diario de la temperatura del aire (a), humedad relativa (b), velocidad del viento (c) y acumulado diario de la precipitación (d) desde junio de 2016 hasta mayo de 2018. La línea roja muestra las mediciones en la AWS_M, la línea azul muestra a la serie reconstruida en la AWS_G y la línea negro a las series con huecos mediciones en la AWS_G.

Tabla 1. Resumen de las variables atmosféricas y del SEB.

T _{air}	1.93 °C
RH	74 %
ws	3.58 m s ⁻¹
P _{total}	1740 mm
SW _{net}	80 W m ⁻²
LW _{net}	-65 W m ⁻²
QS	7 W m ⁻²
QL	-15 W m ⁻²
QG	19 W m ⁻²
QM	25 W m ⁻²

III. Resultados

- La radiación neta de onda corta es la principal fuente de energía del glaciar (80 W m⁻²), seguido del flujo de calor en el subsuperficie (19 W m⁻²) y del flujo turbulento de calor sensible (7 W m⁻²), mientras que, el glaciar pierde energía a través de la radiación neta de onda larga (-65 W m⁻²) y del flujo turbulento de calor latente (-15 W m⁻²). La energía disponible para derretir el glaciar fue 25 W m⁻². Nuestros resultados son comparables a estudios previos (ej., Gurgiser, W. et al., 2013).

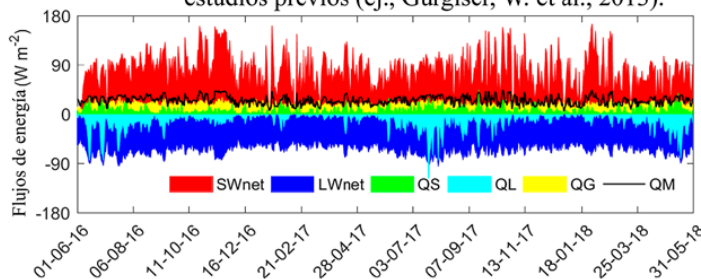


Figura 4. Componentes del balance de energía promedio diario de todo el glaciar desde junio de 2016 hasta mayo de 2018.

IV. Conclusiones

- La temperatura del aire fue 1.93 °C y muestra una baja variación estacional. La humedad relativa fue 74% y muestra una marcada variación estacional, al igual que la velocidad del viento (3.58 m s⁻¹) y precipitación (acumulado 1740 mm).
- La energía disponible para derretir el glaciar fue 25 W m⁻². La principal fuente de energía en el glaciar es la radiación neta de onda corta, seguido del flujo de calor en la subsuperficie y del flujo de calor sensible. El glaciar pierde energía a través de la radiación neta de onda larga y del flujo de calor latente.

V. Agradecimientos

Se agradece a la Coordinación de Mejoramiento de Personal de Educación Superior (CAPES, sigla en portugués) por la beca de estudios concedida al primer autor a través de programa de becas PAEC OEA-GCUB. Además, al Área de Evaluación de Glaciares y Lagunas por compartir los datos de las estaciones meteorológicas del glaciares Artesonraju.

VI. Referencias

- Huintjes, E. (2014) Energy and mass balance modelling for glaciers on the Tibetan Plateau: extension, validation and application of a coupled snow and energy balance model. Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie.
- Gurgiser, W. et al. (2013) 'Modeling energy and mass balance of Shallap Glacier, Peru', The Cryosphere, 7(6), pp. 1787–1802. doi: 10.5194/tc-7-1787-2013.



LA DEGLACIACIÓN DEL INCACHIRIASCA ENTRE 1975 Y 2018 (NEVADO SALCANTAY, CORDILLERA VILCABAMBA, PERÚ)

Álvaro Navarro^{1,2,3*}, José Úbeda Palenque^{2,3}, Jesús Gómez López⁴

¹Charta Digital

²Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña, Madrid, España

³Guías de Espeleología y Montaña, España

⁴Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: alnafru@gmail.com

Glaciers are sensitive indicators of climate change, especially those of smaller size, since they are the most susceptible to any minimal variation of climatic conditions. This study focuses on the analysis of the shrinkage of the Incachiriasca-II glacier (72°32'W, 13°21'S; ~ 4950 m) from 1975 to 2018. The first reference of the glacier's delimitation was the annual topographies by Peruvian researchers between 2007 and 2018. This time sequence was extended to 1975 by analyzing 28 images of Landsat satellites 2, 4, 5 and 7. The results show a loss of 51.4% (-0.271 km²) of the glacier's total area: from 0.528 km² (1975) to 0.257 km² (2018), equivalent to -0.0063 km²/year (1.2% per year). According to the observed

trend, the annual rate of decline has increased considerably, especially since 2010, from 1% in 2001-2010 to 3% in 2010-2018.

Palabras clave: Balance de energía, variables atmosféricas, glaciar Artesonraju

La deglaciación del Incachiriasca entre 1975 y 2018 (Nevado Salcantay, Cordillera Vilcabamba, Perú)

Álvaro Navarro^{1,2,3}, Jose Úbeda^{2,3} y Jesús Gómez⁴

¹ Esri España (España)

² Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña (GFAM), Departamento de Geografía, Universidad Complutense de Madrid, Madrid (España)

³ Guías de Espeleología y Montaña (GEM), Madrid (España)

⁴ Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz (Perú)



RESUMEN

Este estudio se centra en el análisis del retroceso de la superficie del glaciar Incachiriasca-II (72°32'W, 13°21'S, ~4950 m) desde el año 1975 hasta 2018. La primera delimitación del glaciar se realizó mediante topografías anuales realizadas por investigadores peruanos entre 2007 y 2018. Esa secuencia temporal se amplió hasta 1975-2018 mediante el análisis de 28 imágenes de los satélites LANDSAT 2, 4, 5 y 7. Los resultados muestran una pérdida del 51.4% (-0.271 km²) de la superficie total del glaciar: de 0.53 km² (1975) a 0.26 km² (2018), equivalente a -0.0063 km²/año (1.2% anual). Según la tendencia observada, la tasa anual de retroceso ha aumentado considerablemente, sobre todo a partir de 2010, pasando de 1% (2001-2010) a 3% (2010-2018).

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los glaciares tropicales son indicadores sensibles del cambio climático y también una parte importante de las reservas hídricas de las poblaciones andinas. El inicio del monitoreo de los glaciares peruanos fue provocado por eventos catastróficos. Existen trabajos anteriores (OPPENHEIM & SPANN, 1946), pero el gran impulso para las investigaciones peruanas sobre glaciares y lagunas de origen glaciar fue la creación de una comisión como consecuencia del aluvión catastrófico que afectó a la ciudad de Huaraz (13/12/1941). Aunque los trabajos comenzaron en la Cordillera Blanca, la rapidez de la deglaciación y su repercusión en la vida de miles de personas, por abastecimiento de agua o desastres naturales, extendieron las investigaciones a otras montañas.

El Santuario Histórico de Machu Picchu (SHM) fue la primera Área Natural Protegida (ANP) que se implicó en el monitoreo de un glaciar. Desde 2007 realiza esa tarea en el glaciar Incachiriasca, en cooperación, primero con la Dirección de Recursos Hídricos e Irrigaciones del INRENA, y después con la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (UGRH-ANA). Aunque el glaciar Incachiriasca había sido objeto de investigaciones anteriores (OPPENHEIM & SPANN, 1946), fueron observaciones puntuales y carecieron de la continuidad que ha permitido recopilar la información presentada en este trabajo. El objetivo de este estudio ha sido analizar el retroceso del glaciar Incachiriasca, combinando resultados del monitoreo 2007-2018 con el análisis de 28 imágenes de satélite (1975-2007), para incrementar la representatividad temporal de los datos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El Nevado Salcantay (6271 m) es el pico más alto de la Cordillera Vilcabamba (figura 1), denominación de la cordillera oriental de los Andes Centrales, a ~13° de latitud sur. En las vertientes del Salcantay hay actualmente 28 glaciares. Aunque en conjunto suman 5.23 km², todos tienen superficies <1 km², están en un intervalo de altitud entre 4685 y 6271 m y su altitud media es 5370 m. Una de esas lenguas de hielo es el glaciar Incachiriasca (0.6 km² en 2018). Está en la base SE de la montaña y durante las últimas décadas se ha diferenciado en dos partes de superficie similar (figura 2), denominadas en este trabajo Incachiriasca I (INCA-I; 0.29 km²) e Incachiriasca II (INCA-II; 0.31 km²).

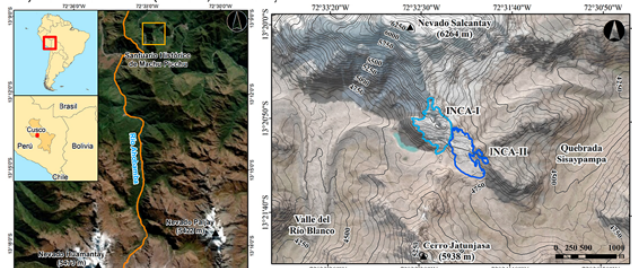


Figura 2 (izquierda): Delimitación de los glaciares INCA-I e INCA-II (SE del Nevado Salcantay) en 2018. Mapa base: Digital Globe.

Figura 1 (derecha): Delimitación del glaciar Incachiriasca en 2018 (color azul oscuro) y el resto de glaciares de las vertientes del Nevado Salcantay (azul claro). Los límites del Área Natural Protegida Santuario Histórico de Machu Picchu y la ciudad Inca se indican con una línea roja y un cuadrado naranja, respectivamente. Mapa base: Digital Globe.

3. METODOLOGÍA

Para la primera parte del periodo analizado (1975-2007), la delimitación del glaciar se realizó sobre imágenes del satélite LANDSAT (resolución 60 m/píxel para 1975 y 30m/píxel para 1988-2007). Para la segunda parte (2007-2018) se emplearon datos de las campañas anuales de monitoreo realizadas por investigadores de varias instituciones peruanas (Tabla 2; figuras 3-5). Se utilizaron mediciones anuales de topografía y contorno del glaciar realizadas con una estación total, localizada en una base fija con un GPS diferencial. Los cálculos para estimar pérdidas de superficie y fluctuaciones del frente del glaciar se realizaron en ArcMap 10.5.

Campañas	Instituciones
2007-2013	SHM-SERNANP y UGRH-ANA
2014-2017	SHM y PNH (SERNANP)
2018	SHM (SERNANP) e INAIGEM

Tabla 1: Campañas de trabajo de campo durante el periodo 2007-2018.



Figura 3: Glaciar INCA-II. Campaña 2008.



Figura 4: Glaciar INCA-II. Campaña 2010.



Figura 5: Glaciar INCA-II. Campaña 2018.

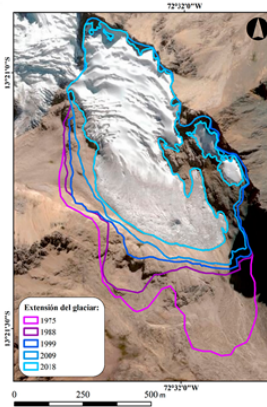


Figura 6: Límites del glaciar en las 5 fechas analizadas, sobre una imagen Digital Globe.

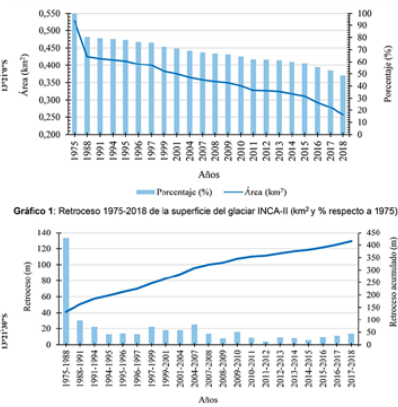


Gráfico 1: Retroceso 1975-2018 de la superficie del glaciar INCA-II (km² y % respecto a 1975).

Gráfico 2: Retroceso (m) y retroceso acumulado (m) del frente del glaciar INCA-I (1975-2018).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 28 glaciares que actualmente se conservan alrededor del Salcantay, INCA-II es el 5º de mayor tamaño y el más grande de la vertiente sur de la montaña. Las mediciones (figura 6; gráficos 1-2) indican que el glaciar INCA-II tiene actualmente ~960 m de largo (NW-SE) y ~335 m de ancho (E-W).

Durante los últimos 43 años, la superficie del glaciar se redujo a la mitad, pasando de 0.53 km² en 1975 a 0.26 km² en 2018, lo que implica una reducción total de 0.27 km² (51.4%) o un 1.2% anual en 1975-2018. La reducción fue menor en 2011-2012 (0.001 km²), y a partir de 2014 se observa un incremento, llegando a perder 0.021 km² en un solo año (2017-2018), un 4% de la superficie que tenía en 1975.

En 1975-2018, el frente de la lengua de hielo retrocedió ~415 m, un retroceso anual medio de ~9.5 m durante el periodo analizado y un ~43% de su longitud máxima actual (~960 m). Aunque en 1975 el glaciar Incachiriasca difundía en dos pequeñas lenguas, INCA-I (~0.06 km²) e INCA-II (~0.1 km²) este estudio solo analiza el retroceso del frente de INCA-II, cuya evolución es irregular. En 2011-2012 hubo una fase de menor retroceso medio (3.83 m) y en 2009-2010 una fase de mayor retroceso medio (15.77 m).

A lo largo del periodo analizado, la cota mínima del glaciar ha ascendido 118 m: en 1975 estaba a 4698 m; en 1997 a 4766 m y en 2007 a 4780 m. Asimismo, en 2018 la altitud media del glaciar INCA-II era 4957 m, la más baja de todos los glaciares del Nevado Salcantay.

Este trabajo ha permitido analizar la Tasa Anual de Retroceso (TAR) del frente del glaciar INCA-II durante 43 años (1975-2018). Los resultados (INCA-II: TAR₁₉₇₅₋₂₀₁₈=1.2%) son semejantes a otros datos de la región Cuzco: VEETIL & DE SOUZA (2017) dedujeron TAR₁₉₇₅₋₂₀₁₅=1.2% en la vertiente norte de la Cordillera Vilcanota. DRENKHAN et al. (2018) encontraron TAR₁₉₈₈₋₂₀₁₆=1.3% en la cuenca Vilcanota-Urubamba. HANSHAW & BOOKHAGEN (2014) también analizaron la Cordillera Vilcanota, incluyendo el casquete glaciar Quelccaya, y estimaron TAR₁₉₈₈₋₂₀₁₀=1.4%. Por otro lado, el inventario Nacional de Glaciares (ANA, 2014) halló TAR₁₉₇₀₋₂₀₁₄= 1.5% para los glaciares de la Cordillera Vilcabamba.

5. CONCLUSIONES

En 2018, el glaciar INCA-II ha perdido el 51.4% de la superficie que tenía en 1975, 0.0063 km² cada año, lo que representan una TAR=1.2%, respecto a su superficie en 1975. La TAR del glaciar INCA-II se ha incrementado durante los últimos 43 años: 1.29% (1975-1991); 1.05% (1991-2001); 1.02% (2001-2010) y 3.06% (2010-2018). Además, es coherente con otras TAR de glaciares de la región Cuzco que, en conjunto (1.5%), son mayores que el promedio de las TAR observadas en la Cordillera Blanca (0.7%). Ese hecho parece confirmar la existencia de una relación inversamente proporcional entre el tamaño de los glaciares y su sensibilidad al cambio climático (previamente señalada por otros autores).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado gracias a los trabajos de campo de técnicos e investigadores del Santuario Histórico de Machu Picchu y el Parque Nacional Huascarán (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado), la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua y el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Perú). La investigación también ha sido posible gracias a Jessica Morón, Gysela Ladera e Israel Aragón (Santuario Histórico de Machu Picchu), el proyecto CRYOPERU FONDECYT 144-2015, la ONG Guías de Espeleología y Montaña, Canal de Isabel II (Madrid) y ESRI España.

BIBLIOGRAFÍA

ANA (2014). Inventario de Glaciares y Lagunas. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú: 21 pp.
DRENKHAN, F., GUARDAMINO, L., HUGGEL, C., & FREY, H. (2018). Current and future glacier and lake assessment in the deglaciating Vilcanota-Urubamba basin, Peruvian Andes. Global and Planetary Change, 169, 105-118.
HANSHAW, M. N., & BOOKHAGEN, B. (2014). Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru. The Cryosphere, 8 (2), 359.
OPPENHEIM, V., & SPANN, H. J. (1946). Investigaciones glaciológicas en el Perú 1944-1945. Instituto Geológico del Perú, 72 pp.
VEETIL, B., & DE SOUZA, S. F. (2017). Study of 40-year glacier retreat in the northern region of the Cordillera Vilcanota, Peru, using satellite images: preliminary results. Remote Sensing Letters, 8 (1), 78-85.



EVOLUCIÓN GLACIAR DEL NEVADO HUAYTAPALLANA DESDE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO, APLICANDO REGISTROS GEOMORFOLÓGICOS

Gonzalo Luna^{1,2*}, Estibene Pool Vásquez¹, José Úbeda³, Igor Astete², Joshua Iparraguirre⁴

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima, Perú

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú

³Universidad Complutense de Madrid (UCM), España

⁴Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: gonzalgeo33@gmail.com

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la deglaciación del Nevado Huaytapallana (11°53'S, 75°03'W, 5558 msnm). Con esa finalidad se ha realizado un cartografiado geomorfológico delimitando las formas del relieve generadas por el último avance glaciar durante la Pequeña Edad del Hielo (PEH). El mapa geomorfológico se ha completado cartografiando la extensión de los glaciares en la PEH, en 1962 y en 2016. Esto ha permitido evaluar la deglaciación en términos de reducción de superficie (km²), disminución de volumen de hielo (Mm³) y elevación de la altitud de la línea de equilibrio, Equilibrium Line Altitude o ELA. Durante su última expansión (PEH), los glaciares alcanzaron una superficie de 52 km² y un volumen de 2041 Mm³. Además, la ELA descendió hasta 4985 m, de modo que el área de acumulación de los glaciares abarcaba un intervalo de 505 m. Los resultados obtenidos permiten cuantificar la deglaciación posterior, con respecto a las dimensiones alcanzadas en la última expansión. En 1962, la superficie (32 km²) se había reducido un 62%, el volumen (951 Mm³) había disminuido un 47% y la ELA (5038 m) se había elevado 53 m, reduciendo el intervalo de la zona de

acumulación a 452 m. Comparando con el último avance, en 2016, la superficie de los glaciares (14 km²) se había reducido un 73%, el volumen (242 Mm³) había disminuido un 88% y la ELA (5164 m) se había elevado 179 m, de forma que el intervalo de la zona de acumulación había disminuido a 326 m. En términos porcentuales, la disminución de superficie es similar en ambos periodos, 1962-2016 (56%) y PEH-1962 (62%). Sin embargo, la reducción del volumen es notablemente mayor en 1962-2016 (75%) que en PEH-1962 (47%). La tendencia de la ELA también parece confirmar la aceleración de la deglaciación, porque su elevación durante el periodo 1962-2016 (126 m) duplicó la elevación observada durante el periodo PEH-1962 (53 m).

Palabras clave: Geomorfología, deglaciación, extensión glaciar, volumen glaciar, ELA (equilibrium line altitude), PEH (Pequeña Edad del Hielo)

Este trabajo se viene desarrollando en el marco del proyecto GA SID (Geomorfología Glacial y Cambio Climático), en la dirección de geología ambiental y riesgo geológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú-INGEMMET



VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL GLACIAR ARTESONRAJU EXPLICADA EN ISÓTOPOS DE ^{18}O Y ^2H

Lihan del Rocio Hoyos Zarzosa^{1,2*}, Luzmila Dávila Roller¹, Ibeth Celia Rojas Macedo^{1,3}

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú

³Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

*Email: lia.dr.hz@gmail.com

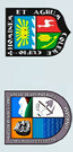
Los mares y océanos contienen las mayores concentraciones de isótopos del agua (molecularmente H_2O). Los cambios en la temperatura del aire influyen en la evaporación de la superficie marina, dando lugar a variaciones en la concentración isotópica del agua en la atmósfera; estos isótopos son transportados a través del viento y depositados sobre masas glaciares por las precipitaciones. Los eventos ENSO, cambios en la temperatura y precipitación ocasionan impactos sobre los glaciares, algunos de ellos se evidencian en el equivalente de agua acumulada y concentración de isótopos estables del agua (deuterio- ^2H y oxígeno ^{18}O).

A fin de estudiar la variabilidad climática en el glaciar Artesonraju, se extrajo un núcleo de hielo (próximo a la ELA) con un registro de 10 años hidrológicos, en cada capa anual se determinó la concentración de ^2H y ^{18}O . Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación de Mook, 2000 respecto a la variación del ^2H y ^{18}O en relación del clima. A diferencia de periodos con mayor precipitación; los periodos más cálidos presentan menores valores de equivalente de agua y mayores concentraciones de ^2H y ^{18}O ; si bien es cierto que,

en los periodos secos las precipitaciones son menores, estas están más enriquecidas en ^2H y ^{18}O .

La circulación atmosférica regional impulsada por el ENSO en la zona y para el periodo de estudio, está claramente evidenciada en El Niño 2015-2016, La Niña 2010-2011 y 2011-2012 (ONI index) desarrollados en la zona 3.4 presentando una mayor/menor concentración de ^{18}O y ^2H , intensificación/descenso de la temperatura, reducción/incremento de la precipitación y acumulación de equivalente de agua respectivamente. Del análisis estadístico, el ^{18}O resultó el mejor proxy paleo-climático en términos de precipitación y temperatura anual.

Palabras clave: Variabilidad climática, glaciar, isótopo ^2H , isótopo ^{18}O , ENSO



VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL GLACIAR ARTESONRAJU EXPLICADA EN ISÓTOPOS DE ^{18}O Y ^2H

Lihan del Rocio Hoyos Zarzosa⁽¹⁾⁽²⁾, Luzmila Rosario Dávila Roller⁽¹⁾, Ibeth Celia Rojas Macedo⁽¹⁾⁽³⁾
(ia.dr.hz@gmail.com)

(1) Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú; (2) Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Huaraz, Perú; (3) Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú

RESUMEN

Los mares y océanos contienen las mayores concentraciones de isótopos del agua (molecularmente H_2O). Los cambios en la temperatura del aire influyen en la evaporación de la superficie marina, dando lugar a variaciones en la concentración isotópica del agua en la atmósfera, estos isótopos son transportados a través del viento y depositados sobre masas glaciares por las precipitaciones. Los eventos ENSO, cambios en la temperatura y precipitación ocasionan impactos sobre los glaciares, algunos de ellos se evidencian en el equivalente de agua acumulada y en la concentración de isótopos estables del agua (deuterio- ^2H y oxígeno ^{18}O).
A fin de estudiar la variabilidad climática en el glaciar Artesonraju, se extrajo un núcleo de hielo (próximo a la ELA) con un registro de 10 años hidrológicos, en cada capa anual se determinó la concentración de ^2H y ^{18}O , si bien es cierto que, en los períodos secos las precipitaciones son menores, estas están enriquecidas en ^2H y ^{18}O .
La circulación atmosférica regional impulsada por el ENSO en la zona y para el período de estudio, está claramente evidenciada en el Niño 2015-2016. La Niña 2010-2011 y 2011-2012 (ONI index) desarrollados en la zona 3.4 presentando una mayor/menor concentración de ^{18}O y ^2H , intensificación/denso de la temperatura, reducción/incremento de la precipitación y acumulación de equivalente de agua respectivamente. Del análisis estadístico, el ^{18}O resultó el mejor proxy paleo-climático en términos de precipitación y temperatura anual.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática tiene efecto sobre los glaciares, al que es difícil de determinar, aun cuando la data climática es ambigua. El estudio de testigos de hielo de la zona de estudio es un importante registro. Así Zhao *et al.* (2012) mencionan que el contenido isotópico del agua en la nieve se correlaciona de manera directa con la temperatura e inversa, con las tasas de acumulación. El glaciar Artesonraju representa un importante recurso para las comunidades de su ámbito, por lo que es importante conocer, cómo influye la variabilidad climática sobre éste. La presente investigación tiene por objetivo estudiar los efectos de la variabilidad climática en el glaciar Artesonraju.

METODOLOGÍA

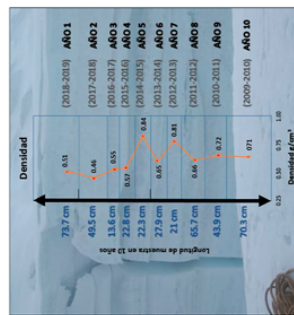


Fig. N° 01: Densidades del perfil de 10 años hidrológicos

Los datos meteorológicos empleados corresponden a las estaciones meteorológicas ubicadas en el glaciar Artesonraju administrada por la ANA; estos datos fueron completados mediante la información de libre acceso del Portal Giovanni-NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#services=TmAnMps&starttime=&endtime=>).

Los eventos ENSO en la zona 3.4 se determinaron mediante el índice ONI (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Finalmente se analizaron los resultados y elaboró un mapa con la distribución isotópica de ^{18}O cuya ecuación fue calculada previamente. El período de año hidrológico considerado para el estudio es de Agosto a Julio.

RECONOCIMIENTO DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO

El presente proyecto de investigación se desarrolla en el marco del proyecto Pant. Bioglacial financiado con fondos del Fondecyt y el Banco Mundial.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del núcleo de hielo extraído, se espera una reducción de la porosidad de la muestra en función directa a la profundidad, consecuentemente, las capas de hielo deberían progresivamente incrementar su densidad. Sin embargo, los años hidrológicos comprendidos entre 2011-2012 al 2014-2015 revelan una ligera desviación a esta premisa, que podría ser a causa de una fractura en estas capas u otros procesos. No obstante, el resultado obtenido del núcleo de hielo completo demuestra una clara evidencia que las capas superiores presentan una menor densidad en relación a las capas inferiores.

A lo largo del período de estudio, los picos más altos de la temperatura coinciden con los eventos de El Niño 2015-2016; mientras que, los picos más bajos coinciden con períodos de La Niña 2010-2011 y 2011-2012, en general, la tendencia de la temperatura para el período de estudio es ascendente.

Respecto a la precipitación, los mayores valores corresponden a los períodos de La Niña (2010-2011 y 2011-2012); mientras que, su menor valor se presenta, durante el fenómeno de El Niño (2015-2016), y su tendencia para el período de estudio es decreciente.

Los eventos ENSO tienen influencia sobre la circulación atmosférica regional y consecuentemente sobre el glaciar Artesonraju; esto se confirma en la cantidad de equivalente de agua obtenida para cada año hidrológico en el presente estudio. Durante un Fenómeno de El Niño, se tiene una menor cantidad de equivalente de agua debido a que durante estos episodios la temperatura tiende a incrementarse y la precipitación a reducirse, ocasionando una menor acumulación de nieve en el lugar de extracción de muestra; todo lo contrario, ocurre durante un evento del Fenómeno de La Niña. Del testigo de hielo, cada año hidrológico (cada capa) representa el resultado de los efectos de la variabilidad climática en la zona de estudio. En la Fig. N° 02, el 2015-2016 (El Niño en la zona 3.4) presenta una de las menores cantidades de equivalente de agua; sin embargo, se tiene un menor valor de agua equivalente en el año hidrológico 2016-2017 que posiblemente podría responder al Niño Costero 2016-2017 (El Niño en la zona 1-2), por lo que sería necesario profundizar el estudio. Por otro lado, durante el fenómeno de La Niña 2010-2011 y 2011-2012, los valores de agua equivalente están comprendidos entre las mayores cantidades de equivalente de agua.

Fig. N° 02: Variación de temperatura, precipitación, equivalente de agua y $\delta^{18}\text{O}$

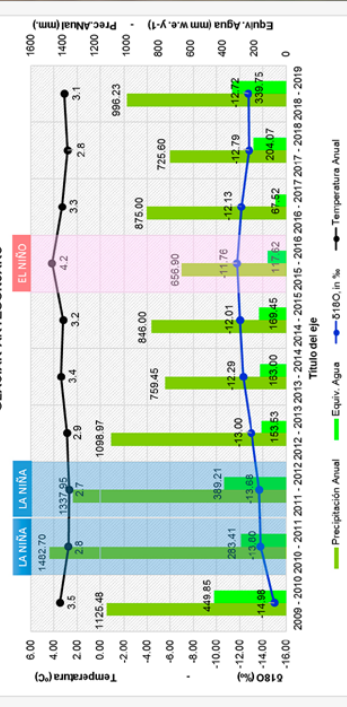


Fig. N° 03: Distribución en altitud de $\delta^{18}\text{O}$

Para el estudio realizado, la variación de la concentración de los isótopos ^{18}O y ^2H tiene una relación directa a la temperatura e inversa a la precipitación y al equivalente de agua acumulada. Es así, que al aumentar la temperatura también se incrementa los valores de ^{18}O y ^2H , mientras que los valores de precipitación disminuyen; esto se pudo observar a lo largo del período estudiado a excepción del año hidrológico 2009-2010. Los valores más altos de ^{18}O y ^2H se presentan durante el fenómeno de El Niño (2015-2016), coincidiendo con el valor más alto de la temperatura, con el valor más bajo de la precipitación y con uno de los valores más bajos del equivalente de agua acumulada. Un proceso análogo, ocurre durante el fenómeno de La Niña (2010-2011 y 2011-2012), manifestando valores más bajos de temperatura, valores más altos de precipitación y valores más altos de ^{18}O y ^2H .

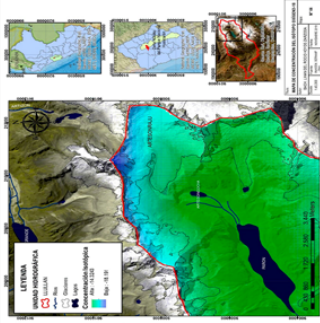


Fig. N° 03: Distribución en altitud de $\delta^{18}\text{O}$

El $\delta^{18}\text{O}$ mostró un 37% de correlación con la temperatura, -73% con la precipitación y -85% con el equivalente de agua acumulada. Para el caso del ^2H , el grado de correlación con la temperatura es de 31%; con la precipitación, de -71% y con el equivalente de agua acumulada de -81%, deduciendo así que para la zona de estudio el mejor proxy paleo-climático es el $\delta^{18}\text{O}$.

De la Fig. N° 03, la distribución, respecto a la altitud, de $\delta^{18}\text{O}$ en la zona de estudio evidencia que en altitudes más bajas (salida Laguna Parón 4157 m.s.n.m.), la concentración es mayor y hacia los glaciares (Artesonraju 5905 m.s.n.m.) las concentraciones, van disminuyendo.

CONCLUSIONES

Para el período de estudio, las temperaturas anuales tienen una tendencia ascendente y las precipitaciones anuales una tendencia descendente. Asimismo, los valores de equivalente de agua más altos y las precipitaciones más bajas durante el fenómeno de El Niño, y durante el fenómeno de La Niña, se manifiesta temperaturas más bajas y precipitaciones más altas.

Durante eventos El Niño, debido al incremento de la temperatura de la superficie del mar (mayores tasas de evaporación) la concentración de isótopos es mayor y durante eventos La Niña, (menores tasas de evaporación) se obtienen menores concentraciones de ^2H y ^{18}O .

Del análisis estadístico, el ^{18}O es el mejor proxy paleo-climático en términos de precipitación y temperatura anual.

BIBLIOGRAFÍA

- Thompson, L., Davis, M., Mosca-Thompson, E., Brannen, E., Proyer, S., Kulkarni, S., Mountain, K. 2017. Impacts of recent warming and the 2015/2016 El Niño on tropical Peruvian ice fields. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017.JD026592>.
- Zhao, H., B., Yao, T., Wu, J., Lin, S., Gao, J. & Wang, M. 2012. Deuterium excess record in a southern Tibetan ice core and its potential climatic implications. *China Institute of Tibetan Plateau Research*.
- Bowen, G. & Wilkinson, B. 2014. Spatial distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in meteoric precipitation. *Geology*, 315-318.



EVALUACIÓN DE AEROSOL DEPOSITADOS EN LA ZONA DE ACUMULACIÓN DEL GLACIAR ARTESONRAJU: 2014-2016

Rolando Cesai Cruz Encarnación^{1,2*}, Rafael Ramón Figueroa Tauquino², Wolfgang Gurgiser³, Fiorella Yesenia Quiñónez Collas², Marlene Kronenberg⁴, Alejo Cochachin¹

¹Autoridad Nacional del Agua, Huaraz, Perú

²Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú

³Universidad de Innsbruck, Austria

⁴Universidad de Friburgo, Suiza

*Email: rcruz@ana.gob.pe

Los aerosoles son emitidos a la atmosfera por fuentes naturales y antropogénicas a su vez son transportados por los vientos llegando a lugares remotos como los glaciares. El estudio evalúa los aerosoles sólidos depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju para los años hidrológicos 2014 al 2016, localizada geográficamente entre 08°57'41.42" latitud sur y 77°37'12.20" latitud oeste.

En la investigación se extrajo muestras de neviza con el uso de la perforadora Kovacs (7.8 cm diámetro y 1 m de longitud), permitiendo ubicar la capa basal que diferencia periodos de depósito de nieve en años hidrológicos diferentes. Las muestras colectadas por año hidrológico se analizaron en laboratorio como sólidos totales. Mediante un análisis de regresión lineal simple y múltiple se obtuvo ecuaciones para calcular la concentración de aerosoles sólidos en la zona de acumulación y relacionar con variables meteorológicas.

Los resultados muestran que la variación de la densidad de neviza fue de 0.19 g/cm³ a 0.81 g/cm³ (media 0.56 g/cm³). La concentración de aerosoles

sólidos acumulados para el año hidrológico 2014-2015 fue de 4.017 toneladas para un área de 3.677 km² y para el año hidrológico 2015-2016 fue de 5.495 toneladas para un área de 3.069 km², determinando que los vientos son el principal medio de transporte de los aerosoles con una predominancia general del Este (Conchucos) al Oeste (Callejón de Huaylas).

Palabras clave: Aerosoles sólidos, neviza, capa basal, densidad

Evaluación de aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar

Artesonraju: 2014-2016

Rolando Cruz^{1,2} Rafael Figueroa², Wolfgang Gurgiser³, Fiorella Quinonez², Marlene Kronenberg⁴, Alejo Cochachin¹



universität
innsbruck

1 Área de Evaluación de Glaciares y Lagunas de la Autoridad Nacional del Agua, Perú
2 Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú
3 Center for Climate and Cryosphere, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria
4 Department of Geosciences, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland
E-mail: rcruz@ana.gob.pe



1. Introducción

Las emisiones de aerosoles por fuentes naturales están siendo perturbadas por actividades antropogénicas vinculadas al desarrollo tecnológico, crecimiento económico y poblacional, ocasionando el incremento de las emisiones en la atmósfera.

Los aerosoles constituyen partículas suspendidas en estado sólido o líquido, que son transportados por el viento llegando a lugares remotos como los glaciares en diferentes partes del mundo, generando la disminución del albedo y acelerando la fusión de la superficie glaciar. El estudio evalúa la concentración de aerosoles en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, para dos años hidrológicos del 2014-2016

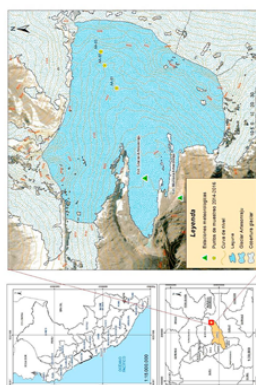


Figura 1. Mapa de ubicación del glaciar Artesonraju

2. Metodología

Las muestras de neviza fueron extraídas con una perforadora Kovacs cuyas dimensiones fueron de 7.8 cm de diámetro y 1 m de largo. El análisis de densidad de neviza se obtuvo de las longitudes y la masa de cada muestra por cada año hidrológico hasta ubicar la capa basal (Francou & Pouyaud, 2004). La muestra en volumen líquido se envió al laboratorio, para su análisis y obtención de la concentración de aerosoles. Del DEM se obtuvo la pendiente, orientación y altitud, éstas correlacionadas con la concentración de aerosoles se obtuvieron ecuaciones para estimar la cantidad total de aerosoles en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

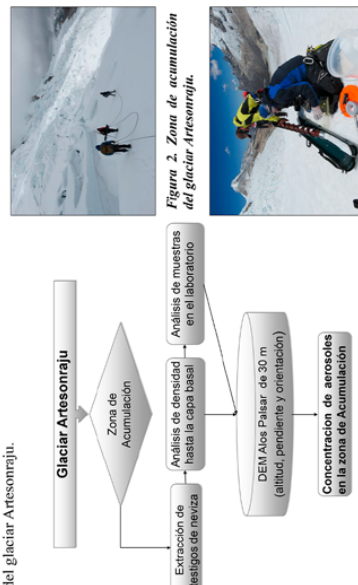


Figura 2. Zona de acumulación del glaciar Artesonraju.

Figura 3. Extracción de testigo de neviza y análisis de densidad

3. Resultados y discusiones

Figura 4. Variación de la densidad con la profundidad.

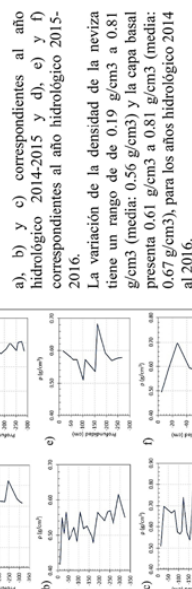


Tabla 1. Ecuaciones para calcular las concentraciones de aerosoles

Año hidrológico	Ecuación
2014-2015	$Y = -23714.574 + 4.759 \cdot \text{ALTITUD} - 13.027 \cdot \text{PENDIENTE}$
2015-2016	$Y = -8148.146 + 1.438 \cdot \text{ALTITUD} + 66.411 \cdot \text{PENDIENTE}$

Figura 5. Aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, año hidrológico 2014-2015.

La concentración de aerosoles se calculó a partir de la Línea de Equilibrio (ELA= 5022 m s.n.m.) hacia la zona de acumulación para un área de 3.677 km².

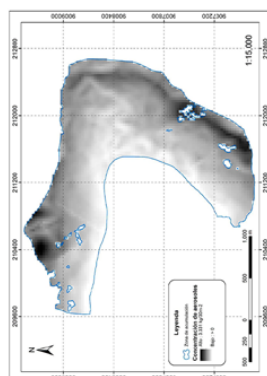


Figura 6. Aerosoles depositados en la zona de acumulación del glaciar Artesonraju, año hidrológico 2015-2016.

La concentración de aerosoles se calculó a partir de la Línea de Equilibrio (ELA= 5038 m s.n.m.) hacia la zona de acumulación para un área de 3.069 km².

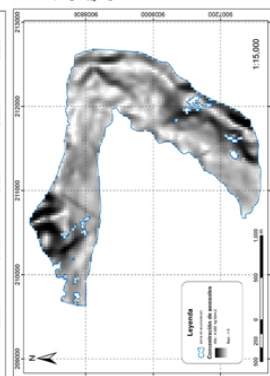


Figura 7. Sistemas de circulación de viento en el glaciar Artesonraju.

Las masas de aire frío con contenido de humedad fluyen hacia el valle (viento catabático) que superan los 4 m/s de velocidad los que tienen mayor predominancia desde la vertiente oriental a la occidental; y el viento más suaves inferiores a los 4 m/s (viento anabático) con menor predominancia.

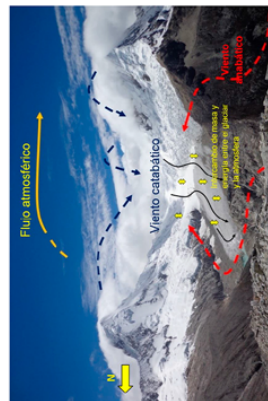
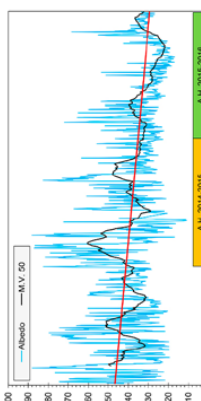


Figura 8. Variación del albedo en los años hidrológicos del 2014-2016.

El albedo del glaciar Artesonraju, tiene una tendencia decreciente, donde la variación fue de 0.11 a 0.88, (media: 0.37).



Las concentraciones obtenidas en los años hidrológicos: 2014 al 2016, en la zona de acumulación de Artesonraju son comparables al estudio de los glaciares Qanaaq Ice Cap y Tugto en el noroeste de Groenlandia, el resultado fue de (0.01 a 8.7) g/m² (media: 3.6 g/m²) en la superficie de la nieve (Takeuchi et al., 2014). Y en el caso de la capa de hielo de Groenlandia en Kronprinz Christians Land, se analizaron partículas arrastradas por el viento local sobre la superficie, registrando concentraciones de aproximadamente 16 g/m² hasta concentraciones tan altas como de 1.4 kg/m² (Boggild et al. 2010).

4. Conclusiones

- La concentración de aerosoles depositados para el año hidrológico 2014-2015 fue de 4.017 t para un área de 3.677 km², de 0.0001 g/m² a 3.701 g/m² (media: 1.191 g/m²); y para el año hidrológico 2015-2016 fue de 5.495 t para un área de 3.069 km², de 0.001 g/m² a 5.099 g/m² (media: 1.916 g/m²).
- La variación del albedo de la superficie del glaciar Artesonraju fue de 0.11 a 0.88, (media: 0.37), con una tendencia decreciente, indicando que el glaciar se oscurece cada vez más, perdiendo la capacidad de reflejar la radiación solar incidente por el depósito de aerosoles.

Referencias:

- Francou, B., & Pouyaud, B. (2004). *Métodos de Observación de Glaciares en los Andes Tropicales: mediciones de terreno y procesamiento de datos.*
- Takeuchi, N., Suganuma, N., Uetake, J., & Shirasaka, R. (2014). Spatial variations in impurities (eyroconin) on glaciers in Antarctica. *Journal of Glaciology*, 50(183), 1-13. [https://doi.org/10.3183/1076-4102\(19\)00776](https://doi.org/10.3183/1076-4102(19)00776)
- Boggild, C. E., Burt, R. E., Brown, K., & Worsley, S. G. (2010). The albedo of Greenland ice types, albedo and impurities. *Journal of Glaciology*, 56(195), 101-113. [https://doi.org/10.3183/1076-4102\(19\)00776](https://doi.org/10.3183/1076-4102(19)00776)



RAHU: IMPLICATIONS OF GLACIER SHRINKAGE ON FUTURE TROPICAL ANDEAN WATER SECURITY AND MANAGEMENT

[título modificado: RAHU: SEGURIDAD HÍDRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS ALIMENTADAS POR GLACIARES]

Andrés Goyburo^{1*}, Pedro Rau¹, Fabian Drenkhan², et al.
[lista modificada para incluir a 15 autores – véase el póster]

¹Universidad de Ingeniería y Tecnología, Lima, Perú

²Imperial College London, Reino Unido

*Email: anesgoyburo@gmail.com

In the Tropical Andes, year-round streamflow from glaciers is an important water resource that supports human livelihoods and ecosystems further downstream. However, the advanced shrinking of glaciers, in combination with low adaptive capacity, makes this mountain region among the most vulnerable. A case in point is the vanishing of the second-largest tropical glacier fragment worldwide, in the Vilcanota-Urubamba river basin in southern Peru, which leads to serious implications for local water security. However, the spatiotemporal variability and evolution of both the meltwater propagation through the terrestrial water cycle and its contribution to changing patterns in water availability at the catchment scale are complex, poorly understood, and highly uncertain. New approaches need to take into account the complex interactions and feedbacks between drivers of water supply and demand within an extended upstream-downstream perspective. In this context, the international project RAHU (Water security And climate cHange adaptation in PerUvian glacier-fed river basins; snowy mountain in Quechua) aims at developing an integrated glacier-water-security-assessment approach to improve evidence and transform the understanding of glacier shrinkage impacts and human vulnerabilities on water security. RAHU

includes an international consortium of scientists in close collaboration with local stakeholders and is supported by a new partnership between Peru and the United Kingdom. The project includes four components : WP1 foresees to develop a fully-distributed, physically-based glacier surface energy balance model; WP2 helps to design and implement a glacier-hydrology-water resources monitoring approach to quantify non-glacial contributions to water resources and the impact of catchments interventions; WP3 focuses on mapping of human water use at high spatiotemporal resolution and determining current and future levels of water (in)security; and, WP4 was built to integrate the aforementioned WP's to evaluate and support the implementation of locally embedded climate change adaptation strategies at the science-policy-operation interface. With this integrated set-up, it is expected to achieve important outcomes on new glaciohydrological and socioeconomic datasets, glaciohydrological modeling approaches integrated into operational practice and locally relevant methodologies to assess socio-ecological vulnerabilities.

Keywords: Glacier shrinkage, water security, ecosystem monitoring, climate change adaptation

RAHU: SEGURIDAD HÍDRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS ALIMENTADAS POR GLACIARES



Wouter Buytaert¹, Pedro Rau², Fabian Drenkhan¹, Walescka Cachay², Waldo Lavado³, Juan Carlos Jimenez³, Nilton Montoya⁴, Carlos Baca⁴, David M Hannah⁵, Nicholas E Barrand⁵, Vivien Bonnesoeur⁶, Gustavo Valdivia⁶, Cecilia Gianella⁶, Jorge Abad², Martin Siegert¹

¹Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente, Imperial College London, Reino Unido

²Centro de Investigación y Tecnología del Agua, Universidad de Ingeniería y Tecnología, Perú

³Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Perú

⁴Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú

Contacto: rahu_project@utec.edu.pe

⁵Escuela de Geografía, Universidad de Birmingham, Reino Unido

⁶Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina, Perú



Introducción

Los impactos del retroceso glaciar ponen en **riesgo** a la seguridad hídrica para la **subsistencia humana** y los **ecosistemas en la región andina**. A pesar de un número creciente de estudios que investigan estos impactos, los procesos físicos y humanos que los rigen son pobremente entendidos en muchas regiones del mundo, incluyendo al Perú.

Paquetes de trabajo

La comprensión de las variables y los procesos involucrados, sus impactos e implementación de **estrategias de adaptación** basadas en la ciencia requieren un **enfoque interdisciplinario**. El proyecto RAHU (*Water security And climate change adaptation in Peruvian glacier-fed river basins*) propone abordar estos desafíos mediante el desarrollo de un modelo integrado:

Liderazgo: UNSAAC y UB

WP1

- Dinámicas glaciares actuales y futuras
- Desarrollo de un modelo de balance de energía y masa glaciar

Liderazgo: SENAMHI y ICL

WP2

- Modelamiento y monitoreo hidrológico
- Diseño e implementación de monitoreo glacio-hidrológico para cuantificar la contribución (no) glaciar

Liderazgo: UTEC y CONDESAN

WP3

- Evaluación seguridad hídrica actual-futura
- Mapeo de uso poblacional de agua para determinación de niveles de seguridad hídrica actual y futura

Liderazgo: CONDESAN y UNSAAC

WP4

- Vulnerabilidad humana y estrategias de adaptación
- Integrar datos en un modelo de evaluación de seguridad glacio-hídrica

Métodos, modelos y bases



Bibliografía relacionada

Iniciativa para el Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (IMHEA)
Célieri, R., Buytaert, W., De Bièvre, B., & Tobón, C. (2009). Understanding the hydrology of tropical Andean ecosystems through an Andean Network of Basins. *Stat Persp of Hydro in Small Basins*, 33x, 1-5. <https://doi.org/10.13140/2.1.4187.3608>

Ciencia ciudadana

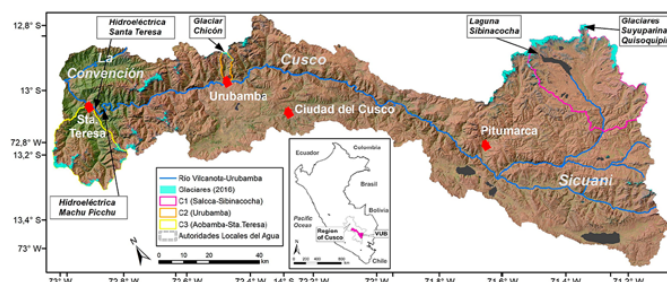
Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., ... Zhmanova, M. (2014). Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Front in Earth Sci*, 2, 1-21. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00026>

Proyectos Glaciológicos UNSAAC

Molina, E., Schauwecker, S., Huggel, C., Haeblerli, W., Cochachin, A., Condom, T., ... Sikos, F. (2015). Iniciación de un monitoreo del balance de masa en el glaciar Suyuparina, Cordillera Vilcanota, Perú. *Clim Cha Trop Andes*, 2, 1-14.

Área de estudio

Se enfoca la cuenca del **Vilcanota-Urubamba** (Cusco), una de las regiones con **mayor cobertura glaciar** y **múltiples usos de agua** e **impactos del cambio climático**.



Actividades realizadas



Presentación del proyecto en Cusco



Visita de campo en el alto Vilcanota



Participación en el taller 'Redes y Gestión Sostenible del Agua en América Latina y el Caribe' por UNESCO



Taller de educación ambiental enfocada a los recursos hídricos - Phinaya



Instalación de sensores arduino para la medición del nivel de agua en: A) Bofedales ; B) Caudales naturales proveniente del glaciar



Actividades realizadas en el WP2

- C) Instalación de la primera estación meteorología en la cuenca experimental Chichón - Urubamba
- Instalación de cámaras LSPV para monitoreo del caudal en tiempo real del río Urubamba.
- Implementación de un sistema de pronóstico a nivel horario del caudal para el río Urubamba.
- Modelamiento horario para toda la cuenca de Vilcanota-Urubamba.

Resultados esperados

- Nuevas bases de datos y modelos de criósfera, hidrósfera, uso de agua y vulnerabilidad humana integradas en repositorios relevantes
- Una metodología localmente relevante para evaluar la vulnerabilidad humana al cambio climático
- Intervenciones en la cuenca como trayectorias de adaptación al cambio climático integradas en políticas nacionales
- Fortalecimiento institucional y local en la gestión de recursos hídricos
- Lecciones aprendidas con potencial de escalamiento en la región andina y más allá

Agradecimientos Este proyecto se está desarrollando durante 34 meses (2019-2021) en el marco del Fondo Newton-Pauley con la colaboración del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) (Perú) y Natural Environment Research Council (NERC) de Reino Unido.



CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA LAGUNA PROGLACIAR PALCACOCHA PREVIO Y POSTERIOR AL ALUVIÓN DE 1941

Alexzander Santiago Martel^{1*}

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: asantiago@inaigem.gob.pe

El cambio climático está generando grandes alteraciones en los ecosistemas de montaña, generando consigo en las últimas décadas una gran reducción de la masa glaciar, con ello la formación y/o evolución de las lagunas de origen glaciar, las cuales representan un riesgo para las ciudades que se localizan aguas abajo. Las lagunas ubicadas en las cabeceras de las cuencas pueden generar grandes desastres naturales como el ocurrido en 1941 en la provincia de Huaraz, departamento de Ancash, donde se generó un aluvión proveniente de la laguna Palcacocha, resultando en la pérdida de 1800 vidas humanas y cuantiosa pérdida económica (Wegner, 2014), siendo uno de los desastres más grandes ocurridas en el Perú.

Geológicamente la ciudad de Huaraz ocupa el abanico deyectivo del río Quillcay, el cual está constituido por materiales fluvio-aluvionales (Chacón, Jacay & Moreno, 2005) generados por los eventos pasados. El río Quillcay que atraviesa la ciudad transporta las aguas provenientes de la fusión glaciar de numerosos nevados, entre ellos los nevados Palcaraju y Pucaranra que dan origen a la laguna Palcacocha, la cual originó el evento catastrófico de 1941.

El presente estudio consiste en la estimación del volumen de la laguna antes y después del evento de 1941, empleando imágenes fotográficas de apoyo del año 1939 y 1940 e imágenes posteriores al evento, estimando así el volumen de agua evacuado en el aluvión de 1941, en relación a la reconstrucción del espejo de la laguna mediante el análisis de las imágenes históricas y el apoyo de los modelos de elevación digital obtenidos de aerofotografías por el Ministerio del Ambiente en el año 2012 y la batimetría realizada por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos el 2016.

Palabras clave: Volumen, modelo digital de terreno, orto fotografía, batimetría



RESUMEN

A lo largo de todos los Andes peruanos el retroceso glaciar varía entre 10 a 40% (Bernex & Tejada, 2010), generándose la pérdida de almacenamiento del recurso hídrico como también la formación de nuevas lagunas y la evolución de las mismas, como es el caso de la Laguna proglaciar (originada por el retroceso glaciar) Palcacocha, el cual generó un evento catastrófico el 13 de diciembre de 1941 en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, donde se generó el aluvión proveniente de la Laguna proglaciar Palcacocha, generando la pérdida de 5000 vidas humanas (INAIGEM, 2018) y cuantiosa pérdida económica (Wegner, 2014), siendo uno de los desastres más grandes ocurridos en el Perú. A la actualidad la laguna proglaciar cuenta con 17 millones de metros cúbicos de volumen (Cochachi Rapre & Salazar Checa, 2016), las cuales drenan por la microcuenca Cojup hacia la ciudad de Huaraz. Geológicamente la ciudad de Huaraz, ocupa el abanico deyectivo del río Quillcay, el cual está constituido por materiales fluvio-aluvionales (Chacón A., Jacay H., & Moreno C., 2005) generados por los eventos pasados como los del 41.

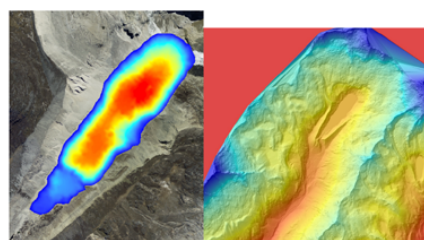
El presente estudio consiste en estimar el volumen antes y después del evento de 1941, para reconstruir el impacto del evento cuantificados en volumen de agua evacuado, para lo cual se empleó el método SIG (Sistema de Información Geográfica) y teledetección para obtener los volúmenes de los años de 1939 y 1947.



Ubicación del área de estudio laguna proglaciar Palcacocha, localizada en la cabecera de la microcuenca Cojup, que recibe los aportes de la fusión de los nevados Palcaraju y Pucaranra, cuyas aguas drenan por la quebrada Cojup para formar el río Quillcay que atraviesa la ciudad de Huaraz.

METODOLOGÍA

Para la estimación del volumen de la Laguna Palcacocha, se empleó 3 insumos principales que son, modelo digital de terreno obtenidos de aerofotografías por el Ministerio del Ambiente - año 2012, batimetría del 2016 de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional de Agua y fotografías de la nota técnica 7 "Lo que el agua se llevó Consecuencias y Lecciones del Aluvión de Huaraz del 1941" (Wegner, 2014), para obtener el volumen se realizó en 2 etapas:



En la imagen de la izquierda se observa la batimetría del año 2016 y en la derecha se observa el modelo digital de terreno del 2012 realizado por MINAM



Fotografía "A". Vista de la laguna proglaciar Palcacocha antes del evento desde el lado izquierdo de la quebrada Cojup, Fotografía "B". Vista vertical de la laguna proglaciar Palcacocha después del evento de 1941

Etapas 1: Posicionamiento de las fotografías y obtención del área de laguna

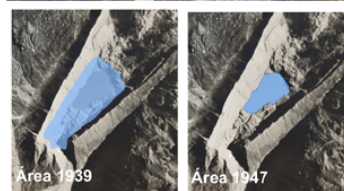
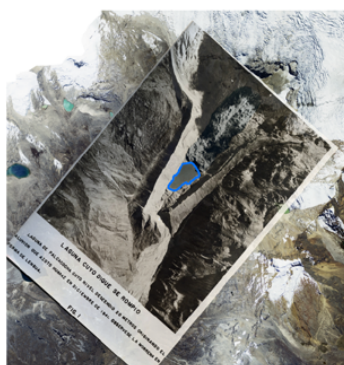


Imagen del área de la laguna proglaciar delimitada (1939 y 1947)

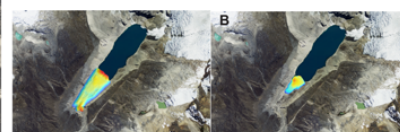
Etapas 2: Obtención de volumen



Imagen del proceso del flujo para la estimación del volumen

RESULTADOS

Realizando los cálculos de los volúmenes, para los periodos de estudio que consta de 1939 y 1947, tomando como base las fotografías de la revista "Lo que el agua se llevó Consecuencias y Lecciones del Aluvión de Huaraz del 1941" (Wegner, 2014) y los modelos digitales obtenidos de la batimetría de la laguna Palcacocha del 2016 y el vuelo aerofotográfico sobre la cuenca Quillcay por el MINAM en el 2012, se consiguió estimar para el año 1939 un total de 11973872.25 m³ de agua para la laguna proglaciar Palcacocha y para el año 1947 luego del evento de 1941 se estimó 1208112 de m³. Realizando un análisis comparativo entre el periodo 1939 y 1941, se habría evacuado un total de 10765760.25 m³ en el evento de 1941



En los resultados obtenidos, en la imagen "A" correspondiente al año 1939 y el cálculo del periodo de 1947 "imagen B".

Según estudios que se realizaron de modelamiento de posibles eventos de desborde de la laguna proglaciar Palcacocha desarrollado por (Somos-Valenzuela, Chisolm, Rivas, Portocarrero, & McKinney, 2016), en diversos escenarios considera como máximo volumen de salida 1.8x10⁶ m³, se menciona que asumen los valores de referencia por que no se posee datos de eventos pasados para ajustar el modelo, siendo el presente estudio un apoyo para realizar la calibración de los modelos considerando el volumen de evacuación que se calculó para el evento de 1941 que fue de 10 765 760.25 m³.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se logró obtener el volumen de agua desbordada de la laguna Palcacocha en el evento de 1941 fue de 10765760.25 m³, dicha información será de importancia para realizar calibración de los modelos de flujo que se desarrollen, además es importante tener en consideración que para el periodo de 1939, en la identificación del área de la laguna existía masa glaciar debajo de la laguna, el cual no tiene en consideración el modelo para estimar el volumen (ver área 1939).

Para evaluar el modelo, se realizó un análisis comparativo de volumen para el año 2016 del modelo respecto a la batimetría realizada para el mismo año, obteniendo así 17 332 665 m³ con el modelo y 17 325 207 m³ que fue registrado con la batimetría obteniendo una diferencia de 7 458 m³, mostrando un gran nivel de aproximación a los datos de campo, mostrando de esta manera el nivel de confianza de los datos obtenidos para los periodos de 1939 y 1947.

REFERENCIA

- Bernex, N., & Tejada, M. (2010). Cambio climático, retroceso glaciar y gestión integrada de los recursos hídricos. Universidad De Castilla, 1–130.
- Chacón A., N., Jacay H., J., & Moreno C., I. (2005). Procesos Geodinámicos En El Área Río Quillcay, Huaraz - Ancash. Instituto de Investigación FIGMMG, 8, 22–28.
- Cochachi Rapre, A., & Salazar Checa, C. (2016). Batimetría de la Laguna Palcacocha.
- INAIGEM. (2018). Las Cordilleras Glaciares del Perú. Huaraz.
- Somos-Valenzuela, M. A., Chisolm, R. E., Rivas, D. S., Portocarrero, C., & McKinney, D. C. (2016). Modeling a glacial lake outburst flood process chain: The case of Lake Palcacocha and Huaraz, Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2519–2543. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2519-2016>
- Wegner, S. (2014). Lo que el agua se llevó. Consecuencias y Lecciones del Aluvión de Huaraz del 1941., 88.



MODELIZACIÓN NUMÉRICA DE UN POTENCIAL GLOF EN LA LAGUNA PARÓN, CORDILLERA BLANCA, PERÚ

Hilbert Villafane Gómez^{1*}, Juan Carlos Torres Lázaro¹, Adriana Caballero Bedriñana¹,
Harrinson Jara Infantes¹, Ronald Concha Niño de Guzmán¹, Énver Melgarejo Romero¹,
Julia Araujo Reyes¹, Joshua Iparraguirre Ayala¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: hilbertveritasofficial@gmail.com

La Cordillera Blanca es el escenario de una rápida desglaciación debido al cambio climático actual, especialmente durante el último siglo XX (INAIGEM, 2018); este proceso ha generado la formación de nuevas lagunas potencialmente peligrosas (Emmer et al., 2014), y a la vez, se incrementó del volumen de las otras lagunas preexistentes, como el caso de la laguna Parón (8°59'34"S - 77°40'17"O), la cual podría representar un peligro potencial para la ciudad de Caraz y poblaciones menores ubicados en la subcuenca Parón-Llullán, ante el evento de un desembalse violento de la laguna Parón iniciada por avalanchas de hielo y roca. Así mismo, la evidencia geológica y geomorfológica de la parte baja de la subcuenca Parón-Llullán, indica una recurrencia importante de eventos aluviónicos originados por un desborde violento de lagunas de origen glaciar (Glacier Lake Outburst Flood - GLOF).

En ese contexto, este trabajo consistió en tres fases de modelización para este evento de geodinámica externa: 1) Modelización de avalanchas de bloques potencialmente inestables empleando el modelo RAMMS, tomando como referencia desprendimientos en distintos puntos localizados en los diferentes circos glaciares

que rodean la laguna Parón, 2) Análisis de los parámetros hidráulicos de la brecha en la morrena frontal considerando el material no erosionable extrapolado de la geología local para la estimación de un hidrograma de rotura del dique natural y 3) Simulación del flujo de detritos empleando el modelo FLO-2D Pro con datos de las fases anteriores.

Los resultados de la simulación muestran un volumen de desembalse de 59'017,897.47 m³, con un caudal máximo del hidrograma de rotura de 25,264.22 m³/s y una extensa área de impacto de inundación en la ciudad de Caraz con velocidades oscilantes entre 11.2 a 22.4 m/s, con un espesor de flujo 9.9 a 19.7 m cuyo recorrido tardaría de 36 a 42 minutos en impactar con la zona urbana de la ciudad de Caraz.

Palabras clave: GLOF, aluvión, RAMMS, FLO-2D

Resumen

La Cordillera Blanca es el escenario de una rápida desglaciación debido al cambio climático actual, especialmente durante el último siglo XX; este proceso ha generado la formación de nuevas lagunas potencialmente peligrosas (Emmer et al., 2014), y a la vez, se incrementó el volumen de las otras lagunas preexistentes, como el caso de la laguna Parón (8°59'34"S - 77°40'17"O), la cual podría representar un peligro potencial para la ciudad de Caraz y poblaciones menores ubicadas en la subcuenca Parón-Llullán, ante el evento de un desmoronamiento violento de la laguna Parón iniciada por avalanchas de hielo y roca. Así mismo, la evidencia geológica y geomorfológica de la parte baja de la subcuenca Parón-Llullán, indica una recurrencia importante de eventos aluviales originados por un desborde violento de lagunas de origen glaciar (Glacier Lake Outburst Flood - GLOF).

En ese contexto, este trabajo consistió en tres fases de modelización para este evento de geodinámica externa: 1) Modelización de avalanchas de bloques potencialmente inestables empleando el modelo RAMMS, tomando como referencia desprendimientos en distintos puntos localizados en los diferentes circos glaciares que rodean la laguna Parón, 2) Análisis de los parámetros hidráulicos de la brecha en la morrena frontal considerando el material no erosionable extrapolado de la geología local para la estimación de un hidrograma de rotura del dique natural y 3) Simulación del flujo de detritos empleando el modelo FLO-2D Pro con datos de las fases anteriores.

Introducción

Los peligros por Desmoronamiento Violento de Lagunas de Origen Glaciar (GLOF) han cobrado miles de vidas humanas a lo largo de la historia, la Cordillera de los Andes presenta antecedentes relacionados a estos eventos como los ocurridos en la laguna Palcacocha (1941) o las lagunas Artizon (2012), en la mayoría de los casos estos eventos han sido detonados por agentes de geodinámica externa como avalanchas de hielo, deslizamiento de tierra o roca, consecuentemente generando un proceso hidrodinámico conocido como desplazamiento de ondas de impulso, estas últimas muchas veces rebasan el dique natural o artificial iniciando un proceso de erosión y desarrollo de una brecha que finaliza en el desmoronamiento violento de la laguna; aguas abajo se origina un flujo de detritos. los objetivos para la investigación son realizar la modelización de avalanchas de hielo, realizar el análisis del tránsito de ondas de impulso, definición de los parámetros hidráulicos de la brecha y la modelización propiamente dicha del flujo de detrito para estimar la peligrosidad de la laguna Parón ante un evento extraordinario de desmoronamiento violento.

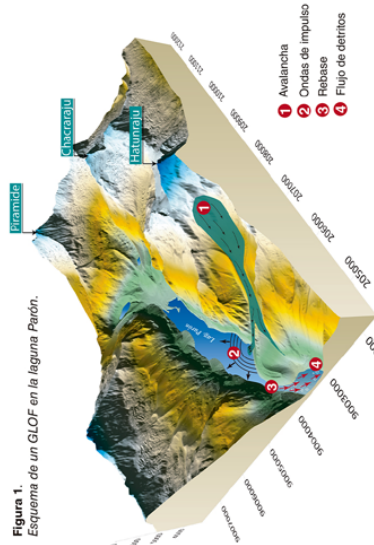


Figura 1. Esquema de un GLOF en la laguna Parón.

Metodología

Consistió en la aplicación de modelos validados y especializados en la modelización del tipo de flujo en ambientes glaciares, entre ellos el RAMMS. Avalancha que, mediante los parámetros de fricción del relieve, la densidad y el volumen del bloque potencialmente inestable el software describe el comportamiento del flujo de detritos; y el modelo FLO-2D desarrollado para la modelización del flujo de detritos expresados mediante la concentración volumétrica de sólidos y un hidrograma de ruptura.

Resultados y discusión

Las avalanchas provenientes del glaciar Haturraju son las que representan peligro para la laguna Parón, si el flujo logra impactar con la laguna, generando ondas de impulso que inician el mecanismo de un GLOF; en la Figura 1 y la Figura 2 se observan resultados de espesor máximo y velocidad máxima de flujo de avalancha registrados del periodo total de simulación desde el glaciar Haturraju.

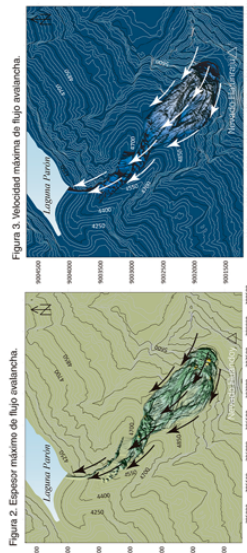


Figura 2. Espesor máximo de flujo de avalancha.

Una de las condiciones de contorno para la modelización del flujo de detritos aguas abajo de la laguna Parón es el hidrograma de ruptura, calculado mediante los parámetros de brecha, caudal pico y el tiempo de falla; empleando los métodos empíricos desarrollados por diferentes autores para ruptura de presas de tierra y naturales, resultando un valor del caudal pico promedio de 25,264.22 m³/s mostrados en la Figura 4, para una altura de brecha de 50.54 m.

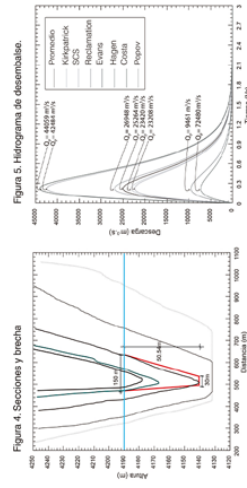


Figura 4. Secciones y brecha.

En cuanto a la modelización numérica del flujo de detritos, considerando los datos de los cálculos anteriores y para dos hidrogramas de ruptura, el primer caso para un caudal pico máximo (Ppov) y el segundo caso para un caudal pico mínimo (Costa); donde en ambos casos se muestra la formación de un abanico aluvial de una extensa área cerca de la confluencia del río Llullán con el río Santa.

Figura 6. Inundación para un caudal pico máximo de (Ppov, 1992).



Figura 7. Inundación para un caudal pico mínimo (Costa).



Conclusiones

La laguna Parón es una laguna que representa peligro para la ciudad de Caraz y centros poblados dentro de la llanura de inundación ante un evento GLOF; para ello se llevaron a cabo simulaciones de avalanchas para determinar el espesor de flujo, la velocidad y volumen de impacto en dicha laguna, donde mostraron un espesor de flujo de 2.9 m, una velocidad de 25 m/s y un volumen de impacto de 1.36x10⁶ m³, para avalanchas provenientes desde el glaciar Haturraju. Se empleó la metodología desarrollada por Heller et al. (2009) para estimar la generación, propagación y rebalse de las ondas de impulso a través de la laguna, donde se calculó un volumen de 800.0 m³ de desbordamiento lo que iniciaría un proceso de erosión de la zona frontal de la laguna; mediante un análisis geológico se determinó la zona erosionable correspondiente a un desmoronamiento de 59.02x10³ m³ de la laguna, con un caudal medio del hidrograma de rotura de 2.53x10³ m³/s y una extensa área de inundación en la ciudad de Caraz con velocidades de flujo oscilantes entre 11.2 a 22.4 m/s, con un espesor de flujo 9.9 a 19.7 m y cuyo recorrido tardaría de 36 a 42 minutos en impactar con la zona urbana de la ciudad de Caraz.

Referencias bibliográficas

- Emmer, A., Vilmeek, V., Kimes, J., & Cochachin, A. (2014). Glacier Retreat, Lakes Development and Associated Natural Hazards in Cordillera Blanca, Peru. 231 - 252. doi:10.1007/978-3-319-008677_17.
- Heller, V., Hager, W. H., & Minor, H. E. (2009). Landslide generated impulse waves in reservoirs. (H. Boes, Ed.). Zurich: ETH Zurich.



GEODYNAMICS AND GLACIER RETREAT ON THE SOUTH FACE OF MT. SACSARAYOC (CORDILLERA VILCABAMBA, PERU) [título modificado: GEODINÁMICA Y RETROCESO GLACIAR EN LA CARA SUR DEL NEVADO SACSARAYOC (CORDILLERA VILCABAMBA, PERÚ)]

Estibene Pool Vásquez Choque^{1*}, Ángel Gonzalo Luna Guillén¹, Igor Astete Farfán¹

¹Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima, Perú

*Email: evasquez.geo@gmail.com

The retreat of glaciers implies a series of consequences that directly or indirectly affect humanity. The most relevant are the shortage of water for nearby populations and on the other hand mass movements (avalanches, debris flows among others) that have caused huge losses in human lives and infrastructure. The Central Andes of Peru, and specifically the Vilcabamba mountain range, is considered an area of very high susceptibility to geodynamic processes. Due to the steep relief of the snowy peaks of this part of the mountain range. The Gorge of the Yanama River and the Moya Gorge towards the south face of Mt. Sacsarayoc snowfall (Pumasillo) records a series of mass movement events due to a strong geodynamic activity in both valleys. The different geomorphological units mapped show evidence that a sequence of floods has occurred in these valleys, probably because of the breakage of moraine dikes and subsequent overflow of glacial lagoons due to the fall of ice blocks or other factors that triggered this type of geodynamic events. These types of events have taken place at least during the last 20,000 years in different periods of advance and retreat of the glaciers. The present work has as a priority to reconstruct the interaction between the different

geodynamic events and the glacier evolution, taking into account multiple parameters such as the paleo-temperature, ELAs, paleo-ELAs, volume and paleo-volume. This reconstruction is of vital importance to project future trends in glacier behavior and with it the possibility of new occurrences of avalanches or other geodynamic events. Finally, the contribution of the results of this work is essential for decision-making by government political authorities, managing resources to implement prevention, mitigation and adaptation policies to this type of phenomenon caused by climate change.

Keywords: Glacier retreat, ELA, paleo-ELA, paleotemperature, volume, paleovolume, geomorphology, geodynamics

GEODINÁMICA Y RETROCESO GLACIAR EN LA CARA SUR DEL NEVADO SACSARAYOC (CORDILLERA VILCABAMBA, PERÚ)

POOL VASQUEZ, GONZALO LUINA & IGOR ASTETE

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, Perú
evasquez@ingemmet.gob.pe

I. RESUMEN

El retroceso de los glaciares implica una serie de consecuencias que afectan directa o indirectamente a la humanidad. Las más relevantes son el desabastecimiento de agua para las poblaciones cercanas y por otro lado los movimientos en masa (aludes, flujos de detritos entre otros) que han causado enormes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Los Andes Centrales de Perú y puntualmente la cordillera Vilcabamba es considerada un área de muy alta susceptibilidad a los procesos geodinámicos. Debido al relieve abrupto que presenta los picos nevados de esta parte de la cordillera. La quebrada del Río Yanama y la quebrada Moya hacia la cara sur del nevado Sacsarayoc (Pumasillo) registra una serie de eventos de movimientos en masa producto de una actividad geodinámica fuerte en ambos valles. Las diferentes unidades geomorfológicas cartografiadas, muestran evidencias que en los valles antes mencionados han ocurrido una secuencia de aluviones. Probablemente por causa de la rotura de diques morrénicos y posterior rebalse de las lagunas glaciares producto de la caída de bloques de hielo u otros factores que desencadenaron este tipo de eventos geodinámicos. Estos eventos, han tenido lugar al menos los últimos 20 000 años en diferentes periodos de avance y retroceso de los glaciares. El presente trabajo tiene como prioridad reconstruir la interacción entre los distintos eventos geodinámicos y la evolución glaciaria tomando en cuenta múltiples parámetros tales como la paleo-temperatura, ELAs, paleo-ELAs, volumen y paleo-volumen. Esta reconstrucción es de vital importancia para proyectar tendencias futuras del comportamiento glaciario y con ello la posibilidad de nuevas ocurrencias de aludes u otros eventos geodinámicos. Finalmente, el aporte de resultados de este trabajo es trascendental para la toma de decisiones por parte de autoridades políticas del gobierno, gestionando recursos para ejecutar políticas de prevención, mitigación y adaptación a este tipo de fenómenos causados por el cambio climático.

II. INTRODUCCIÓN

El nevado Sacsarayoc se encuentra situada en extremo este de la cordillera Vilcabamba con una extensión de 14 km de largo orientado de noreste a suroeste por 4 km de ancho de noreste a suroeste en los Andes Centrales. Consta de nueve cumbres principales, siendo la de mayor elevación 5991 msnm entre 13° 15' 00" S y 72° 49' 12" O. A su vez, esta cumbre se encuentra ~94 km hacia el noreste de la ciudad del Cusco.



Figura 1: Localización del nevado Sacsarayoc



Figura 2: Mapa del Perú donde se localiza el Nevado Sacsarayoc (Cordillera Vilcabamba)

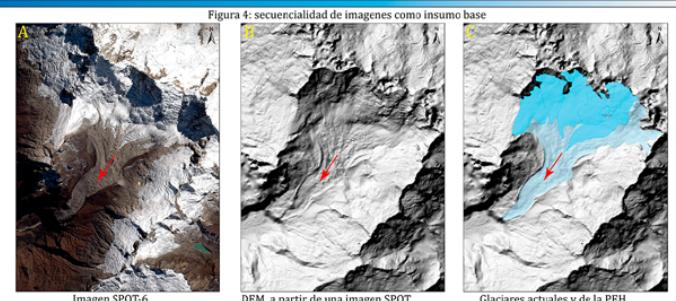
III. METODOLOGÍA

El método aplicado en este trabajo de investigación consta en un primer análisis geomorfológico de imágenes satelitales, identificando el avance glaciario en distintos periodos de enfriamiento y con ello evidencias de aluviones ocurridos en el pasado. Así mismo, la recolección de datos en campo respecto a la geología ha permitido validar y corregir la información previamente recolectada.

La metodología utilizada se resume en tres etapas:
Etapas 1: fotointerpretación y análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite (gabinete).
Etapas 2: Validación y corrección de mapas elaborados en la anterior etapa. Reconstrucción de esquemas, perfiles, modelos de ocurrencia y recolección de datos in situ.
Etapas 3 en gabinete: elaboración final de documentos (boletines, papers y otras publicaciones).



Figura 3: Equipos utilizados en el trabajo de campo



El relieve es un factor determinante para el análisis geomorfológico en ambientes de alta montaña, donde los glaciares tuvieron una dinámica constante en el tiempo. Las evidencias dejadas por el desplazamiento de las masas de hielo (morrenas, bloques morrénicos y lechos rocosos pulidos), son características a considerar en el cartografiado y descripción para un posterior análisis e interpretación. En la imagen del lado derecho, se observa el desarrollo de una lengua glaciaria durante la PEH, en la actualidad parte del hielo se encuentra cubierto por material (till).



Figura 5: Imagen 3D del relieve del Sacsarayoc

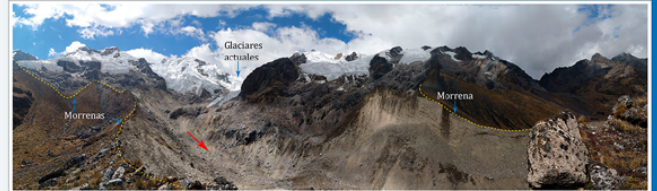


Figura 6: Último avance de los glaciares en el valle del río Yanama

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han logrado identificar 54 glaciares actuales (2018) y 42 paleoglaciares (PEH) a lo largo de la cara sur del nevado Sacsarayoc. La dirección de flujo de los glaciares actuales y paleoglaciares es hacia los valles más grandes y representativos (valles del río Yanama y Moyoc), donde a la vez se desarrollan lenguas de hielo de gran extensión por el relieve favorable de los valles glaciares. A continuación se muestra un mapa con glaciares y paleoglaciares, en el costado derecho se ha seleccionado tres áreas a lo largo del valle del río Yanama y están representadas en tres fotos secuenciales: la foto "C" es la morrena más baja, la foto "B" muestra un avance intermedio y la foto "A" se trata de un último avance de la lengua glaciaria. El valle se encuentra cubierto por material producto de la dinámica glaciaria y los movimientos en masa durante los distintos periodos de avance y retroceso glaciario. Finalmente, el perfil muestra modelos de la dinámica del hielo durante su avance y retroceso. (Iturrizaga 2018).

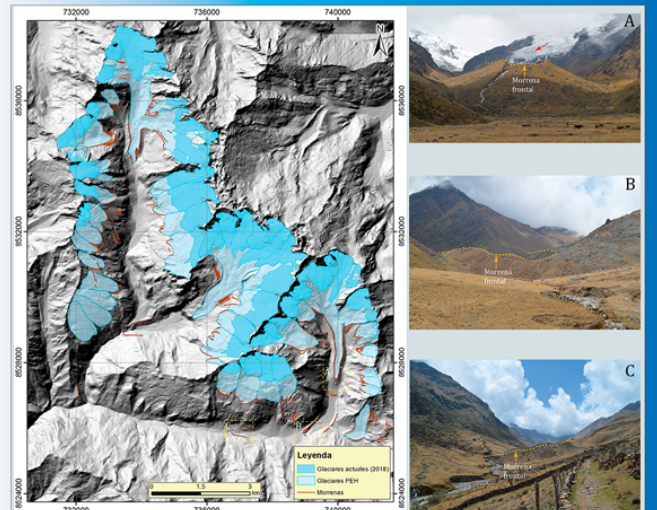


Figura 7: Mapa de glaciares y paleoglaciares en la cara sur del nevado Sacsarayoc

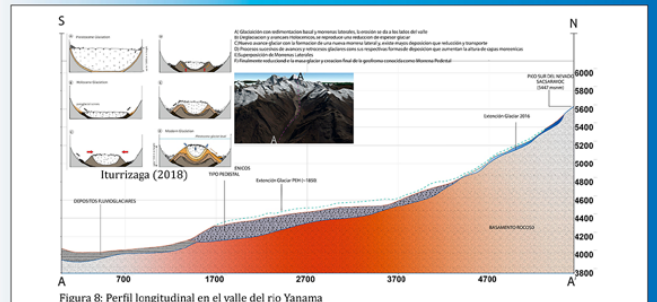


Figura 8: Perfil longitudinal en el valle del río Yanama

V. CONCLUSIONES

- Se han identificado 54 glaciares actuales (2018) y 42 paleoglaciares atribuidos a la PEH, también se han identificado avances más antiguos en los valles más grandes.
- La presencia de tres principales valles, permitió el desarrollo de lenguas glaciares de gran extensión debido al relieve favorable.
- Los valles glaciares están rellenos por material producto de la dinámica glaciaria y los movimientos en masa en periodos de enfriamiento y calentamiento del clima.
- La principal actividad de la población dentro del área de influencia es la ganadería (valle arriba) y la agricultura (valle abajo) y por ello la importancia de los recursos hídricos de origen glaciario.

VI. REFERENCIAS

- Benavente, C.; Delgado, F.; Taipei, E.; Audin, L. & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco.
- Marocco, R. (1978). Estudio Geológico de la cordillera del Vilcabamba. Bol. Nro. 4. Serie D. INGENMET. 157 p. Lima - Perú.
- Carlotto et. al. (1999). Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupichu. Bol. Nro. 127. Serie A. INGENMET. 319 p. Lima - Perú.



BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA CORDILLERA CARABAYA, PUNO, PERÚ

Ángel Quispe Huahuasoncco^{1*}, Magna Mollinedo Machaca¹, Leslie Mamani Mamani¹

¹Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, Perú

*Email: wawasunqu@gmail.com

La investigación se realizó en el glaciar Queñuani de la Cordillera Carabaya en la Comunidad de Chingo, distrito de Coasa, provincia de Carabaya, Región Puno - Perú, ejecutada entre el periodo del año 2016, inicio del año hidrológico y el año 2017 finales del año hidrológico, para lo cual nos planteamos los siguientes objetivos: a) calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de precipitación, b) calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de estiaje. El método utilizado fue glaciológico, que estima la pérdida o ganancia de masa de un glaciar en un periodo de tiempo determinado a partir de mediciones de campo, recurrimos al uso balizas en la zona de ablación y pozos de nieve/hielo en la zona de acumulación. Se utilizó pruebas estadísticas, medidas de tendencia central, dispersión, análisis de varianza (ANDEVA), análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (Análisis de clúster). Se registró el balance de masa en la época de precipitación (lluvias) $b_n = -1698.4$ mm eq.a, el cual indica que estuvo en un fuerte desbalance; y en el periodo de transición nos resulta positivo $b_n = +66.7$ lo que indica que hubo incremento de la masa glaciar. Y en la época de lluvias con un balance de masa $b_n = -83.8$, el cual indica que el glaciar

Queñuani se encuentra en un desbalance debido al incremento de temperaturas y para todo el año hidrológico se obtuvo un balance de masa negativo $b_n = -1714.5$ mm eq.a, lo que indica que el glaciar Queñuani está en un fuerte desbalance.

Palabras clave: Glaciar, precipitación, estiaje, ablación, acumulación, año hidrológico

BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA CORDILLERA DE CARABAYA, PUNO- PERÚ

AUTORES
Angel Quispe Huahuasconcco
Magna molinedo machaca
DISEÑO
Leslie Xiomy Mamani Mamani

CONTACTOS
wawasunqu@gmail.com
magna.molinedo@hotmail.com
less.rosse@gmail.com

AFILIACIÓN INSTITUCIONAL
Universidad Nacional del Altiplano
Puno - Perú

RESUMEN

La investigación se realizó en el **glaciar Queñuani de la Cordillera de Carabaya** en la Comunidad de Chingo, Provincia de Carabaya, Región Puno, Perú, ejecutada entre el periodo del año 2016, inicio del año hidrológico y el año 2017 finales del año hidrológico, para lo cual nos planteamos los siguientes objetivos: a). **Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de precipitación b). Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de estiaje.**

El **método utilizado fue glaciológico**, que estima la pérdida o ganancia de masa de un glaciar en un periodo de tiempo determinado a partir de mediciones de campo, recurrimos al uso balizas en la zona de ablación y pozos de nieve/hielo en la zona de acumulación. Se utilizó pruebas estadísticas, medidas de tendencia central, dispersión, análisis de varianza (ANDEVA), análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (Análisis de clúster). Se registró el balance de masa en la época de precipitación (lluvias) $bn = -1698.4$ mm eq.a, el cual indica que estuvo en un fuerte desbalance; y en el periodo de transición nos resulta positivo $bn = +66.7$ lo que indica que hubo incremento de la masa glaciar. Y en la época de lluvias con un balance de masa $bn = -83.8$, el cual indica que el glaciar Queñuani se encuentra en un desbalance debido al incremento de temperaturas y para todo el año hidrológico se obtuvo un balance de masa negativo $bn = -1714.5$ mm eq.a, lo que indica que el **Glaciar Queñuani está en un fuerte desbalance.**



Foto frontal del lugar de estudio
Fuente: propia

METODOLOGÍA

Método glaciológico directo

Estima la **pérdida o ganancia de masa de un glaciar** en un periodo de tiempo determinado a partir de mediciones de campo, balizas en la zona de ablación y pozos de nieve/hielo en la zona de acumulación.

Instalación de balizas
Fuente: propia



INTRODUCCIÓN

Los **glaciares tropicales son la fuente principal de vida**, debido a ello la importancia de ser estudiados, ya que la **desglaciación** ocurre a pasos acelerados, la región de Puno comprende de 3 cordilleras. La cordillera la Raya frontera con la región de cuzco, Carabaya y Apolobamba frontera con Bolivia, tiene 148 glaciares el más alto Allin Ccapac y el más extenso el Huamanlipani, que van disminuyendo de manera acelerada, ya que es irreversible debido a las emisiones de gases de efecto invernadero en la era industrial, debido al aumento de temperatura por el calentamiento climático de la Tierra. Una de las **evidencias más claras de los cambios climáticos son los procesos de conformación y desaparición de masas glaciares en la superficie continental.**

Según el Tyndall Center, el Perú es el 3er país más vulnerable a los efectos del cambio climático, después de Bangladesh y Honduras. Similar se aprecia en la Cordillera de Carabaya donde **inicialmente generaría mayor disponibilidad de agua** que beneficiarían a la ganadería y agricultura de la Comunidad de Chingo, durante un periodo de 15 a 20 años, **luego de ello empezaría la disminución del agua** y en consecuencia las sequías, afectando la producción agropecuaria y otros usos de las familias.



Retroceso glaciar 2009-2017
Fuente: propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance **neto** para el **año hidrológico 2016-2017**, según el **rango altitudinal**.

Rango altitudinal	Área (ha)	s/s (2016-2017)	bn (mm eq.a)	Balace ponderado (bn *s/s) (mm eq.a)
5240-5220	0.1431	0.066	624	41.2
5220-5200	0.3394	0.158	534.5	84.5
5200-5180	0.8768	0.409	-2494	-1020
5180-5160	0.2832	0.132	-1942	-256
5160-5140	0.1	0.046	-2187	-100.6
5140-5120	0.2469	0.115	-2432	-279.6
5120-5100	0.149	0.069	-2663	-183.7
5100-5080	0.001	0.0001	-2547	-0.3
Sumatoria	2.1394	1	-13106.5	-1714.5

En el glaciar Incachiriasca de la cordillera Vilcabamba, en la región Cusco, se encuentra también en un fuerte **desbalance** $bn = -1486$ mm eq.a (Nieto, 2014). Y en el glaciar Zongo, cordillera Real en Bolivia, encuentra un balance positivo de $bn = 257$ mm eq.a (Leonardini, 2010). (Gurgiser, 2013), en el glaciar Shallap, Cordillera Blanca (región Ancash) obtuvo balance de masa específico negativa (-320mm eq. a) en el primer año y positivo (+510 mm eq. a) en el segundo año.

CONCLUSIONES

El balance de masa para el año hidrológico 2016- 2017 es negativo $bn = -1714.5$ mmeq.a, el cual indica que el **Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya está en fuerte desbalance.**

REFERENCIAS

- ANA, 2014. Inventario nacional de glaciares y lagunas. Ministerio De Agricultura Y Riego Autoridad Nacional Del Agua, Dirección De Conservación Y Planeamiento De Recursos Hídricos. 56p.
- CAN- SG, PNUMA, IRD (2007). El fin de las cumbres nevadas- glaciares y cambioclimático en la Comunidad Andina Lima - Perú. 104p.
- MINAM. (2012). Informe Nacional del Estado del Ambiente 2009- 2011. (S. Gráfica, Ed.) (1ra edición, p. 295 (118).

RECONOCIMIENTO DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO

- Ganadores de "Mi Tesis en un Póster" quedando como tercer lugar, organizado por la Universidad Nacional del Altiplano Puno - 2017
- Financiamiento propio.



MODELO PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTO EN SECUENCIAS DE VÍDEO EN MONTAÑAS CON PELIGRO DE AVALANCHA. CASO DE ESTUDIO: LAGUNA PALCACOCHA

Milwart Calizaya Bobadilla^{1,2*}, José Herrera Quispe²

¹Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú

²Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: rmil.cb@gmail.com

Los sistemas de vídeo vigilancia se utilizan para monitorear muchas actividades y producen un flujo grande de datos. Uno de los grandes retos para los investigadores es poder detectar y clasificar eventos de manera eficiente, en particular detectar las ocurrencias de eventos inusuales. Es así que se utilizan sensores que usan partes específicas del espectro electromagnético y miden la radiación emitida por la superficie para el estudio de movimientos de masa. De acuerdo a cómo interactúen con el objeto de estudio, pueden ser activos como LiDAR (Light Detection and Ranging), y Radar (Radio Detection and Ranging) o pasivos como cámaras de vídeo vigilancia. Si bien los sensores activos tienen muy buenos resultados en detección de anomalías en condiciones climáticas adversas aun son muy costosos. Es así que se han hecho esfuerzos por utilizar sistemas de vídeo vigilancia para el monitoreo de desprendimientos de rocas en montañas, deslizamiento de tierra, y avalanchas. En este estudio se presenta un modelo para la detección de movimiento basado en algoritmos de flujo óptico y descriptores de movimiento HOG (Histogram of Oriented Gradients), HOF (Histogram of Optical Flow), HOOF (Histogram

of Oriented Optical Flow). Como resultados preliminares se detecta movimiento de avalancha en un 60 por ciento y solamente ruido en 40 por ciento en el caso de estudio de la laguna Palcacocha. Se espera mejorar estos resultados delimitando de mejor manera las regiones de interés y adecuando un umbral de decisión.

Palabras clave: Sistemas de video vigilancia, detección de movimiento, avalanchas

Modelo para la Detección de Movimiento en Secuencias de Vídeo en Montañas con Peligro de Avalancha Caso de Estudio: Laguna Palcacocha

Milwart Calizaya¹ Jose Herrera²

¹Universidad Nacional de San Agustín ²Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Motivación

- El cambio climático acelera el retroceso glaciar y la aparición de eventos extremos como avalanchas.
- Las avalanchas destruyen poblaciones vulnerables y sus medios de vida Fuchs et al. (2019).
- Radars Interferométricos de Apertura Sintética son confiables para detectar movimiento, sin embargo son costosos. En muchos casos recuperar, procesar la información producida por estos puede tomar bastante tiempo Filonenko et al. (2015).
- El procesamiento de video con técnicas de inteligencia artificial se muestran prometedoras Ribeiro et al. (2018).

Objetivo

Proponer un modelo usando Procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático, para detectar avalanchas en secuencias de vídeo de una cámara de vídeo vigilancia instalada en la morrena frontal de la laguna Palcacocha en Huaraz - Perú.



Figura 1: Antena con cámara de video vigilancia en la laguna Palcacocha.

Propuesta

Secuencias de vídeo son extraídas de 1920px x 1080px, se trabaja con una secuencia conteniendo una avalancha con fecha 2019-02-18, luego son etiquetadas para entrenamiento.

- 1 Pre-procesamiento: Se aplica un filtro de suavizado para reducir el ruido y detalles Sucar and Gómez (2011). Luego se selecciona una región de interés normalmente en la lengua glaciar y en el recorrido de la avalancha.
- 2 Estabilización: El video es inestable debido a los fuertes vientos de montaña, se utilizó el rastreador propuesto por Mil babenko (2011) para estabilizar el video.
- 3 Sustracción de fondo: Técnica para distinguir entre el fondo y objetos en movimiento. Se establece un umbral del 5 % de movimiento de la región de interés (obtenido empíricamente del caso de estudio), las imágenes que superen este umbral son posibles avalanchas.



Figura 2: Sustracción de fondo en la Imagen 50 de 148.



Figura 3: Sustracción de fondo en la Imagen 70 de 148.

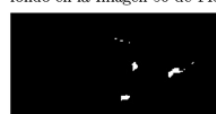


Figura 4: Sustracción de fondo en la Imagen 119 de 148.



Figura 5: Sustracción de fondo en la Imagen 145 de 148.

- 4 Extracción de características: Se usará el algoritmo de flujo óptico denso presentado por Farneb, G. (2003), este genera un mapa de vectores de flujo; Para ello se usan 2 imágenes secuenciales, a pesar de ser mas costoso computacionalmente la literatura a demostrado que son los que mejores resultados obtienen, después se hace uso del descriptor de movimiento Histogram of Oriented Optical Flow(HOOF), que originalmente fue presentado por Chaudhry(2009) para reconocimiento de acciones humanas, que genera un vector de características de movimiento; esto representa el movimiento de la avalancha.



Figura 6: Flujo óptico en la Imagen 50 de 148

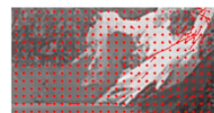


Figura 7: Flujo óptico en la Imagen 70 de 148

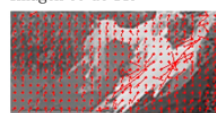


Figura 8: Flujo óptico en la Imagen 119 de 148

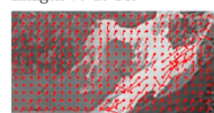


Figura 9: Flujo óptico en la Imagen 145 de 148

- 5 Clasificación : Después de generados los Histogramas de flujo óptico orientado, los datos se dividen en grupos de entrenamiento y prueba, se normalizan. Para la clasificación se hace uso del clasificador por vecino mas cercano (KNN).

Resultados y Conclusiones

- Se detecta avalanchas con 33 % de exactitud que se obtiene de una matriz de confusión.
- Se recomienda el uso de estabilizadores de vídeo mecánicos.
- Se recomienda experimentar con *Support Vector Machine* (SVM), *Convolutional neural network*(CNN), *Convolutional Autoencoders* (CONVAES).



GESTIÓN AMBIENTAL Y PROTECCIÓN JURÍDICA DE LOS GLACIARES EN EL PERÚ

Zarela Reyes Cubas^{1,2,3*}, Juan Francisco Baldeón Ríos¹

¹Facultad de Derecho y Ciencia Política, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú

²Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible (CISODES), Lima, Perú

³Laboratorio de Ecología de Procesos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

*Email: Zarela.Reyes@outlook.com

El objetivo de la investigación fue determinar si el marco jurídico para la gestión ambiental de los glaciares desarrollado en el Perú permite la gestión eficiente de los mismos. Para ello, se revisaron las principales normas jurídicas y políticas públicas en materia de glaciares, cambio climático, gestión ambiental y materias conexas. Esta revisión incluyó tanto a las normas históricas como a las vigentes, a las cuales se accedió a través del Sistema Peruano de Información Jurídica. Los resultados señalan que a nivel normativo: 1) se carece de una definición jurídica de glaciar, 2) se fracciona la gestión de los glaciares entre los sectores ambiente y agrario; 3) los glaciares no han sido incluidos adecuadamente en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental; y, 4) se adolece una norma jurídica especial sobre la materia. En el aspecto político: 1) se carece de una política nacional sobre glaciares y 2) las políticas públicas sectoriales no los han incluido apropiadamente, ni siquiera en temas estratégicos como cambio climático, recursos hídricos, seguridad alimentaria y seguridad

energética. En el aspecto institucional: 1) las competencias sobre los glaciares están distribuidas entre los sectores ambiente y agrario, 2) las autoridades regionales y municipales no han incluido a los glaciares en sus herramientas de gestión municipal o regional. En tal sentido, el marco legal no ayuda a la gestión eficiente de los glaciares; por lo cual, mínimamente se requiere de: 1) a nivel normativo, una ley general sobre glaciares que: a) defina a los glaciares, b) determine el bien jurídico objeto de protección, c) consolide el diseño institucional; y, d) establezca las actividades permitidas, prohibidas y restringidas en glaciares; y, 2) a nivel político, una política nacional de glaciares fundamentada en tres ejes principales: a) generación de conocimiento, b) consolidación institucional y c) gestión ambiental basada en su resiliencia.

Palabras clave: Glaciares, normas jurídicas, políticas públicas, gestión ambiental, Perú



Gestión Ambiental y Protección Jurídica de los Glaciares en el Perú

Zarela Reyes Cubas (zarela.reyes@outlook.com)^{1,2,3} y Juan Francisco Baldeón Ríos¹
¹Facultad de Derecho y Ciencia Política, Universidad Nacional Mayor de San Marcos; ²Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible – CISODES; ³Laboratorio de Ecología de Procesos, Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar si el marco jurídico para la gestión ambiental de los glaciares desarrollado en el Perú permite la gestión eficiente de los mismos. Para ello, se revisaron las principales normas jurídicas y políticas públicas en materia de glaciares, cambio climático, gestión ambiental y materias conexas. Esta revisión incluyó tanto a las normas históricas como a las vigentes, a las cuales se accedió a través del Sistema Peruano de Información Jurídica. Los resultados señalan que a nivel normativo: 1) se carece de una definición jurídica de glaciar; 2) se fracciona la gestión de los glaciares entre los sectores ambiente y agrario; 3) los glaciares no han sido incluidos adecuadamente en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental; y 4) se adopta una norma jurídica especial sobre la materia. En el aspecto político: 1) se carece de una política nacional sobre glaciares y 2) las políticas públicas sectoriales no los han incluido apropiadamente, ni siquiera en temas estratégicos como cambio climático, recursos hídricos, seguridad alimentaria y seguridad energética. En el aspecto institucional: 1) las competencias sobre los glaciares están distribuidas entre los sectores ambiente y agrario; 2) las autoridades regionales y municipales no han incluido a los glaciares en sus herramientas de gestión municipal o regional. En tal sentido, el marco legal no ayuda a la gestión eficiente de los glaciares; por lo cual, mínimamente se requiere de: 1) a nivel normativo, una ley general sobre glaciares que: a) defina a los glaciares, b) determine el bien jurídico objeto de protección, c) consolide el diseño institucional; y, d) establezca las actividades permitidas, prohibidas y restringidas en glaciares; y 2) a nivel político, una política nacional de glaciares fundamentada en tres ejes principales: a) generación de conocimiento, b) consolidación institucional y c) gestión ambiental basada en su resiliencia.

1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares son ecosistemas complejos que tienen relaciones sociales, culturales y económicas con las poblaciones asentadas desde la alta montaña hasta el litoral peruano y la Amazonia. Así, los glaciares tropicales andinos a) desempeñan un rol importante en el manejo del recurso hídrico (proveen y regulan el régimen hidrológico), b) son importantes indicadores del cambio climático, y c) pueden ser, directa o indirectamente, fuente de catástrofes. Además, se encuentran presionados por las actividades antropogénicas (minería, turismo, transporte, otros) y por los efectos del fenómeno mundial de cambio climático, siendo el Perú uno de los países más vulnerables a sus efectos por albergar más del 70% de la superficie total de los glaciares tropicales de los Andes Centrales (Kaser y Osmaston, 2002). En tal sentido, resulta pertinente analizar la situación actual de su gestión ambiental y el nivel de protección jurídica que el Estado peruano les ha otorgado como garantía al goce del derecho fundamental al ambiente sano y equilibrado para la vida de las personas.

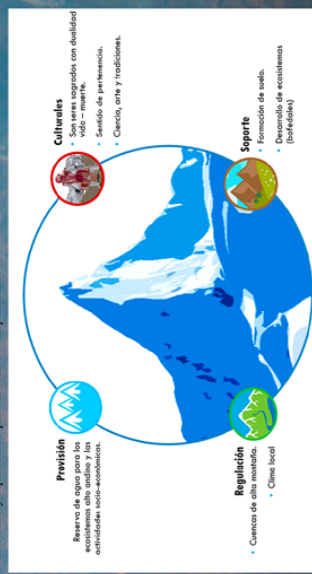


Imagen 1. Servicios ecosistémicos de los glaciares
Fuente: Elaboración propia

2. METODOLOGÍA

La presente investigación es descriptiva y exploratoria, pretende identificar el estado del desarrollo epistemológico y científico del marco legal peruano para la gestión ambiental de glaciares. Para ello, se revisaron las principales normas jurídicas y políticas públicas en materia de glaciares, cambio climático, gestión ambiental y materias conexas. Esta revisión incluyó tanto a las normas históricas como a las vigentes, a las cuales se accedió a través del Sistema Peruano de Información Jurídica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Aspecto normativo: a) se carece de una definición jurídica de glaciar, b) se fracciona la gestión de los glaciares entre los sectores ambiente y agrario; c) los glaciares no han sido incluidos adecuadamente en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental; y, d) se adopta una norma jurídica especial sobre la materia.

Los Estados están asumiendo la protección ambiental como una función pública más de: a) reacción frente a la amenaza o peligro de un daño ambiental actual y b) conservación de las bases naturales que garanticen la vida de las generaciones futuras. En este contexto, el Derecho es un instrumento más al servicio del cumplimiento de esta función del Estado, la cual debe ser cumplida desde la multidisciplinariedad o transversalidad. Asimismo, la solución de los problemas ambientales debe buscarse en el propio sistema social sumando a las herramientas de carácter instrumental (normas jurídicas) insumos éticos y políticos (conciencia ambiental).



Imagen 2. Gestión ambiental de los glaciares en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental
Fuente: Elaboración propia

3.2 Aspecto político: a) se carece de una política nacional sobre glaciares y b) las políticas públicas sectoriales no los han incluido apropiadamente, ni siquiera en temas estratégicos como cambio climático, recursos hídricos, seguridad alimentaria y seguridad energética.

Es imprescindible que la incertidumbre que rodea al cambio climático se incluya en el diseño de las políticas nacionales, las estrategias de monitoreo y la evaluación de las mismas, de forma tal que se cuente como información confiable y oportuna que permita mejorar su diseño e implementación (López Feldman, 2015).

3.3 Aspecto institucional: a) las competencias sobre los glaciares están distribuidas entre los sectores ambiente y agrario, b) las autoridades regionales y municipales no han incluido a los glaciares en sus herramientas de gestión municipal o regional.

Una visión fragmentada de un corto plazo de los glaciares, ligada en sus servicios de provisión de agua, puede llevar a considerar "improblema", no la conservación de los glaciares. Sin el desperdicio de agua, aguas (Plascencia Sánchez, 2011). Por ello, se debe reconocer el valor de los glaciares más allá de su condición de reserva natural de agua dulce, otorgándoles sus propios valores de resiliencia, transformabilidad, adaptabilidad y energía.



Imagen 3. Diseño institucional de la gestión ambiental de glaciares en Perú.
Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

4.1 El derecho nacional no ha desarrollado un marco jurídico sólido para la gestión ambiental de los glaciares, siendo insuficientes los avances normativos en materia conexa por no reconocer las condiciones particulares de los mismo. Esto evidencia una escasa reflexión epistemológica y científica respecto de los glaciares dentro del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

4.2 Para una mejor gestión y protección jurídica de los glaciares se requiere como mínimo de:

i. Ley general sobre glaciares: a) defina a los glaciares, b) determine el bien jurídico objeto de protección, c) consolide el diseño institucional; y, d) establezca las actividades permitidas, prohibidas y restringidas en glaciares.

ii. Una política nacional de glaciares: fundamentada en tres ejes principales: a) generación de conocimiento, b) consolidación institucional y c) gestión ambiental basada en su resiliencia.

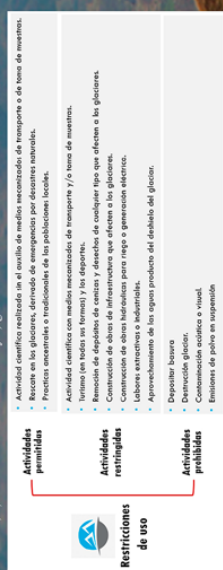


Imagen 4. Lineamiento para una futura ley nacional de glaciares
Fuente: Elaboración propia

5. REFERENCIAS

- Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). Tropical Glaciers. United Kingdom: Cambridge University Press.
- López Feldman, A. J. (2015). Estudios del Cambio Climático en América Latina. Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Plascencia Sánchez, L. (2011). Glaciares, cambio climático y actividades productivas: el caso de Perú. En Glaciares Andinos. Recursos Hídricos y Cambio Climático. Desafíos para la Justicia Climática en el Cono Sur (pp. 41-57). Santiago, Chile: Programa Chile Sustentable.

6. FUENTES DE FINANCIAMIENTO





VARIACIONES DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD DE LA LAGUNA PALCACOCHA, HACIA FINALES DEL SIGLO XXI BAJO LOS ESCENARIOS DE EMISIÓN RCP4.5 Y RCP8.5

David Garay Marzano^{1*}, Christian Yarlequé Gálvez¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: dgaray@inaigem.gob.pe

El desborde de la laguna Palcacocha el 13 de diciembre de 1941, impactó la ciudad de Huaraz, dando un saldo de alrededor de 1800 personas fallecidas y cuantiosos daños materiales. En la actualidad el peligro es latente, debido a las variaciones en el tiempo que viene ocurriendo en el nivel superficial de la laguna, la cual es influenciada por las variaciones de la temperatura y la precipitación. Un cambio significativo de estas variables climáticas puede causar un mayor volumen de agua de la laguna, lo cual a su vez incrementa el peligro potencial de desborde. Por ello, en un contexto de cambio climático futuro donde la tendencia del incremento de la temperatura es positiva debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, se evalúan salidas del modelo climático regional ETA para los escenarios históricos y futuros (RCP4.6 y RCP8.5) hasta finales del siglo XXI. Las salidas del modelo ETA fueron corregidos con datos in-situ de estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio, a través de correcciones de sesgo, con lo cual se pudo obtener proyecciones futuras de las variables: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, variables que fueron asociados a los niveles del volumen de la laguna para la evaluación de potenciales futuros incrementos

del volumen del cuerpo de agua. Dicha información futura ayudará a los tomadores de decisión para prever futuros desbordes de la laguna Palcacocha, y a los planes de mitigación de futuros aluviones.

Palabras clave: Temperatura, precipitación, laguna, proglaciar, desborde

Garay-Marzano, David;
Yarlequé-Gálvez, Christian;
dgaray@inaigem.gob.pe, cyarleque@inaigem.gob.pe

Resumen/Introducción

Un cambio significativo de las variables climáticas puede causar un potencial aluvión como el ocurrido por el desborde de la laguna proglacial (de origen del deshielo glacial) Palcacocha el 13 de Diciembre de 1941, donde perecieron alrededor de 5000 mil personas (INAIGEM 2018). Por ello, en un contexto de cambio climático, se estudia el incremento de la temperatura del aire debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, para evaluar el caso potencial si en el futuro las nuevas condiciones climáticas podrían generar aluviones o desbordes de las lagunas proglaciares (formadas de la deglaciación) en los Andes Peruanos. Para esta prueba de concepto se usó las variables precipitación (prec), temperatura mín. (Tn), y temperatura máx. (Tx) de las salidas corregidas con datos observados del modelo climático regional ETA, alimentado con salidas del modelo climático global MIROC5 para los escenarios históricos y futuros (RCP4.5 y RCP8.5), desde 1961 hasta finales del siglo 21. Las variables climáticas fueron asociadas a los niveles de volumen de la laguna Palcacocha. Los resultados muestran potenciales desbordes futuros cuando el incremento de su volumen generaría que el nivel de laguna superaría el nivel de reboso (4548m) e inclusive la corona del dique (4555m), principalmente para el periodo ene-2050 a dic-2070, en adelante.

Laguna Palcacocha

Ubicada en la provincia de Huaraz, departamento de Ancash, cuenta con un volumen actual promedio (2017-2019) de **15'813,814 m³** (valor estimado utilizando datos de batimetría, ANA 2016) y un nivel actual promedio de 4545m. También se debe considerar el nivel de reboso (4548m) por donde el nivel de la laguna desbordaría si alcanzara el volumen estimado de **16'884,695 m³** y, como dato adicional, la corona del dique ubicado a 4555m tendría un volumen estimado de **20'279,193.15 m³**.

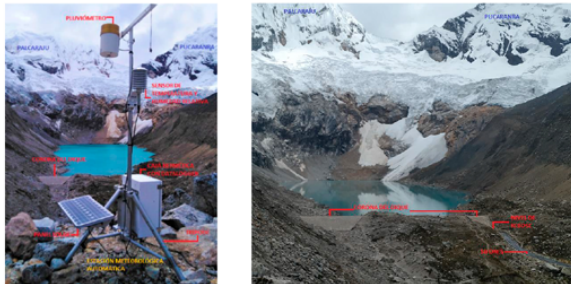


Figura 1. Laguna proglacial Palcacocha, Quebrada Cojup, Cordillera Blanca, Huaraz – Ancash. Lat. 9°23'49"S, Lon. 77°22'47"O.

Metodología y Resultados

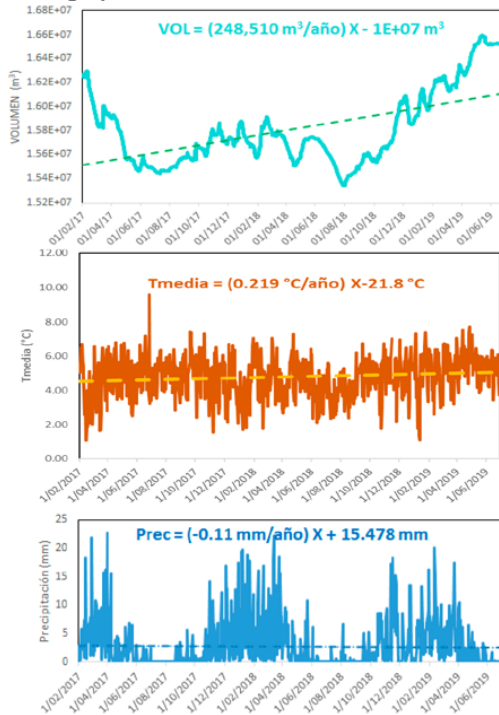


Figura 2. Datos de Volumen, Temperatura media, y Precipitación medidos desde la estación meteorológica frente a Palcacocha (Figura 1).

I) Análisis de datos: El volumen diario es calculado usando medidas de nivel de laguna obtenida con un limnómetro. Nota: el volumen corregido añadiendo al volumen la cantidad de caudal (m³/s) perdido del sistema de sifonaje (drenaje).

- La tendencia del volumen es positiva incrementándose aproximadamente 250,000 m³/año (Figura 2). Históricamente, la tendencia del volumen ha sido positiva.
- La tendencia de la precipitación es aproximadamente neutra (no tendencia). En concordancia con muchos estudios previos para los Andes peruanos (ejemplo, Heidinger et al 2018).
- La tendencia de temperatura es positiva aproximadamente 0.22°C/año (Figura 2). El incremento de temperatura esta en concordancia con muchos estudios previos para los Andes peruanos (ejemplo, Díaz et al 2017).

II) Relación entre Temperatura y Volumen: El incremento de temperatura esta produciendo el incremento en volumen de las lagunas proglaciares. Para el caso de Palcacocha, en el periodo observado, se halló la siguiente relación:

$$r = \frac{\text{Variación de volumen por año}}{\text{Variación de temperatura media anual por año}} = 1'134,748.85 \text{ m}^3/^\circ\text{C}$$

III) Proyecciones de volumen de laguna:

Las temperaturas diarias se corrigieron utilizando la técnica de corrección de sesgo, método quantil-quantil (Ines y Hansen, 2006) en base a los datos observados diarios.

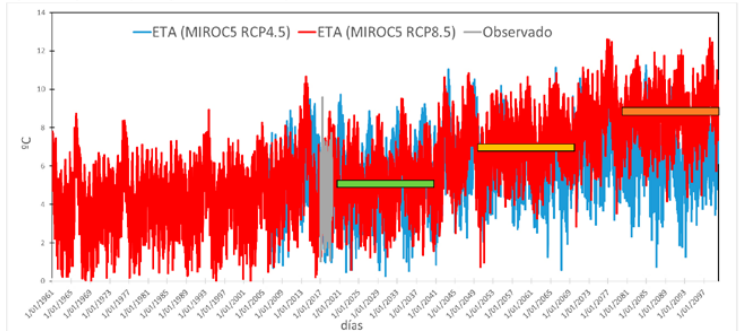


Figura 3. Comparación de datos observados (estación meteorológica, Figura 1) y datos corregidos del modelo climático global MIROC5, regionalizados por el modelo ETA, en el periodo Ene-1961 hasta Dic-2099, para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Los rectángulos verde, amarillo, y marrón, corresponden al periodo de calculo de los incrementos de temperatura y volumen.

Relación de periodos estudiados y variables estimadas	Ene 2020 a Dic 2040		Ene 2050 a Dic 2070		Ene 2080 a Dic 2099	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Incremento de la temperatura media (°C)	0.62	0.08	1.56	2.49	1.83	4.08
Incremento de volumen promedio (m³)	701,918.89	91,672.26	1'775,087.15	2'824,223.96	2'071,514.88	4'634,337.01
Volumen total promedio (m³)	16'515,732.95	15'905,486.32	17'588,901.21	18'638,038.02	17'885,328.94	20'448,151.07

Tabla 1. Periodos de comparación para los incrementos de temperatura media, volumen y volumen total promedio de la laguna Palcacocha, de las salidas corregidas de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

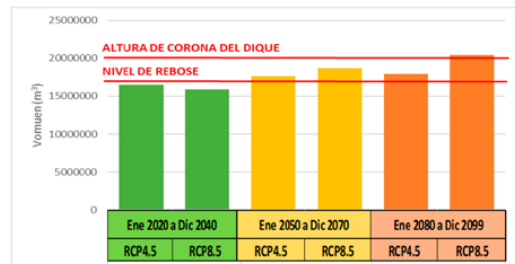


Figura 4. Periodos de comparación para los incrementos de volumen total promedio de la laguna Palcacocha, de las salidas corregidas de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

Discusiones y conclusiones

- El volumen total promedio de la laguna Palcacocha superaría el nivel de reboso (16'884,695 m³, Figura 1) a partir del periodo de Ene-2050 a Dic-2070 (Tabla 1), para ambos escenarios CMIP5
- El volumen total promedio de la laguna Palcacocha superaría la corona del dique (20'279,193.15 m³, en el periodo Ene-2080 a Dic-2099, para el escenario RCP8.5.
- La variabilidad de los datos presentes en la figura 3, muestran que los picos de temperatura podrían ocasionar que el volumen de la laguna supere el nivel de reboso e inclusive la corona del dique desde el primer periodo de estudio, dichos eventos serían más frecuentes en el transcurrir del tiempo.
- Los resultados mostrados en esta prueba de concepto, tienen que ser corroborados o complementados con el uso de los datos de salidas del modelo regional ETA inicializado con las salidas de otros modelos globales del proyecto CMIP5.

Bibliografía

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Batimetría de la laguna Palcacocha
- Chou, S.C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, L., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P. and Marengo, J. (2014a) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3, 438-454. doi:10.4236/ajcc.2014.35039.
- Chou, S.C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, L., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G. and Marengo, J. (2014b) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, 3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043.
- Ines, A. V. M., and J. W. Hansen (2006), Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. Agricultural and Forest Meteorology, 138, 1-4, 44-53.
- Díaz, R., Sánchez, S., Lujano, E. y Lujano, A. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas.
- Heidinger, H., Carvalho, L., Jones, C. and Adolfo, P. (2018). A new assessment in otal and extreme rainfall trends over central and southern Peruvian Andes during 1965-2010: Rainfall trends over central and southern peruvian andes. International Journal Climatology, doi: 10.1002/joc.5427



ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



AGRICULTURAL DEVELOPMENT PROJECTS IN ANDEAN MOUNTAIN COMMUNITIES: THE IMPORTANCE OF OPERATIONALIZING THEIR MULTI-DIMENSIONAL DIVERSITY [título modificado: PROGRAMAS DE DESARROLLO AGRÍCOLA EN COMUNIDADES ANDINAS DE MONTAÑA: LA IMPORTANCIA DE OPERACIONALIZAR LA DIVERSIDAD MULTI-DIMENSIONAL]

Claudia Parra Paitán^{1*}, Marjolein Visser²

¹Institute for Environmental Studies (IVM), Vrije Universiteit Amsterdam, Holanda

²Laboratoire d'Agroécologie, Université Libre de Bruxelles (ULB), Bélgica

*Email: claudia.parrapaitan@vu.nl

Small-holder farmers in the Andes are guardians of agro-biodiversity and invaluable traditional knowledge but are, at the same time, frequently marginalized. Due to that, countless agricultural development projects have been implemented in these mountain communities of the Andes with the goal of reducing poverty, promoting sustainable land management and reducing climate change vulnerability. Although the high socioeconomic and environmental diversity of mountain communities can strongly influence the final outcomes of these projects, those factors are barely considered during the planning, implementation and evaluation phases. Based on farming systems diagnosis, this study identifies the factors that determined the final impacts of one of the most iconic public-private agricultural development projects implemented in the southern Andean communities of Peru. The results show a clear uneven impact within and between communities in terms of capacity building and economic development achieved. The lack of recognition of the different initial

levels of economic diversification, communal organization, market access and crop suitability within and between communities at the beginning of the project contributed to this phenomenon. This study demonstrates the importance of conducting ex-ante project appraisals to understand the role of socioeconomic and environmental factors playing at multiple scales that influence mountain communities, including intra, inter-community factors and regional or even national dynamics. The acknowledgment and operationalization of the situational diversity of the Andean mountains are key to ensuring the success of development and sustainability initiatives.

Keywords: Sustainable land management, impact assessment, mountain development, agriculture, agrobiodiversity, project appraisal

PROGRAMAS DE DESARROLLO AGRÍCOLA EN COMUNIDADES ANDINAS DE MONTAÑA: LA IMPORTANCIA DE OPERACIONALIZAR LA DIVERSIDAD MULTI-DIMENSIONAL

Claudia Parra Paitán¹, Marjolein Visser²

¹ Institute for Environmental Studies (IVM), Vrije Universiteit Amsterdam. Holanda. claudia.parrapaitan@vu.nl

² Laboratoire d'Agroécologie, Université Libre de Bruxelles (ULB), Bélgica.



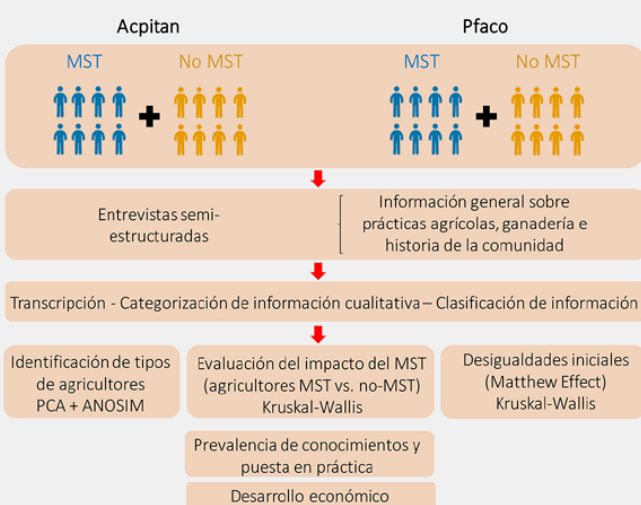
Introducción

- Los agricultores familiares de los Andes son guardianes de agrobiodiversidad e invaluables conocimientos tradicionales. Comprenden el 97% del total de agricultores Peruanos y están ubicados principalmente en las montañas (65% de ellos).
- A su vez, son frecuentemente marginalizados y viven en pobreza y pobreza extrema lo cual ha motivado la implementación de numerosos proyectos de desarrollo agrícola en las últimas décadas.
- Sin embargo, a pesar de la alta diversidad de condiciones socioeconómicas y ambientales en las comunidades de montaña Andinas, éstos proyectos pocas veces han internalizado estas diferencias en sus fases de planeamiento, ejecución y evaluación, poniendo en riesgo así su éxito como proyecto y sus logros en las comunidades.

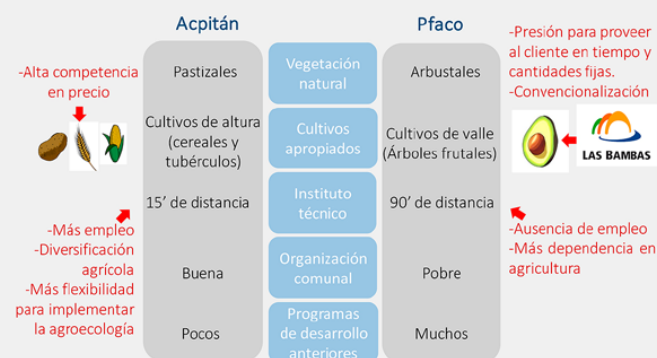
Objetivos

- Elaborar un diagnóstico de los sistemas agrícolas de dos comunidades campesinas de montaña intervenidas por el proyecto "Manejo Sostenible de la Tierra" (MST) ubicados en diferentes pisos ecológicos: Pfacó y Acpitán.
- Analizar la prevalencia de los conocimientos agroecológicos y las acciones promovidas por el proyecto MST tres años después de su cierre.
- Identificar los factores socioeconómicos y ambientales que determinaron el impacto diferenciado dentro y entre comunidades.

Métodos



Discusión

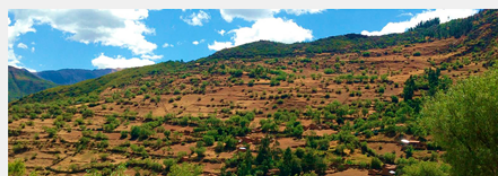


Zona de estudio

Acpitán
3300 m.s.n.m.
137 familias



Pfacó
2700 m.s.n.m.
180 familias



Resultados

Prevalencia de conocimientos y puesta en práctica	Acpitán	Pfacó
Prácticas agroecológicas	*	
Sistemas de irrigación para evitar la erosión del suelo		*
Crianza de cuyes	*	
Desarrollo económico	Acpitán	Pfacó
Ingresos por ventas agrícolas		
Agricultores que pertenecen a una organización agrícola	no MST: 0% MST: 87.5%	no MST: 50% MST: 50%
Estatus socioeconómico (% que pertenece al programa Juntos)	no MST: 62.5% MST: 37.5%	no MST: 62.5% MST: 62.5%

Impacto final del proyecto MST

Desigualdades iniciales en agricultores seleccionados	Acpitán	Pfacó
Ingresos no agrícolas (% que cuenta con salarios estables)	*	
Área (ha)	no MST: 12.5% MST: 75%	no MST: 12.5% MST: 0%
Número de programas en que los agricultores han participado antes		*

Desigualdades iniciales no previstas

Conclusiones

- Debido a la limitada caracterización inicial de agricultores y comunidades y la consecuente limitada adaptación de estrategias, el nivel de éxito del MST es bastante desigual.
- El tipo de demanda y el acceso a los mercados condicionó su mayor éxito de Pfacó a pesar de tener una pobre organización comunal. Sin embargo, debido a las mismas presiones del mercado y la poca diversificación económica, los pobladores de Pfacó dejaron de aplicar los conocimientos agroecológicos mucho antes que Acpitán.
- La selección parcializada de beneficiarios del proyecto MST resultó en un empeoro de la desigualdad social dentro de las comunidades (efecto Matthew).
- Para garantizar el éxito de proyectos en paisajes de montaña, es indispensable realizar evaluaciones ex-ante para comprender los factores socioeconómicos y ambientales intra, inter-comunales y las dinámicas nacionales y regionales que los afectan.

Soporte científico:



VRIJE
UNIVERSITEIT
BRUSSEL



UNIVERSITÉ
LIBRE
DE BRUXELLES

Financiamiento:





OBSERVACIONES ENTRE RETROCESO GLACIAR Y SU POTENCIAL IMPACTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Yeidy Nayclin Montano Chávez^{1*}, Frank Santiago Bazán¹, Helder Mallqui Meza¹,
Pedro Tapia Ormeño¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: ymontano@inaigem.gob.pe

Los glaciares en la Cordillera Blanca están en un continuo proceso de derretimiento; esto permite un aumento en la cantidad de agua y la exposición de rocas volcánicas con minerales sulfurosos cuya meteorización generan Drenajes Ácidos de Roca (DAR) que re-mobilizan metales pesados y alteran la calidad del agua. Desde el año 2016, el INAIGEM está evaluando las aguas superficiales en varias unidades hidrográficas (Pachacoto, Quillcay, Río Blanco-Santa Cruz) de la Cordillera Blanca, Ancash, Perú, y cuyos resultados indican una marcada heterogeneidad espacial y temporal en la cantidad y calidad del agua. Son cinco parámetros fisicoquímicos que se evalúan in situ (temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbiedad) en 49 localidades, tomándose muestras de agua para análisis de metales pesados usando un ICP-MS. Resultados iniciales en la unidad hidrográfica Quillcay muestran una alta variabilidad estacional, e.g. en Quillcayhuanca encontramos valores mínimos y máximos de pH (2.6-8.0), C.E. (4-5516 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Al (0.001-24.72 mg/L), Fe (0.003-371 mg/L), Mn (0.0001-17.3 mg/L) y Zn (0.002-5.178 mg/L), los cuales reflejan una pérdida en la calidad del agua. El mecanismo entre retroceso glaciar y disminución en la calidad del agua aún no está bien definido; sin embargo, las observaciones en localidades con DAR permiten establecer una

hipótesis de trabajo interrelacionando procesos climáticos, composición geológica del basamento y geoquímica del agua. El impacto de la baja calidad del agua no sólo afecta a los ecosistemas de montaña sino también a las poblaciones circundantes que hacen uso de sus servicios ecosistémicos; así como el agua para uso cotidiano (agricultura, ganadería, agua potable). Futuras investigaciones por parte del INAIGEM contemplan el estudio de plantas nativas y microalgas adaptadas a condiciones extremas en los Andes para la biorremediación de estas aguas.

Palabras clave: Retroceso glaciar, calidad de agua, drenaje ácido de roca, Quillcayhuanca, metales pesados

OBSERVACIONES DEL RETROCESO GLACIAR Y SU POTENCIAL IMPACTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Yeidy Nayclín Montano Chávez¹, Frank Santiago Bazan¹, Helder Mallqui Meza¹, Pedro Miguel Tapia Ormeño¹

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

Correo de contacto: ymontano@inaigem.gob.pe¹

INTRODUCCIÓN

Los glaciares están en un continuo retroceso, en los últimos años se evidenció la pérdida del 62% de la cobertura glaciar en la Cordillera Blanca (INAIGEM, 2018). Este proceso genera que áreas de roca con minerales sulfurosos queden expuestas y sometidas a los factores ambientales, generando en algunos sitios Drenajes Ácidos de Roca (DAR), lo que provoca el incremento de algunos metales pesados en los cuerpos de agua, reduciendo su calidad.

Desde el año 2016, el INAIGEM está evaluando las aguas superficiales en varias unidades hidrográficas de la Cordillera Blanca, Ancash, Perú, cuyos resultados indican una marcada heterogeneidad espacial y temporal en la cantidad y calidad del agua. Las comparaciones entre unidades nos ha permitido identificar evidencias de la presencia de DAR en Quillcayhuanca, y en los siguientes años se evaluará su impacto en los ecosistemas de montaña, y en los medios de vida de las poblaciones circundantes.

En este contexto, el presente estudio busca evaluar la calidad del agua, en la Unidad Hidrográfica de Quillcay, y que abastece a la ciudad de Huaraz, como un ejemplo de los procesos de DAR que se dan en cuencas de origen glaciar.

UBICACIÓN UH QUILLCAY

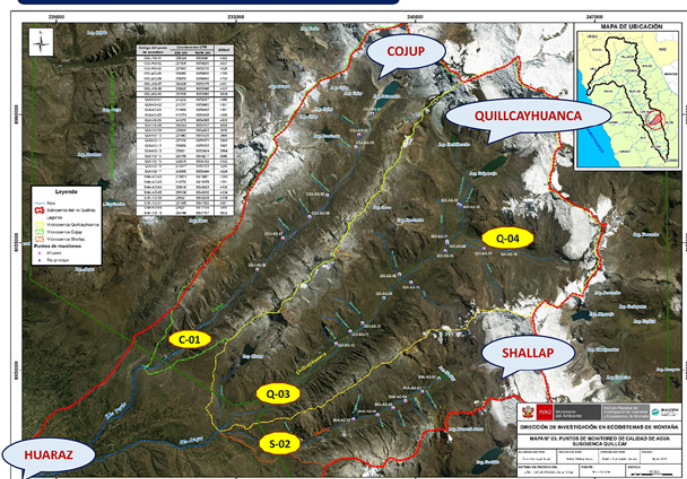


Figura N° 01: Mapa de la unidad hidrográfica de Quillcay, que integra tres microcuencas: Cojup, Quillcayhuanca y Shallap. De la microcuenca Cojup procede el agua que abastece a la ciudad de Huaraz.

METODOLOGÍA

La medición de los parámetros fisicoquímicos en campo fue realizado mediante el equipo multiparamétrico registrándose pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbiedad, en 37 puntos de monitoreo. Las muestras de agua fueron enviados para el análisis de metales pesados por el método ICP-MS, en laboratorios certificados.

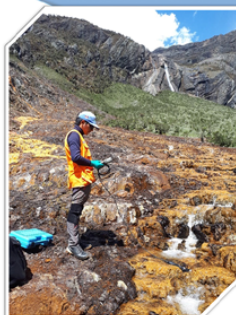


Figura N° 02: Evaluación en el punto Q-04, en que se presenta el Drenaje Ácido de Roca, y colecta de muestras de agua en campo.

REFERENCIAS

- Reyes Nolasco, A.W. (2018). Contaminación por metales pesados de aguas y suelos en la microcuenca Quillcayhuanca; su relación con la litología y el contexto del cambio climático; Huaraz Ancash Perú 2014-2015 (Tesis doctoral). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antón de Mayolo.
- Santofimia, E., López-Pamo, E., Palomino, E.J., González-Toril, E. y Aguilera, Á. (2017). Drenaje ácido de rocas en el área del glaciar Nevado Pastoruri (Parque Nacional Huascarán, Perú): Caracterización hidroquímica y mineralógica e implicaciones ambientales asociadas. *Environ Sci Pollut Res*, pp. 25243-25259.

RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados promedio, obtenidos de al menos 9 evaluaciones desde el 2016 a la fecha. Los resultados son sólo de la última estación de monitoreo en los ríos principales de las microcuencas de Cojup (C-01), Shallap (S-02) y Quillcayhuanca (Q-03), además del punto en que se ha detectado la generación de DAR (Q-04). En estas estaciones, se observa que sólo el pH en Cojup se encuentra dentro del rango establecido en el ECA-Agua (Cat. 3), mientras todos los demás están por debajo de 4.0, que son condiciones no aptas para el consumo (3.94, 3.92 y 3.45, respectivamente).

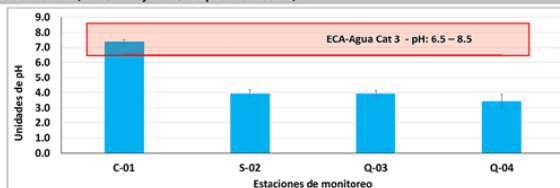


Figura N° 03: Valores de pH, en la Microcuenca de Cojup, Shallap y Quillcayhuanca del 2016 al 2019, con un intervalo de confianza de la media del 90%.

En cuanto a las concentraciones de Manganeseo (Mn), nuevamente se encuentra que sólo el agua en Cojup respeta el valor establecido en el ECA-Agua (Cat. 3). El valor promedio en Shallap duplica el valor límite del ECA (0.42), y en Quillcayhuanca son concentraciones muy altas (4.18 y 8.60 mg/L respectivamente). El Mn es uno de los 3 elementos trazas esenciales tóxico. La exposición crónica a altas concentraciones de Mn tiene serias consecuencias a la salud, especialmente en el tracto respiratorio y daño cerebral.

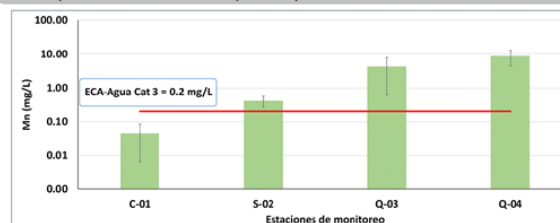


Figura N° 04: Concentraciones de Mn, en la Microcuenca de Cojup, Shallap y Quillcayhuanca del 2016 al 2019, con un intervalo de confianza de la media del 90%.

Otro problema identificado son las concentraciones de Hierro (Fe), en este caso, sólo las estaciones de Quillcayhuanca son superiores a los valores establecidos en el ECA-Agua (Cat. 3), con un valor promedio de Fe de 73.57 mg/L en Q-03 y 172.89 mg/L en Q-04. En altos valores (>40 mg/Kg peso corporal), este elemento es letal. La ingesta crónica de Fe produce hematócromatosis, una enfermedad que no tiene cura y requiere de constantes transfusiones de sangre. Los datos muestran además problemas en Quillcayhuanca y Shallap con la concentración de Aluminio, que genera menos riesgos a la salud que los elementos mencionados.

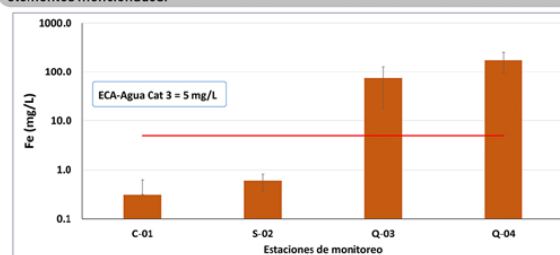


Figura N° 05: Concentraciones de Fe, en la Microcuenca de Cojup, Shallap y Quillcayhuanca del 2016 al 2019, con un intervalo de confianza de la media del 90%.

CONCLUSIONES

- Los resultados muestran que en las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap (Fig. 2, 3 y 4), las aguas son de mala calidad, ácidas y con concentraciones elevadas de metales pesados en concentraciones las establecidas en el ECA-Agua (Cat. 3).
- En Quillcayhuanca se ha identificado una estación de monitoreo (Q-04) como origen de los problemas de calidad de agua, y se ha identificado un pórfido andesítico, expuesto por el retroceso glaciar, lo que explicaría las altas concentraciones de Fe. Sin embargo falta realizar más estudios geológicos que nos permitan comprender este proceso que afecta la calidad del agua.
- En Shallap no se ha identificado aún el origen del problema, mostrando que no basta con caracterizar el problema, sino identificar su origen y los impactos que está generando.
- En la UH Quillcay se observa una marcada diferencia del pH. En la microcuenca Cojup todos los valores de pH están dentro del ECA-Agua (Cat. 3); mientras que en las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap, la mayoría de las estaciones de monitoreo se encuentran fuera del ECA-Agua (Cat. 3).



EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE TURBA EN EL BOFEDAL DE MILLOC (CARAMPOMA, LIMA): NIVEL FREÁTICO Y COBERTURA VEGETAL

Daniella Vargas Machuca^{1*}

¹Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú

*Email: daniella.vargasmachuca@pucp.pe

En los Andes centrales del Perú, existen bofedales o turberas altoandinas, que presentan una diversidad única de biota endémica. Estos ecosistemas funcionan como reguladores hídricos y almacenes de carbono, de gran importancia frente a un contexto de cambio climático. A pesar de brindar tales servicios, en el territorio de la Comunidad Campesina de Carampoma (Huarochirí, Lima), los bofedales han sido depredados por la extracción de su turba, con el fin de comercializar dicho recurso en viveros de la capital. La presente investigación se planteó identificar los efectos que tiene dicha actividad extractiva en aspectos hidrológicos y cambios de cobertura, en uno de los bofedales de Carampoma (Milloc). Para evaluar el régimen hidrológico, se recogió data sobre el nivel freático del bofedal, seleccionando 2 zonas de comparación: una perturbada y otra no perturbada. Se encontraron diferencias significativas entre los parámetros medidos. Comparativamente, la zona perturbada mostró un mayor descenso en la profundidad del nivel freático (46.47 ± 3.50 cm), registro de aguas más ácidas ($\text{pH } 5.68 \pm 0.12$) y niveles de conductividad eléctrica más altos (744.00 ± 117.06 $\mu\text{S/cm}$), que en la zona no perturbada durante la época seca. En cuanto al cambio de

cobertura, se evaluó este aspecto mediante procesamiento de imágenes satelitales con índices normalizados de vegetación, agua y humedad (NDVI, NDWI, NDMI respectivamente). Se halló una pérdida de 8.41 ha de la cobertura del bofedal, atribuible a la actividad extractiva, tomando como año base el 2005.

Palabras clave: Bofedales, turberas, extracción de turba, cambio de cobertura, hidrología, ecosistemas de montaña

EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE TURBA EN EL BOFEDAL DE MILLOC (CARAMPOMA, LIMA): NIVEL FREÁTICO Y COBERTURA VEGETAL

Geog. Daniella Vargas Machuca Crespo
daniella.vargasmachuca@puccp.pe
Pontificia Universidad Católica del Perú

RESUMEN

En el territorio de la Comunidad Campesina de Carampoma, los bofedales vienen siendo depredados por la extracción de su turba. La presente investigación se planteó identificar los efectos que tiene dicha práctica en el nivel freático y la pérdida de cobertura, en uno de los bofedales de Carampoma (Milloc). Para evaluar el régimen hidrológico, se seleccionaron 2 zonas de comparación: una afectada y otra no afectada por la extracción de turba. La zona perturbada mostró un mayor descenso en la profundidad del nivel freático, registro de aguas más ácidas y niveles de conductividad eléctrica más altos, que en la zona no perturbada durante la época seca. En cuanto a la cobertura, se halló una pérdida de 8.41 ha del bofedal, atribuible a la actividad extractiva, mediante el procesamiento de imágenes satelitales tomando como año base el 2005.

INTRODUCCIÓN

En los Andes centrales, los bofedales o turberas altoandinas son ecosistemas que funcionan como reguladores hídricos y almacenes de carbono, de gran importancia frente a un contexto de cambio climático. A pesar de brindar tales servicios, en el territorio de la Comunidad de Carampoma, los bofedales vienen siendo depredados por una indiscriminada extracción de su turba. Uno de esos bofedales es el de la laguna Milloc. El objetivo de las personas que se dedican a esta actividad es comercializar el recurso en viveros de la ciudad de Lima. La pérdida de reservas hídricas como los bofedales resulta perjudicial considerando que de por sí las condiciones de los Andes son ambientalmente extremas. Cabe resaltar que los bofedales de Carampoma se hallan en la cabecera de cuenca del río Santa Eulalia, la cual provee agua para Lima Metropolitana.

Figura 1. Ubicación de área de estudio



Ante este contexto, se plantean los siguientes **objetivos de investigación**:

1. Determinar la reducción espacial de la cobertura del bofedal de Milloc por la extracción de turba
2. Determinar la variación de las principales propiedades químicas y profundidad del nivel freático del bofedal de Milloc

METODOLOGÍA

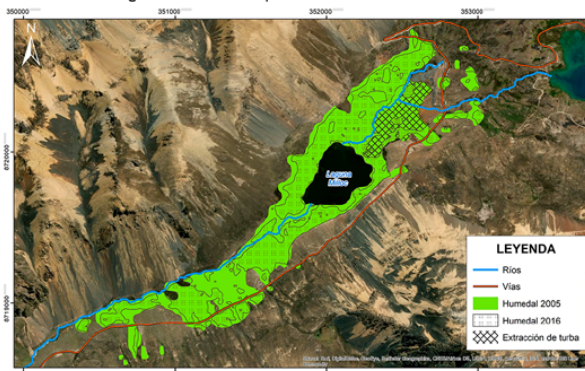
Para el primer objetivo, se diseñó un estudio multitemporal con imágenes satelitales de Landsat 5 (años 2005 y 2011), y de Sentinel 2A (año 2016). Se estimó la extensión del bofedal para cada año, mediante índices normalizados de vegetación (NDVI), agua (NDWI) y humedad (NDMI), con el software ArcMap. Previamente se tomaron puntos de control del área de la turbera descubierta para el posterior análisis. Para la definición de umbrales de los índices, se aplicó una composición de bandas RGB (color natural) y el método de clasificación supervisada mediante la herramienta Clasificación por máxima verosimilitud, para la imagen Sentinel 2A del año 2016. Para las imágenes Landsat 5 de los años 2005 y 2011, en cambio, se empleó una clasificación no supervisada con la herramienta ISO Cluster.

Para el segundo objetivo, dentro del bofedal se identificó una **zona afectada** y **no afectada por la actividad extractiva**; la segunda como sitio de control. En cada una se trazaron 3 transectos de 80 metros con 5 puntos de evaluación, en los que se midió el pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura del nivel freático del bofedal, así como la profundidad a la que se encuentra. Para ello, se utilizó un multiparámetro de bolsillo marca Hanna modelo HI 98130 impermeable y un barreno.

RESULTADOS

El bofedal se redujo de 92.28 ha (2005) a 87.34 (2011) y 52.19 ha (2016). De esta pérdida de casi 40 ha, 8.41 ha son atribuibles a la extracción de turba. La demás pérdida de cobertura puede ser atribuible a una sinergia de otros impactos: el cruce de la carretera por el flujo de agua que alimentan al bofedal, pastoreo de animales, pérdida de glaciares.

Figura 2. Variación espacial del bofedal de Milloc.



Se encontraron diferencias en cuanto a la zona con y sin extracción de turba en las propiedades químicas y profundidad del nivel freático. En la época seca, algunos pozos de la primera zona sobrepasaron los 60 cm de profundidad; sin embargo, se da un ascenso del agua en época de lluvias de la capa freática (20 - 30 cm). Se halló aguas más ácidas en la zona afectada (pH 4.38 - 6.80), que en la no afectada (pH 5.57 - 6.38). La CE fue más elevada en el área afectada (valores >500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), a diferencia de la zona no afectada (< 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tabla 2. Resultados de parámetros evaluados en el nivel freático.

	Con extracción de turba	C.V	Sin extracción de turba	C.V	P
Nro. de pozos	30		30		
Profundidad (cm)					
Época húmeda	25.80 \pm 1.08	0.163	3.27 \pm 1.97	2.333	
Época seca	46.47 \pm 3.50	0.291	19.13 \pm 4.23	0.856	< 0.001
pH					
Época húmeda	5.60 \pm 0.17	0.121	6.18 \pm 0.06	0.036	0.004
Época seca	5.68 \pm 0.12	0.080	5.99 \pm 0.04	0.027	0.048
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
Época húmeda	373.80 \pm 96.30	0.998	122.33 \pm 9.17	0.290	0.021
Época seca	744.00 \pm 117.06	0.609	170.67 \pm 11.93	0.271	< 0.001
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					
	7.35 \pm 0.16	0.084	8.72 \pm 0.59	0.264	0.782

CONCLUSIONES

- La extracción de turba ha contribuido a la disminución de la cobertura del bofedal. La detección del cambio de cobertura permitió advertir también sobre la fragmentación de la cobertura, influenciada por otros fenómenos ajenos al estudio.
- A pesar de que el nivel freático en la zona afectada es profundo en época seca, la precipitación facilita la reconexión del agua con la vegetación (funcionamiento de la turbera).
- Existe una variación del pH y la CE de la capa freática del bofedal, motivada por la extracción de turba. El descenso del nivel freático (época seca) influye en ambos parámetros.

REFERENCIAS

- García, E. y Lleish, M. A. (2012). Cartografiado de bofedales usando imágenes de satélite Landsat en una cuenca altoandina del Perú. Revista de Teledetección, (38), 92-108.
- Rydin, H. y Jeglum, J. K. (2013). The Biology of Peatlands (2da edición). New York: Oxford University Press
- Ruthsatz, B. (2012). Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. Phytocoenologia, 42(3-4), 133-179. <http://doi.org/10.1127/0340-269X/2012/0042-0535>

AGRADECIMIENTOS

A la Pontificia Universidad Católica del Perú, por el financiamiento de esta investigación. A la Comunidad Campesina de Carampoma, por permitir estudiar este fenómeno en su territorio y por su gran apoyo.



TEPUI-SAT: AUTONOMOUS ENVIRONMENTAL MONITORING AND SIMULATION SYSTEM FOR CULTIVATION OF VULNERABLE TROPICAL MONTANE FLORA SPECIES

Mateusz Wrazidlo^{1*}, Judith Rosales²

¹Faculty of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Polonia

²Faculty of Earth & Environmental Sciences, University of Guyana, Georgetown, Guyana

*Email: matwraz@gmail.com

Tepui-Sat is focused on the development of an innovative methodology for botanical and environmental research over endemic flora habitats of the montane refugia, enabling carrying out long-term monitoring over a wide spectrum of environmental phenomena. It presents a first of its kind methodology for directly transferring the in-situ work results into ex-situ nature conservation & research undertakings. The system will be a combination of 2 autonomous units: FloraLink Field Probe – an environmental probe designed to acquire, store and transmit environmental data from the field, and FloraCube – an environmental chamber designed to cultivate vulnerable species of flora in enclosure, capable of simulating specified environmental characteristics.

Tepui-Sat is based on an interdisciplinary scope of focus - simultaneous development of innovative equipment and its validation during fieldwork in the highland & montane Pantepui environment in Guyana. Joint experience of engineers and nature specialists allow an adequate evaluation of the new equipment and its efficiency and reliability in prolonged outdoor use.

The Tepui-Sat system offers an innovative solution for nature research & conservation

enabling carrying out observations over a wide spectrum of natural phenomena. Firstly, the FloraLink Field Probe – for collecting environmental data from remote locations (e.g., temperature, humidity, light readings, etc.) that are crucial for a credible validation of data obtained from different sources and their enhancement with supplementary information that can be successfully applied in practical tropical agriculture and plant cultivation endeavors. The second unit, the FloraCube – an environmental chamber capable of simulating specified environmental characteristics, will present an answer for the market need for an easy to use, digitally controlled device for cultivating and propagating endangered plant species in enclosure – an approach called “Conservation through Cultivation”.

Thanks to versatile design guaranteeing a wide range of applications the system will be capable of handling tasks focused also on areas other than the Guiana Highlands – The Andes, SE-Asia, etc.

Keywords: Horticulture, plant cultivation, Pantepui, Guiana Highlands, environmental monitoring & simulation

TEPUI-SAT: Environmental monitoring and simulation system for cultivation of vulnerable tropical montane wetland flora species



THE UNIVERSITY OF GUYANA

Mateusz Wrazidlo¹, Judith Rosales²

1. Department of Fundamentals of Machinery Design, Faculty of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology, e-mail: matwraz@gmail.com
2. Faculty of Earth & Environmental Sciences, University of Guyana, e-mail: judith.rosales@uog.edu.gy

Introduction

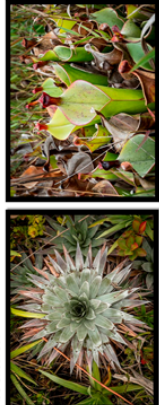
Climatic disruptions, global deforestation and habitat loss are some of the biggest challenges mankind faces in the modern times. These threats jeopardize all efforts to tackle the massive decline in wildlife and imperil global biodiversity more than any other contemporary phenomenon. Isolated, relict highland refugia belong to some of the most fragile, and therefore threatened kinds of environment on the planet requiring immediate attention and action aimed at their research and conservation. Examples of such environments are the flora habitats of the **montane peat wetlands of the Guiana Shield Highlands**, present in the **Pantepui** biota scattered around the legendary tabletop mountains – the **Tepuis** in Guyana, Venezuela, Brazil and Colombia, reaching up to 2,994m a.s.l. on Pico da Neblina.



Development of modern remote-sensing, data transmission and horticultural automation technologies offer us a unique insight into the tropical ecosystems and provide us with invaluable data that until now had not been possible to achieve. Combination of *in-situ* microhabitat monitoring and *ex-situ* flora propagation presents an innovative, wide-scope solution for long-term research and nature preservation: an approach called **Conservation through Cultivation**.

Why Guiana Highlands?

The high-elevation areas of the Tepui table mountains are important for science due to having remained in isolation for millions of years, allowing many plant species to evolve in unique ways and adapt to growing in a very peculiar kind of environment. The environmental soil and bioclimatic characteristics that prevail in the highlands of Pantepui, ranging approx. from 500m to 2,994m a.s.l. have in most part not been periodically monitored. Taking into consideration the advancing global climate changes, Tepui researchers envisage disruptions in altitudinal plant and animal species distribution and potential local habitat deterioration which will put some of the locally endemic genera (*Heliconia*, *Oreocallis* or *Stegolepis*) under the threat of going extinct. It is of utmost importance to present ways of securing those unique places and the plant biodiversity which can be found there. In order to do so, it is imperative to obtain knowledge on how the environment behaves and how the survival of the plants can be ensured.



Methodology

Tepui-Sat is focused on the development of an innovative methodology for ecological research over the endemic flora habitats of the montane peat wetlands of the Guiana Shield Highlands, enabling carrying out long-term monitoring over a wide spectrum of environmental phenomena and obtaining practical knowledge about the environmental needs of endemic plants for the sake of their introduction in *ex-situ* cultivation. The main task of the project is the design and assembly of a system of two prototype devices: the **FloraLink Field Probe** and **FloraCube Environmental Chamber**.

FloraLink Field Probe

Environmental probe designed to acquire, store and transmit sensor data from the field via satellite network.

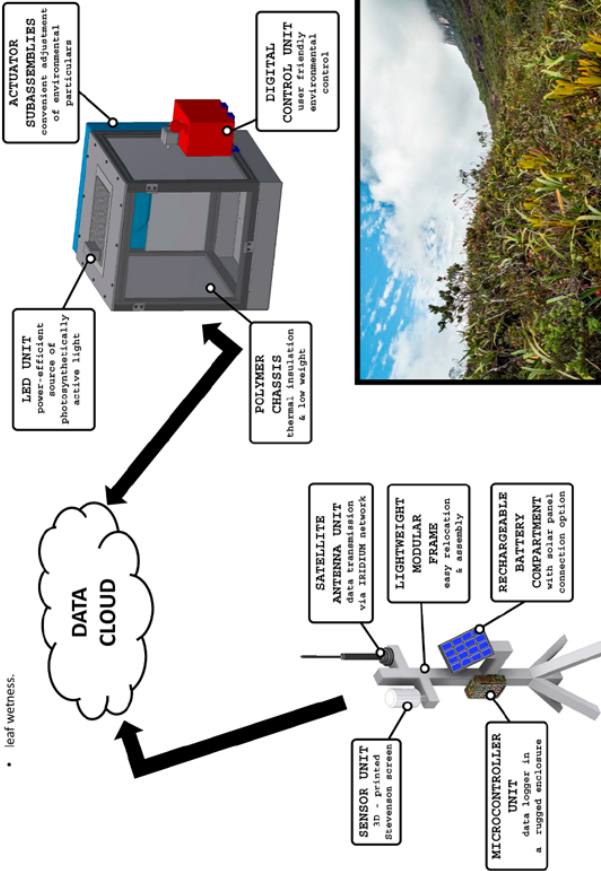
- ATMOSPHERE:**
- relative temperature,
 - relative humidity,
 - atmospheric pressure,
- LIGHT:**
- PAR (photosynthetically active radiation),
 - solar radiation flux,
- SOIL:**
- soil temperature,
 - soil moisture,
- PRECIPITATION:**
- leaf wetness.

FloraCube Environmental Chamber

Environmental chamber for cultivating vulnerable species of flora in enclosure.

SIMULATION OF NATURAL PHENOMENA THROUGH A DATA CLOUD LINK WITH THE FIELD PROBE

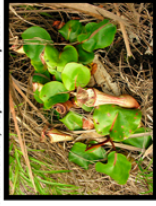
- LIGHT:**
- LED panel with accurate, photosynthetically efficient output spectrum,
- WATER SUPPLY:**
- rain simulation via automatic misting system,
 - mountain haze simulation via ultrasonic foggers,
- TEMPERATURE:**
- thermoelectric module-based thermal control unit.



Plant Conservation Through Cultivation

***Ex-situ* cultivation of vulnerable plants** remains one of the most effective means of ensuring the survival of the most fragile and precious species. Plantlife is on the forefront of global extinction rates and therefore rapid actions must be taken should the preservation of endangered species be ensured for future generations.

An example of a successful introduction of an endangered species into large-scale cultivation is a Bornean endemic pitcher plant from Mount Kelam in Kalimantan, *Nepenthes clipeata*.



Being critically endangered in its natural habitat due to various factors (e.g. poaching), the plant has recently been distributed among botanical gardens, in vitro nurseries and private collectors all around the world ensuring its survival and bringing hope for possible re-introduction in its natural habitat in the future.

Desired Outcomes

- development of reliable and user-friendly equipment for environmental monitoring & plant cultivation,
- promotion of nature conservation topics,
- promotion of responsible nursery plant collecting as a hobby helping nature conservation cases,
- positive impact and capacity building in rural areas of developing countries, especially those hosting Tepui montane environments.



...to a simulated environment in enclosure propagation in enclosure

From the natural habitat...



DISTRIBUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA LÍNEA ARBÓREA EN LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Erickson Giomar Urquiaga Flores^{1,2*}, Dirk Nikolaus Karger³, Michael Kessler¹

¹University of Zurich, Switzerland

²Universidad Nacional de San Antonio Abad, Cusco, Perú

³Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Zurich, Switzerland

*Email: eurquiaga@outlook.com

La máxima elevación topográfica donde los árboles pueden desarrollarse y los bosques pueden propagarse, se conoce como línea arbórea (treeline). Este límite natural de la vegetación se encuentra en las montañas de todo el mundo. La máxima elevación que alcanza el treeline en los Andes es alrededor de los 4800 metros en Bolivia (nevado Sajama). Sabemos que la distribución del treeline es controlada por las bajas temperaturas, pero también existen otros factores eco-fisiológicos y topográficos que aún siguen en debate. Actualmente, no hay una evaluación de la condición y distribución del treeline en los Andes.

El uso de sensores remoto, sistemas de información geográfica, análisis de cobertura forestal, modelos de elevación digital y modelos climáticos, nos permite evaluar a una escala regional la distribución y las condiciones en que se encuentra el treeline. La elevación potencial del treeline en los Andes llega alrededor de los 6000 m (Patagonia) y 5000 m (Bolivia). En contraste, la posición actual del treeline, se encuentra a elevaciones más bajas de la que debería estar, bajo las condiciones climáticas de las últimas décadas. Esta diferencia que existe entre la posición

actual y la posición climática potencial del treeline puede deberse a factores naturales. Pero en la actualidad se debe principalmente a las actividades antrópicas que se realizan en estos hábitats.

Esta investigación, determina la posición actual, potencial y las condiciones en que se encuentran el treeline. Los análisis muestran que la distribución del treeline en los Andes Centrales está en promedio 400 metros por debajo de su posición potencial. Así también la cobertura forestal del treeline varía a lo largo de los Andes, presentando en los Andes Centrales los valores más bajos. Esta investigación permite identificar las áreas disturbadas y no disturbadas del treeline para así priorizar su recuperación, protección o conservación.

Palabras clave: Línea arbórea, treeline potencial, treeline actual, distancia vertical, cobertura forestal, estado de conservación



RED DE INICIATIVAS VOLUNTARIAS DE CONSERVACIÓN – CUSCO: ALIADOS PARA LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA [título modificado: RED DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN VOLUNTARIA CUSCO]

Gabriela Cairo^{1*}, Andrea Bellota¹

¹Asociación para la Conservación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (ACOGEM), Cusco, Perú

*Email: gabriela_cairo92@hotmail.com

Las iniciativas voluntarias de conservación en la región Cusco (Perú) están conformadas por Áreas de Conservación Privada, concesiones para conservación y concesiones para ecoturismo. El número de éstas se encuentra creciendo a un ritmo acelerado y aunque, son sumamente valiosas como iniciativa que parte de la sociedad civil para contribuir con la conservación de ecosistemas de montañas, existen limitaciones desde su reconocimiento, y se extienden hasta su actual gestión.

En la región Cusco se tienen 20 iniciativas voluntarias legalmente reconocidas, por ello la necesidad de abrir un espacio cimentado en las relaciones entre los líderes e instituciones de soporte técnico, desde el cual se promueve el intercambio de experiencias de gestión, ofrecer soluciones ante las amenazas que afecten a las áreas de conservación, generar oportunidades de sostenibilidad financiera, fortalecer las capacidades técnicas y legales de los miembros de la Red, y finalmente difundir las experiencias exitosas de un trabajo en conjunto.

Desde que se consolidó la idea de la red hasta la fecha, se ha trabajado en el diagnóstico de cada iniciativa. En esta etapa se ha identificado que, del total, 15 son comunales, dos son institucionales y siete son familiares. Estas últimas son las que no han tenido asesoramiento técnico ni acceso a herramientas de gestión, por ello se ha priorizado su incorporación en la red. Hasta ahora se ha podido identificar algunos problemas en común, dentro de los principales se encuentran los conflictos sociales, el monitoreo inconstante, y la falta de sostenibilidad financiera.

Este trabajo ha resultado sinérgico y muy positivo, los miembros se han integrado muy bien, y el aporte de cada uno ha contribuido a encontrar posibles soluciones. Finalmente queda resaltar el trabajo invaluable que realiza este grupo de personas por la conservación de los ecosistemas de montañas, por lo que es necesario seguir apoyándolos en este largo camino.

Palabras clave: Áreas de conservación privadas, concesiones para conservación, concesiones para ecoturismo, ecosistemas de montaña

RED DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN VOLUNTARIA CUSCO

Yolanda Gabriela Cairo Bustos¹, Bija: Zynthia Andrea Belicla Mejía¹, Bija:
¹Asociación para la Conservación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña – ACOGEM
conservacion.acgem@gmail.com



Asociación para la Conservación de
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

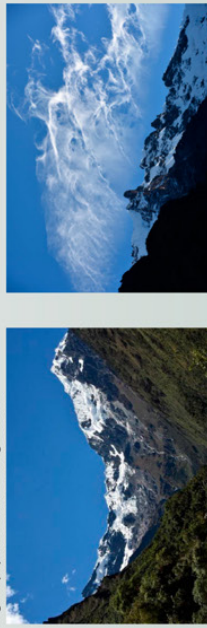
RESUMEN

Las iniciativas voluntarias de conservación en la región Cusco (Perú) están conformadas por Áreas de Conservación Privada, concesiones para conservación y concesiones para ecoturismo. El número de éstas se encuentra creciendo a un ritmo acelerado y aunque, son sumamente valiosas como iniciativa que parte de la sociedad civil para contribuir con la conservación de ecosistemas de montañas, existen limitaciones desde su reconocimiento, y se extienden hasta su actual gestión.

En la región Cusco se tienen 20 iniciativas voluntarias legalmente reconocidas, por ello se vio la necesidad de abrir un espacio céntrico en las relaciones entre los líderes e instituciones de soporte técnico, desde el cual se promueve el intercambio de experiencias de gestión, ofrecer soluciones ante las amenazas que afectan a las áreas de conservación, generar oportunidades de sostenibilidad financiera, fortalecer las capacidades técnicas y legales de los miembros de la Red, y finalmente difundir las experiencias exitosas de un trabajo en conjunto.

Desde que se consolidó la idea de la red hasta la fecha, se ha trabajado en el diagnóstico de cada iniciativa. En esta etapa se ha identificado que, del total, 12 son comunales, 2 son institucionales y 7 son familiares. Estas últimas son las que no han tenido asesoramiento técnico ni acceso a herramientas de gestión, por ello se ha priorizado su incorporación en la red. Hasta ahora se ha podido identificar algunos problemas en común, dentro de los principales se encuentran los conflictos sociales, el monitoreo inconsistente, y la falta de sostenibilidad financiera.

Este trabajo ha resultado sinérgico y muy positivo, los miembros se han integrado muy bien, y el aporte de cada uno ha contribuido a encontrar posibles soluciones. Finalmente queda resaltar el trabajo invaluable que realiza este grupo de personas por la conservación de los ecosistemas de montañas, por lo que es necesario seguir apoyándolos en este largo camino.



INTRODUCCIÓN

Cuando en los años sesenta se extiende la alerta acerca del estado de los recursos naturales del planeta, se generaliza la necesidad de establecer áreas naturales en las que la actividad humana no tenga ninguna injerencia (León, 2004). Durante las dos últimas décadas se hizo notoria una tendencia a nivel Nacional sobre el incremento de las iniciativas para la conservación de la naturaleza y la diversidad biológica.

Frente a esta tendencia la legislación del Perú en el año 1997 apostó por impulsar y desarrollar la participación privada creando un instrumento denominado "Área de Conservación Privada (ACP)", que se define como los espacios naturales reconocidos por el Estado a petición de sus propietarios de manera voluntaria.

Desde que salió el reglamento en el 2001 hasta la fecha, el Estado ha logrado Reconocer 129 predios como ACP, ubicados en casi todas las regiones del país. Experiencias de algunas regiones del país como Cusco, San Martín y Amazonas revelan que la constitución de estas son un complemento claro y exitoso al Sinape. En el Perú algunas instituciones como las ONG, colaboran en el proceso de reconocimiento de espacios naturales como ACP a aquellas personas naturales o comunidades que por iniciativa propia deciden destinar

sus terrenos para conservación. Sin embargo, aún no existe una institución u organismo que se encargue de hacer un acompañamiento continuo y brinde asesoría técnica para el cumplimiento de los compromisos asumidos.

La investigación que a continuación se describe, tiene como objetivo presentar a la red de iniciativas voluntarias de conservación como una propuesta que permite canalizar y evidenciar los logros y limitaciones a los que cada día se enfrentan los representantes de estas iniciativas.

METODOLOGÍA

El trabajo se encuentra dividido en tres etapas.



Gráfico 1. Fuente: Elaboración Propia. Metodología.

1. Etapa de diagnóstico: Se hizo una búsqueda bibliográfica para recopilar información acerca de los representantes legales de cada área de conservación. Se solicitó la información al SERNAMP, y a partir de esta se creó una base de datos. Posteriormente se agendó una reunión con los representantes de algunas iniciativas y se planteó la propuesta de conformar la red de iniciativas voluntarias de conservación de la región del Cusco.

2. Implementación de la Red: Se conformó la red de iniciativas voluntarias de conservación de la región del Cusco, con el consentimiento libre previo e informado de cada miembro.

3. Se dará inicio a la etapa de Ejecución después de culminar en el 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

De la etapa de diagnóstico se identificó que en la región del Cusco existen 17 ACP reconocidas ante el estado, contribuyendo con 29,868.65 ha, para la conservación de diversos ecosistemas. Durante esta etapa se encontró que existen otras iniciativas voluntarias, como las concesiones para ecoturismo (CE) y las concesiones para conservación (CC). Para este estudio, también fueron tomadas en cuenta ya que mantienen la misma figura que las ACP. Por ello en adelante se hace referencia a las "iniciativas voluntarias de conservación". De esta manera, el número de iniciativas en la región del Cusco se incrementó a 20 (ver tabla 1).

Tipo de iniciativa	Cantidad
ACP	17
CC	2
CE	1
Total	20

Tabla 1. Fuente: Elaboración Propia. Número de iniciativas

El gráfico 2 refleja el crecimiento del número de iniciativas por año, durante el periodo del 2006-2018.



Gráfico 2. Fuente: Elaboración Propia. Número de iniciativas de conservación por año

• Por otro lado, se hizo un análisis en función a su administración. A partir de este se clasificó a las iniciativas en: comunales, familiares, e institucionales (Ver gráfico 3).

Iniciativas Voluntarias de Conservación



Gráfico 3. Fuente: Elaboración Propia. Número de iniciativas en función a su administración.

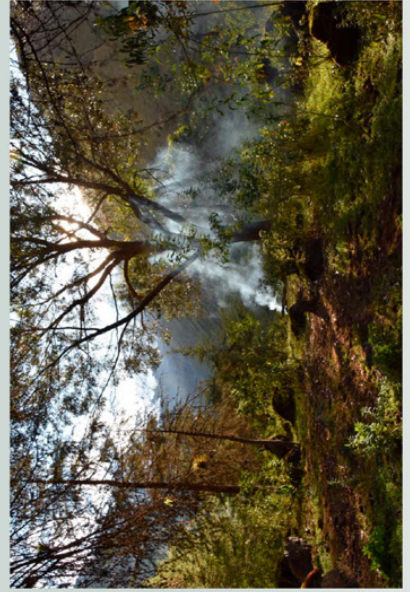
Luego se hizo una revisión bibliográfica para conocer su estado actual de gestión, según la clasificación planteada. Se encontró que las iniciativas comunales y las institucionales tienen un vínculo directo con alguna ONG lo que facilita el acceso a financiamiento para su gestión, y esto se refleja en el avance del cumplimiento de sus compromisos. En el caso de iniciativas familiares y a diferencia de las otras, al no estar vinculadas directamente a alguna institución, tienen varias limitaciones en cuanto al acceso a capacitación y fondos de financiamiento para la gestión de sus áreas y por lo tanto también para el cumplimiento de sus objetivos.

En este sentido, con la finalidad de reducir la brecha que actualmente existe entre iniciativas, se vio oportuno dar inicio a la red teniendo como primeros miembros a los representantes de las iniciativas familiares. Actualmente la red está conformada por cinco miembros de las iniciativas familiares (3 ACP, 1 CC, 1 CE).

CONCLUSIONES

• De las tantas formas de proteger espacios naturales, una de las más inspiradoras son las iniciativas voluntarias de conservación, ya que son importantes aliados para la conservación de los ecosistemas andinos de la región del Cusco. Estas iniciativas se caracterizan particularmente por no depender del aparato gubernamental y si bien cuentan con la posibilidad de gestionar su propio financiamiento u obtenerlo a partir de terceros, no se está tomando en cuenta el aseguramiento de la gestión ni la sostenibilidad financiera de las iniciativas familiares a mediano y largo plazo.

• La constitución de la red, ha resultado un trabajo sinérgico que permite el avance de todos de manera conjunta. Aun queda un largo camino por recorrer, las opciones de financiamiento cada año son menores y por lo tanto es indispensable generar alguna estrategia que permita establecer lineamientos y acciones para hacerlas sostenibles en el tiempo. Considerarlas dentro del proyecto Patrimonio Nacional del Perú que viene siendo impulsado por el SERNAMP, con la finalidad de asegurar también la sostenibilidad financiera de estas iniciativas podría ser el primer paso.





CONDICIÓN ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN LA CUENCA OCCORURUNI PARA UN ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Ángela Mendoza Ato^{1*}, Joshua Castro Camacho¹, Juan José Alegría Olivera^{2,3}

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Cusco, Perú

²Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú

³División de Ecología Vegetal, CORBIDI, Lima, Perú

*Email: angelamentat@gmail.com

La cuenca Occoruruni, ubicada en el departamento de Puno, es una unidad hidrográfica de la Cordillera Apolobamba que está fuertemente influenciada por los glaciares de la misma. En el 2006 ocurrió un evento de aluvión que ocasionó daños en la infraestructura y viviendas de la población asentada en la margen derecha del río Occoruruni. Ante la necesidad de información pertinente sobre riesgo al peligro de origen glaciar en esta cuenca, se inician las investigaciones de diagnóstico y caracterización del peligro según protocolos nacionales, para la posterior realización de una Evaluación del Riesgo (EVAR). Sin embargo, en estos protocolos no se contempla una metodología para abordar los ecosistemas de montaña (bofedales y pastizales) presentes en el área de influencia del peligro, que son utilizados por la población para el desarrollo de sus actividades de supervivencia, principalmente ganadería y agricultura, considerándose necesario incluirlos en el análisis de vulnerabilidad por estar íntimamente relacionados a los medios de vida. Para la evaluación de dichos ecosistemas, se recurrió al uso de una metodología de estimación de la condición ecológica, que es

una medida de la capacidad de los ecosistemas de mantener sus funciones, complejidad y auto-organización ante presiones externas a consecuencia de actividades antrópicas. Esta medida reflejaría a su vez la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al peligro de origen glaciar. El estudio se desarrolló en nueve zonas, cinco correspondientes a bofedal y cuatro a pastizal. En cada una se tomaron datos de variables de la biota, del suelo y del agua, así como características generales, de esta manera tener un espectro amplio de información útil para realizar una evaluación a nivel ecosistémico. Estos datos servirán para el análisis de atributos (condición hidrológica, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones en el paisaje) que a su vez determinarán la condición ecológica de cada uno de los ecosistemas de montaña evaluados.

Palabras clave: Condición ecológica, vulnerabilidad, gestión de riesgos, bofedales, pastizales

Condición ecológica de ecosistemas de montaña en la cuenca Occoruruni para un análisis de vulnerabilidad

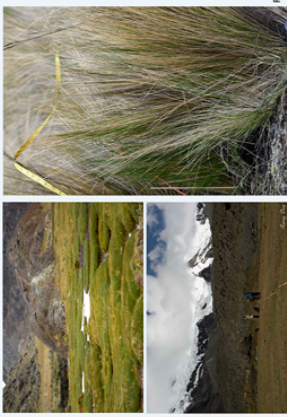
Angela Mendoza Ato¹, Joshua Castro Camacho¹, J. José Alegría Olivera^{2,3}
¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña-Perú
²Herbario del Dpto. de Biología (MOL) - Universidad Nacional Agraria La Molina
³División de Ecología Vegetal - CORBIDI



Resumen:

La cuenca Occoruruni, ubicada en el departamento de Puno, es una unidad hidrográfica de la cordillera Apolobamba que está fuertemente influenciada por los glaciares de la misma. En el 2006, ocurrió un evento de aluvión que ocasionó daños en la infraestructura y viviendas de la población asentada en la margen derecha del río Occoruruni. Ante la necesidad de información pertinente sobre riesgo al peligro de origen glaciar en esta cuenca, se inician las investigaciones de diagnóstico y caracterización del peligro según protocolos nacionales, para la posterior realización de una Evaluación del Riesgo (EVR). Sin embargo, en estos protocolos no se contempla una metodología para abordar los ecosistemas de montaña (bofedales y pastizales) presentes en el área de influencia del peligro, que son utilizados por la población para el desarrollo de sus actividades de supervivencia, principalmente ganadería y agricultura, en consecuencia se considera necesario incluirlos en el análisis de vulnerabilidad por estar íntimamente relacionados a los medios de vida. Para la evaluación de dichos ecosistemas, se recurrió al uso de una metodología de estimación de la condición ecológica, que es una medida de la capacidad de los ecosistemas de mantener sus funciones, complejidad y auto-organización ante presiones externas a consecuencia de actividades antrópicas. Esta medida reflejará a su vez la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al peligro de origen glaciar. El estudio se desarrolló en 9 zonas, 5 correspondientes a bofedal y 4 a pastizal. En cada una se tomaron datos de variables de la biota, del suelo y del agua, así como de características generales, para de esta manera tener un espectro amplio de información útil para realizar una evaluación a nivel ecosistémico. Estos datos servirán para el análisis de atributos (condición hidrológica, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones en el paisaje) que a su vez determinarán la condición ecológica de cada uno de los ecosistemas de montaña evaluados.

Foto N° 1. Ecosistemas de montaña de la cuenca Occoruruni. A) Bofedal de áreas inundadas, B) Césped de puna, C) Pajonal de puna



Fotos: Benny Diaz

Introducción

En el año 2017, el INAIGEM empezó el diagnóstico de las cordilleras más representativas del sur del Perú. En Puno este diagnóstico se hizo en las cordilleras de Carabaya y Apolobamba, y se determinó que en esta última, en la cuenca hidrográfica Occoruruni (tributaria de la cuenca Huari Huari), hay un alto potencial de severos peligros de origen glaciar que afectarían en gran medida a la población de las comunidades de Koriwara y Potoni, ubicadas en el distrito de Sina, debido a la presencia de dos lagunas glaciares en formación (Vilca, 2017).

Estas afirmaciones están amparadas en la ocurrencia de dos eventos importantes que afectaron principalmente a la población de la comunidad de Koriwara. En el año 2006, aconteció un evento de movimiento en masa (desprendimiento de masa glaciar y desborde de laguna), que llevó a su paso terrenos de cultivo, zonas de pastoreo y animales, además de ocasionar daños materiales en el centro poblado. Asimismo, en el año 2012, hubo un incremento súbito en los caudales del río Occoruruni, el cual ocasionó impactos similares al evento del 2006 en la población y sus territorios. Actualmente la comunidad presenta mayor exposición y alta vulnerabilidad debido a que sus viviendas están ubicadas muy cerca del río Occoruruni (Vilca, 2017)

Metodología

La cuenca Occoruruni, tributaria de la cuenca Huari Huari, es parte del sistema hidrologico de la cuenca Inambari. Está influenciada por la cordillera Apolobamba, que se encuentra en la frontera entre Perú y Bolivia, en la región Puno, en las provincias de San Antonio de Putina, Sandía y Huancané.

Figura N°1. Mapa de ubicación de las zonas de evaluación



Para el presente trabajo se siguió la metodología de evaluación de condición ecológica de bofedales planteada por Fuentealba & Gonzales (6.1) y de pastizales planteada por el MINAM (2016). A lo largo del río Occoruruni se han encontrado, con mayor importancia, ecosistemas bofedales y pastizales. Se identificaron las zonas de evaluación, cinco de bofedal en función al gradiente de humedad siendo los siguientes: bofedal inundado (1), bofedal saturado (1), bofedal capacidad de campo (2), bofedal seco (1); y cuatro de pastizales según la estructura identificándose: césped (3) y pajonal de puna (1) (Ver Figura N° 1). En cada zona se tomaron datos en campo de los indicadores que definen atributos; a estos valores se le asignaron puntajes del 0 al 100 (Ver tabla N° 1), según el rango al que pertenecen, los cuales a su vez determinan una condición. La sumatoria de estos puntajes se dividió entre 10, siendo 10 la mejor condición.

Tabla N° 1. Indicadores de los atributos para la determinación de la condición ecológica de ecosistemas bofedales y pastizales, y sus puntajes máximos.

ECOSISTEMA	ATRIBUTO	INDICADOR	PUNTAJES MÁXIMOS
BOFEDALES	CONDICIÓN AGUA	Nivel freático (cm)	30.9
		Conductividad Eléctrica (µS/cm)	8.9
	CONDICIÓN SUELO	Humedad (g/g)	6.9
		Densidad aparente (g/cm³)	3.9
		Signos de erosión	2.9
PASTIZALES	CONDICIÓN BIOTA	Índice de diversidad	3.4
		Recursos de especies (variedad)	3
		Cobertura vegetal (%)	3
		Biomasa (g 400ha)	5.1
		Conductividad hidrológica	8
ALTERACIONES PAISAJE		Recurso de Gramíneas y graminoides	7.0
		Recurso de Hierbas	1.0
		Recurso de Leguminosas	1.0
		Composición florística de Gramíneas y graminoides (%)	2.0
		Composición florística de Hierbas (%)	1.0
		Composición florística de Leguminosas (%)	2.0
		Cobertura aérea del suelo (%)	4.0
		Perdida de suelo de horizonte superficial	20.0
		Matéria orgánica del horizonte superficial	4.0
		Altura de Cosecha plantas dominantes (cm)	2.0
INTEGRALES BIOTICAS		Cantidad de semillas (g/m²)	18.0
		Pérdidas Inversoras (%)	6.0

Resultados y Discusión

El análisis de los datos recogidos en campo para bofedales y pastizales se realizó por separado ya que los atributos fueron diferentes tratándose de distintos ecosistemas, tal como se aprecia en la Tabla N° 1. Según el gradiente de humedad, se encontraron 4 subtipos de bofedales, cada uno con distinto comportamiento ecosistémico. El bofedal que muestra una mejor condición ecológica según Tabla N° 2, es el de áreas inundadas: sin embargo, tomando en cuenta que la metodología planteada por Fuentealba & Gonzales (s.f) no diferencia entre subtipos de bofedales, es de esperarse este resultado debido a que los máximos puntajes están contruidos sobre la base del límite superior del gradiente. Por otro lado, el bofedal de áreas en capacidad de campo de la zona 8 presenta una buena condición respecto al de la zona 3. Por último, los bofedales de áreas saturadas y secas, presentan una condición ecológica regular, con puntajes de 3.22 respecto al máximo de referencia que es 6.03.

Tabla N° 2. Puntajes que reflejan la condición ecológica de los bofedales evaluados en la cuenca Occoruruni

ECOSISTEMA	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema
BOFEDALES		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
PASTIZALES		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN

*En este tipo de bofedal no se pudo recoger información de los indicadores densidad aparente y biomasa, por no contar con los equipos adecuados, por esta razón el puntaje máximo de referencia es 5.17.

Los pastizales evaluados se diferenciaron en estructura, encontrándose dos formaciones: césped de puna y pajonal de puna. En la Tabla N° 3 se aprecia que el césped de puna con mejor condición es el de la zona de evaluación 3 en comparación con los de las zonas 6 y 8. El pajonal de puna (zona 9) tiene una condición pobre a causa de que la zona donde se encontraba presentaba severa pérdida de suelo del horizonte superficial. Es necesario mencionar que la metodología planteada por MINAM (2016) no proporciona un diseño experimental ni herramientas de muestreo para el recojo de datos, lo cual deviene en tener un sesgo en los resultados obtenidos ya que no se conoce como se obtuvieron los valores de referencia que se plantean.

Tabla N° 3. Puntajes que reflejan la condición ecológica de los pastizales evaluados en la cuenca Occoruruni

ECOSISTEMA	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema	CONDICIÓN	Sub-Ecosistema
PASTIZALES		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
PASTIZALES		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN
		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN		CONDICIÓN

Conclusiones

- Los bofedales con una mejor condición ecológica son los de áreas en capacidad de campo de la zona de evaluación 8, y de áreas inundadas de la zona 3; por lo tanto, estos tendrían una menor vulnerabilidad ante un peligro de origen glaciar.
- El césped de puna con mejor condición ecológica es el de la zona 3, teniendo un menor grado de vulnerabilidad a los peligros de origen glaciar; por otro lado, el pajonal de puna evaluado en la zona 9 presenta una condición ecológica pobre; en consecuencia, tendría un grado mayor de vulnerabilidad.

Bibliografía

Fuentealba, E. y Gonzales, Y. (redito). Propuesta metodológica para la evaluación del estado de conservación del ecosistema bofedal (Informe Final).
 Ministerio del ambiente (MINAM). 2016. Guía complementaria para la compensación ambiental. Ecosistemas altoandinos. MINAM. 36 p.
 Vilca, O. 2017. Diagnóstico de la situación actual de los glaciares en la cordillera Apolobamba: informe técnico. INAIGEM. Huancabamba. 33 p.

AGRADECIMIENTOS: Los autores agradecemos a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Andina Bata de Cusco Villacuri, que fueron valiosos en la recolección de datos en campo, especialmente a Benny Chacua y a profesor Benny Diaz.



RESTAURACIÓN DE TURBERAS DE PÁRAMO DRENADAS Y SU MONITOREO

Paola Fuentes^{1*}, Bert De Bièvre¹, Juliette Delerue¹, Enrique Quinteros¹, Wilson Vega¹,
Tania Calle, Silvia Salgado y Esteban Suárez

¹Fondo para la Protección del Agua (FONAG), Quito, Ecuador

*Email: paola.fuentes@fonag.org.ec

Las turberas en los páramos y sus importantes características de regulación hídrica y almacenamiento de carbono, han sido alteradas históricamente por la construcción de drenajes con el fin de secarlos para establecer pastos. Este es el caso del humedal Puglllohuma (4115 msnm), ubicado a 70 km de la ciudad de Quito - Ecuador, en el Área de Conservación Hídrica Antisana. Es un aportante del río Antisana, captado por la Empresa de Agua Potable de Quito. Hasta el 2010 y por más de 100 años formó parte de una extensa hacienda y sirvió como zona de pastoreo de ovejas, vacas y caballos, época en la que se construyeron alrededor de 3680 metros de drenajes artificiales. En noviembre del 2017, después de un año de monitoreo de línea base, se realizó el bloqueo de estos drenajes mediante diques de madera para limitar la escorrentía y mitigar el desecamiento. Los efectos de esta restauración en la dinámica hídrica se miden cada 15 días mediante 18 piezómetros de 1 m. Utilizando un modelo de lineal simple, se calculó la constante de tiempo de recesión del nivel freático luego de períodos de precipitación. Además, cada dos años se toman muestras de suelo para evaluar sus propiedades hidrofísicas y se han

instalado 30 cuadrantes para evaluar cambios en la vegetación.

Al cabo de un año de la restauración, la fluctuación del nivel freático en los pozos cercanos a drenajes bloqueados se reduce en promedio en 4 cm, 21% y, las constantes de tiempo de la curva de recesión han aumentado. Esto es un indicio temprano que la capacidad de regulación del agua del humedal se está recuperando. Estos resultados prometedores demuestran que la restauración activa de humedales andinos drenados infiere su regulación hídrica.

Palabras clave: Turbera, nivel freático, restauración, Antisana

RESTAURACIÓN DE TURBERAS DE PÁRAMO DRENADAS Y SU MONITOREO

Paola Fuentes¹, Enrique Quinteros¹, Wilson Vega¹, Juliette Delerue¹, Tania Calle¹, Silvia Salgado¹, Esteban Suarez³, Bert De Bièvre¹



Introducción

Por su capacidad de acumular grandes cantidades de materia orgánica semidescompuesta, las turberas son almacenadores de carbono y reguladores hídricos. En páramos del sur del Ecuador, las cuencas con mayor área de humedales de turba tienen una mayor producción de agua y en época seca, éstos regulan los caudales (Mosquera et al., 2015).

Sin embargo, históricamente, las turberas en los páramos han sido drenadas para permitir la actividad ganadera, lo que conlleva capas freáticas más profundas y fluctuantes. Con el objetivo de recuperarlas, el bloqueo de zanjas se ha llevado a cabo con una variedad de métodos para reducir la velocidad de descarga del sistema y permitir que el agua permanezca en la turba durante más tiempo, aumentando así el nivel freático y tiempos de residencia. Varios estudios han reportado patrones de recuperación del nivel freático (Holden, 2017), aunque la magnitud de las respuestas ha variado entre los estudios, situados principalmente en turberas drenadas de zonas templadas. En turberas tropicales son escasas las experiencias de restauración y monitoreo del impacto de estas técnicas y mucho menos en zonas altoandinas.

Este estudio tiene como objetivo: i) examinar los efectos a corto plazo del bloqueo de drenajes artificiales en el nivel freático y regulación hídrica de la turbera Pugliohuma.

Metodología

El humedal Pugliohuma (4115 msnm) de 14 ha está ubicado en el Área de Conservación Hídrica Antisana, en la provincia de Napo- Ecuador y forma parte de la cuenca del río Antisana que proporciona agua a la ciudad de Quito. Hasta el 2010, el área formó parte de una extensa hacienda ganadera (pastoreo de aprox. 22.000 cabezas de ganado vacuno, equino y ovino). Para facilitar el pastoreo, se construyeron en el humedal Pugliohuma alrededor de 3680 metros de drenajes artificiales. En el 2010, el área fue adquirida por la Empresa de Agua de Quito y dedicada a la conservación, y en noviembre del 2017, se bloquearon los drenajes mediante diques de madera.

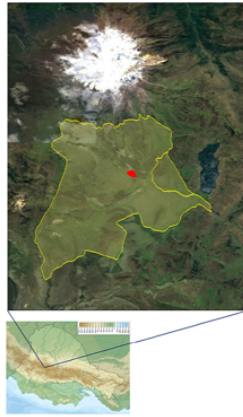
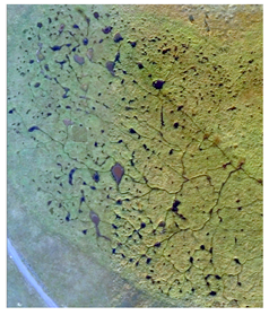


Fig. 1. Humedal Pugliohuma (en rojo) en el Área de Conservación del Agua Antisana (en amarillo), Napo, Ecuador.



Fig. 2. Drenajes artificiales



Nivel freático

Para evaluar la dinámica del nivel freático se instalaron 18 pozos de 1m de profundidad y 3" de diámetro, distribuidos en 4 transectos perpendiculares a los drenajes (Fig. 3b). Allí se mide el nivel freático cada 15 días. Adicionalmente, 2 pozos cuentan con sensores de nivel INW PT2X, que registran alturas automáticamente cada 5 minutos. Se cuenta con un año de línea base antes del bloqueo, y monitoreo desde entonces.

Para el análisis se han diferenciado los pozos ubicados cerca y distantes de drenajes y los pozos ubicados en áreas sin drenajes artificiales.

Hipótesis: el rango inter cuartil entre los niveles máximo y mínimo del nivel freático disminuye después del bloqueo. Eso reflejaría una mejor regulación del humedal, niveles sostenidos en época seca por el efecto del bloqueo de los drenajes.

Con los datos de sensores automáticos, se calcula la constante de tiempo de recesión del nivel freático en periodos secos consecutivos a eventos de lluvia, basado en el modelo del reservorio lineal (Buytaert, y otros 2004) (Fig. 3c). Se identificaron 6 eventos sin lluvia de más de 2 días que se presentaron en el año de línea base y 5 eventos en el primer año después del bloqueo. Se calculó una constante de tiempo para cada uno (Tabla 1).

Hipótesis: El tiempo de recesión del nivel freático aumenta después del bloqueo.

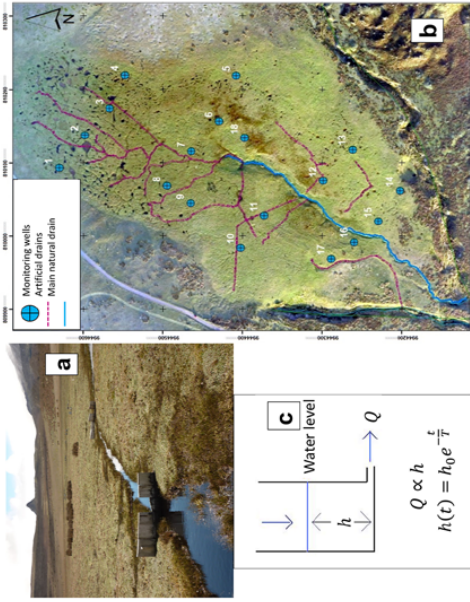


Fig. 3. (a) Restauración del humedal Pugliohuma con diques de madera (b) Red de pozos de monitoreo y (c) modelo de depósito lineal

Suelos y Vegetación

Se han tomado 15 muestras de suelo distribuidas en el humedal. Este análisis se repite cada 2 años. Hipótesis: Con el re-humedecimiento se espera una disminución de la compactación, densidad aparente y un aumento de la materia orgánica.

Se instalaron 6 transectos de monitoreo de vegetación perpendiculares a los drenajes distribuidos en las partes alta, media y baja. Se evalúan 5 cuadrantes en cada uno. El monitoreo se realiza cada 2 años. Se espera: 1) establecimiento rápido de una cubierta vegetal de turbera y 2) presencia, y eventualmente cobertura completa de los drenajes y pozos.

Resultados y discusión

El nivel freático en los pozos cerca de drenajes bloqueados es 8% mayor al de los pozos los distantes a bloques. Sin embargo, no alcanza aun el nivel de los pozos cercanos a zonas sin drenajes que posee un nivel promedio 10% mayor.

Después del bloqueo se reducen las fluctuaciones en el nivel del agua en los pozos cercanos a drenajes. El año evaluado luego de la restauración fue mucho más seco, esto se evidencia en el rango de los pozos distantes a diques donde no se ve la influencia del bloqueo que ya ayuda a sostener el nivel en época seca, al menos localmente. Aun en los pozos sin drenajes la influencia del clima es notoria (Figura 4C). El rango intercuartil del nivel freático en los pozos cercanos a drenajes bloqueados se reduce en promedio en 4 cm, 21%.

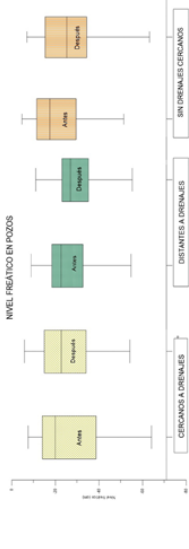


Figura 4. Diagrama de cajas de mediciones manuales antes y después del bloqueo A. Cercanos a drenajes B. Distantes a drenajes C. Sin drenajes cercanos

Eventos sin lluvia	T (días)	T̄ (días)
Antes del bloqueo		
21/01/2017 to 28/01/2017	20,8	
02/02/2017 to 14/02/2017	26,2	
01/03/2017 to 05/03/2017	22,9	
01/04/2017 to 06/04/2017	29,9	24,6
07/07/2017 to 10/07/2017	23,3	
19/07/2017 to 22/07/2017	24,4	
Después del bloqueo		
13/12/2017 to 25/12/2017	30,4	
6/3/2018 to 14/3/2018	25,7	
11/4/2018 to 15/4/2018	33,2	
11/7/2018 to 16/7/2018	36,5	33,8
1/7/2018 to 7/7/2018	41,2	

A pesar de la poca cantidad de eventos disponibles, se observa un aumento en el tiempo de recesión del nivel freático después de la restauración. Se seguirán analizando eventos en los años futuros para confirmar la tendencia.

Tabla 1. Constantes de tiempo de la curva de recesión para diferentes periodos secos después de la reposición por lluvia, antes y después de la restauración realizada.

Conclusiones

El humedal Pugliohuma presenta respuestas rápidas luego de su restauración, sin embargo, estos procesos son localizados. Para efectos a nivel del humedal es probable que se deban esperar varios años, debido a las condiciones climáticas frías y la lentitud de los procesos naturales en los páramos

Referencias

- Holden, J., Green, S.M., Baird, A.J. et al. (6 more authors) (2017) The impact of ditch blocking on the hydrological functioning of blanket peatland. *Hydrological Processes*, 31 (3), pp. 525-539. ISSN 0885-6087
- Mosquera, G. M., P. X. Lazo, R. Cellieri, B. P. Wilcox, and P. Crespo. (2015). Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena*, 125, 120–128. doi:10.1016/j.catena.2014.10.010.
- Buytaert, W., B. De Bièvre, G. Wyseure, and J. Deckers. "The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use." *Hydrology and Earth System Sciences*, 2004.



EXPERIENCIAS DE INSEGURIDAD HÍDRICA A ESCALA DE HOGARES EN COMUNIDAD CAMPESINA DE CHUSCHI (AYACUCHO, PERÚ)

Rossi Taboada Hermoza^{1*}, Fabiola Cárdenas Maldonado², Noemi Tomaylla Berrocal¹, Lisbeth Pariona Flores^{2,3}, Bram Willems¹, Chad Staddon⁴

¹Centro de Competencias del Agua (CCA), Lima, Perú

²Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

³Universidad San Cristobal de Huamanga, Ayacucho, Perú

⁴University of the West of England, Bristol, Reino Unido

*Email: r.taboadah@gmail.com

La escala de experiencias de inseguridad hídrica en hogares (HWISE, por sus siglas en inglés) es una herramienta que produce puntajes equivalentes en diversos entornos ecológicos para identificar dónde y cuándo ocurren experiencias de inseguridad hídrica, así como quién presenta esta condición y en qué medida (HWISE Research Coordination Newtork, 2019). Compuesta por 12 preguntas, la herramienta aborda las experiencias del encuestado o algún miembro del hogar relacionadas al acceso al agua, que pueden repercutir en la salud física y mental, y en el desarrollo de actividades productivas, sociales y culturales en las últimas 4 semanas antes de la encuesta.

La encuesta fue aplicada en julio del 2019 a 70 familias de la Comunidad Campesina de Chuschi que poseen una vivienda en el ámbito de la microcuenca del Chicllarazo (o zona sallqa), caracterizada por la presencia de bofedales. En dicho ámbito, que coincide con siete barrios de la comunidad, las familias desarrollan la ganadería como principal actividad económica y los hogares cuentan

con servicios básicos de agua potable, aunque poco saludable (sin cloración). Los resultados indican que las experiencias de inseguridad hídrica más frecuentes son la "preocupación" por no tener suficiente agua (90% de los encuestados experimentó esta situación alguna vez en las últimas cuatro semanas) y la "interrupción" o limitación de su principal fuente de agua (84%). Entre los resultados sobre la estimación a escala de localidad, tenemos que solo un barrio no presenta la condición de inseguridad hídrica: Yanaccocha. A escala comunal, el 64% de los hogares encuestados presentan inseguridad hídrica.

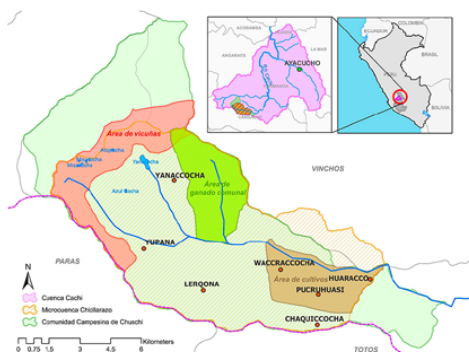
Esta presentación es parte de los resultados del componente 3 (socioeconómico y de presiones antropogénicas) del Proyecto Newton-Vínculos Institucionales "Fortalecimiento de las capacidades locales para el manejo sostenible de los humedales de cabeceras de cuencas Andinas frente al cambio global".

Palabras clave: Inseguridad hídrica, bofedales, comunidad campesina de Chuschi

Experiencias de inseguridad hídrica a escala de hogares en la Comunidad Campesina de Chuschi (Ayacucho, Perú)

Rossi Taboada Hermoza¹, Fabiola Cárdenas Maldonado², Noemí Tomaylla Berrocal¹, Lisbeth Pariona Flores^{2,3}, Bram Willems¹, Chad Staddon⁴

1. Centro de Competencias del Agua, 2. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 3. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, 4. Universidad del Oeste de Inglaterra



PRESENTACIÓN

Estimar la inseguridad hídrica a partir de la frecuencia de experiencias vinculadas a la falta de acceso o acceso inoportuno al agua, nos permite indicar el **impacto del recurso hídrico en diferentes aspectos de la vida de los individuos y familias**. Para ello, empleamos la **escala de experiencias de inseguridad hídrica en hogares (HWISE)**, un instrumento validado transculturalmente en más de 20 países. Su aplicación fue complementaria a la Encuesta de Presiones Antropogénicas en Cuencas Altoandinas (EPACA) en siete barrios de la Comunidad Campesina de Chuschi, donde las familias - predominantemente quechuahablantes- desarrollan la ganadería como principal actividad económica y los hogares cuentan con servicios básicos de agua potable, aunque poco saludable (sin cloración).

313
habitantes en el
Chichilazazo*

100%
cuenta con servicio de agua
potable en la vivienda*

91%
posee vivienda
secundaria

12 días
tiempo aproximado
en la vivienda secundaria

Fuente: DATAS, 2018

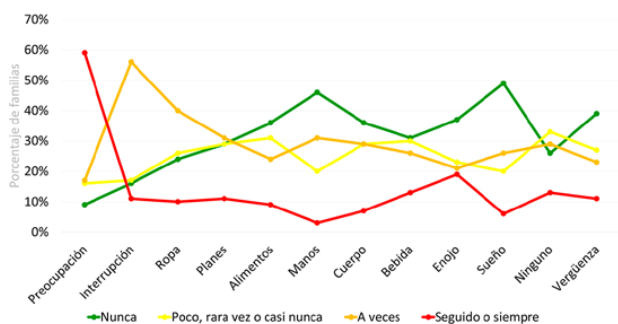
Fuente: EPACA-IH, 2019

METODOLOGÍA



RESULTADOS

EXPERIENCIAS DE INSEGURIDAD HÍDRICA MÁS FRECUENTES



91%
experimentó
PREOCUPACIÓN
de no tener suficiente
agua

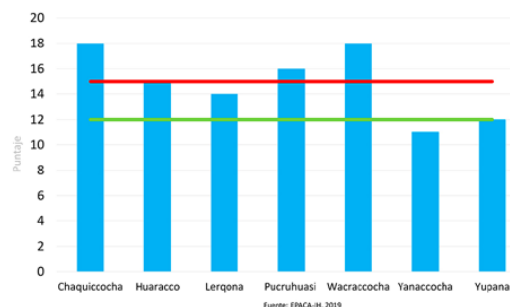
84%
experimentó la
INTERRUPCIÓN
o limitación de su principal
fuente de agua

63%
se sintió
ENOJADO
por su situación
respecto al agua

75%
NO TUVO AGUA
potable o saludable
en su hogar al menos
una vez

Fuente: EPACA-IH, 2019

LA INSEGURIDAD HÍDRICA EN CHUSCHI



A nivel comunal, el **64%** de los hogares encuestados **presentan inseguridad hídrica**. A nivel de localidades, **Pucruhuasi** presenta la **mayor cantidad de hogares con seguridad hídrica** (8 de 17), mientras que en **Huaracco** y **Wacracocha**, más del **70%** de sus hogares **presentan inseguridad hídrica**.

CONCLUSIONES

- La **doble residencia** es un **aspecto a considerar** en los instrumentos complementarios a la HWISE.
- Las **experiencias de inseguridad hídrica** más frecuentes son aquellas relacionadas con sentimientos (**preocupación**) y las que implican la disponibilidad de agua (**interrupción de la fuente**). Sobre este último ítem, podemos señalar que la cobertura del servicio de agua potable no alivia completamente las experiencias de inseguridad hídrica en Chuschi.
- Las **localidades** donde las experiencias de inseguridad hídrica son más frecuentes son **Wacracocha** y **Chaquiccocha**. La **única localidad** que presenta **seguridad hídrica** es **Yanacocha**, donde se ubica la laguna más grande de la comunidad.

Instituciones ejecutoras:



Con el apoyo económico de:





ENSAYO DE GERMINACIÓN DE OREOCALLIS GRANDIFLORA, ESPECIE DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA EN LOS ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Sandra Jackeline Arroyo Alfaro^{1*}, Herbert Valverde Balabarca¹, Melissa Catherine Aranda Depaz¹, Abel Luis Flores Milla¹, Beatriz Fuentealba Durand¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: sarroyo@inaigem.gob.pe

Los ecosistemas andinos son áreas de gran riqueza de flora y fauna, en donde ocurren diversos procesos de diseminación, germinación y establecimiento de especies. En ciertas zonas degradadas se puede observar agrupaciones de *Oreocallis grandiflora* "chakpa" característica de bosques montanos, matorrales andinos y páramos en la Cordillera de los Andes. Se establece en sucesiones secundarias creciendo como árbol o arbusto que presenta flores y frutos todo el año proveyendo de recursos energéticos a especies de aves y roedores; así mismo contribuye a la conservación y restauración de ecosistemas por sus interacciones de polinización. Sus usos más difundidos son el de leña y para la confección de canastas. Algunos autores señalan que crece asociado con micorrizas del suelo y que la semilla requiere ser previamente remojada en agua. Por su importancia ecológica este estudio busca identificar los sustratos requeridos y conocer la influencia del tratamiento pre-germinativo para su germinación. La recolección de semillas de *Oreocallis* y suelo con micorrizas se efectuó en el sector Tayacoto de la Comunidad Campesina Cahuide - UH Quillcay; el diseño experimental se instaló en el invernadero

del Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña (CICTEM) ubicado en el distrito de Catac - Recuay, empleando 220 semillas de 0.02, 0.03 y 0.04 g distribuidas en cuatro tratamientos por tipo de sustrato (suelo agrícola y suelo con micorrizas), y tratamiento pre-germinativo (remojo de semillas en agua por 48 horas y sin remojo). La germinación inició a los 24 días de siembra, y después de 42 días se obtuvo mayor porcentaje de germinación en el sustrato con suelo agrícola (sin micorrizas) y semillas previamente remojadas, seguido por el sustrato con micorrizas y sin remojo, siendo mayor en las semillas de 0.03 g. Lo que nos sugiere que para obtener mayor porcentaje de germinación se puede emplear semillas de 0.03 g y que el suelo con micorrizas favorece la germinación, no siendo necesario el tratamiento pre-germinativo.

Palabras clave: Germinación, micorrizas, *Oreocallis grandiflora*

Ensayo de germinación de *Oreocallis grandiflora*, especie de importancia ecológica en los ecosistemas de montaña

Sandra Arroyo⁽¹⁾, Herbert Valverde Balabarca⁽¹⁾, Melissa Aranda Depaz⁽¹⁾, Abel Flores Milla⁽¹⁾, Beatriz Fuentealba Durand⁽¹⁾

⁽¹⁾Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz, Perú.
E-mail: sarroyo@inaigem.gob.pe



INTRODUCCIÓN

La especie *Oreocallis grandiflora*, conocida comúnmente como "chakpá", es característica de bosques montanos, matorrales andinos y páramos en la Cordillera de los Andes. Se le encuentra creciendo en grupo en zonas de sucesión secundaria, creciendo como árbol o arbusto, y presenta flores y frutos durante todo el año, lo que provee de alimento a especies de aves y roedores; además de contribuir a la conservación de diversos polinizadores. El "chakpá" ha sido usado como fuente de leña y para la confección de canastas, lo que ha reducido en gran medida sus poblaciones naturales. Debido a su importancia ecológica, este estudio busca comparar el efecto de tratamientos pre-germinativos y sustratos en el proceso de germinación y establecimiento.

METODOLOGÍA

Usando como base las recomendaciones de Reynel *et al.*, (2008) y Reynel y Marcelo (2009) se ha probado el efecto del remojo pre-germinativo de 48 horas, en la germinación; mientras que para su establecimiento, se está comparando tierra agrícola (SA) con la tierra de alrededor de las plantas adultas (SO), ya que se cree que requiere de la presencia de micorrizas. Finalmente, se ha incluido el peso de la semilla como co-variable.

Se recolectaron semillas y suelo de alrededores de árboles de *O. grandiflora* en el sector Tayacoto, Huaraz, Ancash. Se seleccionaron 220 semillas, clasificándolas por pesos (0.02, 0.03 y 0.04 g). La siembra se realizó en bandejas de polietileno el 28 de agosto del 2019, en un invernadero en Cátac (3900 ms.n.m) y las bandejas se cubrieron con malla rashell, con riego diario.

Las semillas se distribuyeron en cuatro tratamientos (Figura 1).

Figura 1. Tratamientos del ensayo de germinación de *Oreocallis grandiflora*



SA-R: 02 Suelo agrícola, 01 arena, 01 Humus, remojo 48 horas.

SO-R: 02 Suelo de alrededores de plantas de *O. grandiflora*, 01 arena, 01 Humus, remojo 48 horas.

SA: 02 Suelo agrícola, 01 arena, 01 Humus, sin remojo.

SO: 02 Suelo de alrededores de plantas de *O. grandiflora*, 01 arena, 01 Humus, sin remojo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La germinación de las semillas de *Oreocallis grandiflora* inició a los 24 días de siembra, y se evaluó hasta el día 73. No se encontraron diferencias entre tratamientos, excepto en el sustrato con suelo agrícola y sin tratamiento pre-germinativo (SA) que tuvo una germinación más lenta, pero con porcentajes de germinación similares al final del experimento (Figura 2). Esto puede relacionarse con la menor capacidad del suelo agrícola (SA) de retener humedad, lo que habría sido compensado por el tratamiento pregerminativo en SA-R.

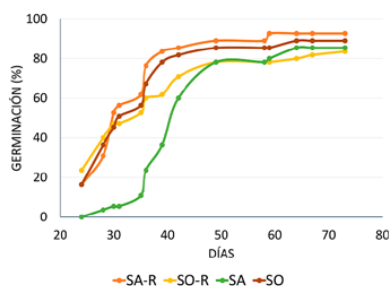


Figura 2. Porcentaje de germinación por días en los tratamientos.

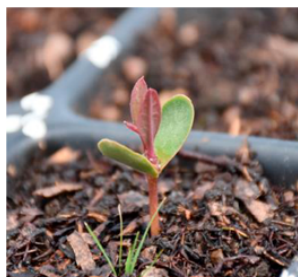


Figura 3. Plántula de *O. grandiflora*, con sus cotilédones

El peso de las semillas no se relacionó con la capacidad de germinación (Figura 4), obteniendo porcentajes superiores al 80% en casi todos los casos. Esto nos indicaría que nuestra selección de semillas de al menos 0.02g de peso ha sido un factor importante para la selección de semillas viables. Esto habría que confirmarlo con un estudio más detallado de los pesos de las semillas y estudios de viabilidad.

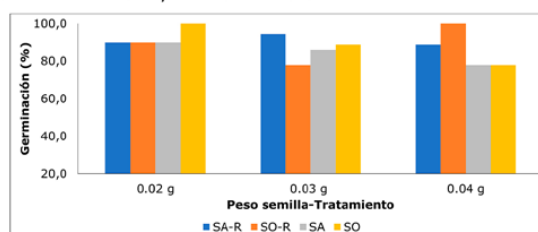


Figura 4. Porcentaje de germinación de *O. grandiflora* por peso de semillas en los tratamientos (a los 73 días de siembra)

Sobre el crecimiento de las plántulas, un análisis preliminar de los datos nos muestra que las plántulas germinadas en suelo recogido de la zona en que crece el "chakpá", tienen una mayor tasa de crecimiento que aquellas que crecen en suelo agrícola (Figura 5).

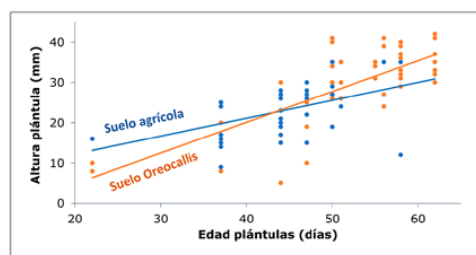


Figura 5. Altura de las plántulas de *O. grandiflora* según edad y sustrato.

CONCLUSIONES

1. La germinación inició a los 24 días de siembra, siendo más lento en el tratamiento SA, pero con una germinación total similar.
2. El tratamiento pre-germinativo puede ser importante para los sustratos que no retengan suficiente humedad.
3. El suelo de *O. grandiflora*, favorece una germinación más rápida y mayor tasa de crecimiento.
4. Todas las semillas con pesos de al menos 0.02g alcanzaron al menos 80% de germinación.

REFERENCIAS

- Reynel, C., Pennington, T. D., Pennington, R. T., Marcelo, J. y Daza, A. (2008). Árboles útiles del Ande peruano: Una guía de identificación, ecología y propagación de las especies de la sierra y los bosques montanos del Perú. Lima, Imprenta Tarea gráfica educativa, 466 pp.
- Reynel, C. y Marcelo, J. (2009). Árboles de los ecosistemas forestales andinos (Manual de identificación de especies). Serie Investigación y sistematización N°9. Programa regional ECOBONA INTERCOOPERATION. Lima



ESPECIES DE PASTOS NATIVOS DESEABLES PARA EL GANADO Y POTENCIALMENTE TOLERANTES A HELADAS

Herbert Flavio Valverde Balabarca^{1*}, Sandra Jackeline Arroyo Alfaro¹, Luis Armas Flores¹, Abel Flores Milla¹, Beatriz Fuentealba Durand¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: hvalverde@inaigem.gob.pe

Los pastizales altoandinos soportan eventos climáticos extremos como heladas y sequías, y mayormente se encuentran bajo un régimen de pastoreo comunal y nivel familiar de las comunidades campesinas, prácticas que van de generación en generación. El propósito del estudio es identificar a través del conocimiento de los pastores las especies deseables para el ganado y tolerantes a las heladas y evaluar la tolerancia a las heladas. Para lo cual se realizaron encuestas a pastores de la comunidad de Catac, en los sectores Churana, Yanahuanca, Pachacoto y quebrada Querococha, en donde se reconocieron once especies deseables para el ganado y resistentes a las heladas, de las cuales se seleccionaron por grado de resistencia tres especies: *Festuca loricata* "cachi o ichu", *Calamagrostis macrophylla* "jallka ocsha" y *Calamagrostis vicunarum* "pajonal". Para evaluar su resistencia a heladas se seleccionaron 15 plantas de las tres especies, en tres lugares: 1) CICTEM (área de pastizal, terreno plano y con alta probabilidad de helada), 2) PINOS-CICTEM (área con pinos y con probabilidad de heladas) y 3) quebrada Chacra (ubicada en ladera y con baja probabilidad de heladas). Evaluándose de

mayo a julio del 2019: altura de planta verde y daño por helada, cobertura de copa, porcentaje de cobertura verde y biomasa. *Festuca loricata* presentó menor daño en las hojas en los tres lugares (de 11-16%), mientras que en *Calamagrostis macrophylla* fue de 15-28%. En los terrenos planos y poca pendiente se muestra mayor porcentaje de daño por helada que en el área con pendiente; sin embargo, el rendimiento de biomasa (masa fresca) es mayor en terrenos planos. Estos resultados nos muestran que las familias ganaderas de la Comunidad Campesina de Catac conocen en forma empírica las variedades de especies nativas de pastos deseables y tolerantes a las heladas siendo importante revalorar sus conocimientos para el aprovechamiento de estas especies.

Palabras clave: Pastos nativos, tolerancia, heladas

ESPECIES DE PASTOS NATIVOS DESEABLES PARA EL GANADO Y POTENCIALMENTE TOLERANTES A HELADAS

Valverde Balabarca Herbert¹, Arroyo Sandra¹, Armas Luis¹, Flores Milla Abel¹, Fuentealba Durand Beatriz¹
¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

INTRODUCCIÓN

En el Perú los pastizales representan el 57% de la superficie no agrícola, con 18' 018 795 ha, y constituyen la principal fuente alimenticia de la ganadería extensiva, donde se concentran en más de 80% la población ganadera del país (CENAGRO, 2012). El proceso de cambio climático global ha generado que las sequías, heladas y granizadas se presenten con mayor frecuencia, lo que acelera procesos de degradación en los pastizales naturales. Se sabe que las especies de pastos nativos tienen distintos niveles de tolerancia ante estos fenómenos climáticos, por lo que identificar aquellas especies con mayor tolerancia nos permitiría, por ejemplo, reducir los impactos de las heladas en pastizales naturales. Bajo este contexto el objetivo del estudio fue identificar, usando como base el conocimiento de los pastores, especies de pastos nativos deseables para el ganado y con tolerancia a las heladas.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña – CICTEM – INAIGEM, ubicado en el distrito de Catac, provincia Recuay, departamento de Ancash – Perú. Coordenadas UTM: Este 236582 - Norte 8906375, y 3800 m.s.n.m.

Se realizaron 19 entrevistas semiestructuradas a pastores de la comunidad campesina de Catac, que reconocieron once especies como deseables y tolerantes a heladas. De estas se seleccionaron tres especies para una fase de evaluación en campo: *Festuca loricata* "cachi o ichu", *Calamagrostis macrophylla* "jalka ocsha" y *Calamagrostis vicunarum* "crespillo". Para la evaluación de la tolerancia a heladas se seleccionaron 15 plantas de cada especie, en tres sitios: sitio 1 (área de pastizal, terreno plano y con alta probabilidad de helada), sitio 2 (área con pinos y con probabilidad media de heladas) y sitio 3 (ubicada en ladera y con baja probabilidad de heladas). De mayo a julio del 2019 se evaluó la altura de planta verde, como indicador de vigor; y el tamaño de hoja dañado por helada, como un indicador de tejido dañado. *Calamagrostis vicunarum* no se incluye en este trabajo ya que se siguió una evaluación diferente por ser una especie anual (se seca durante la época seca).

RESULTADOS

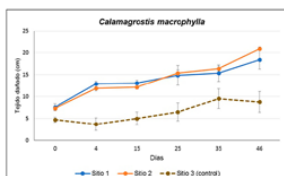


Figura 1. Comparación de tejido dañado por helada de *Calamagrostis macrophylla* en los tres sitios de evaluación.

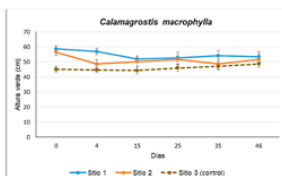


Figura 2. Comparación de hoja verde de *Calamagrostis macrophylla* en los tres sitios de evaluación.

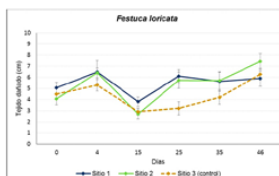


Figura 3. Comparación de tejido dañado por helada de *Festuca loricata* en los tres sitios de evaluación.

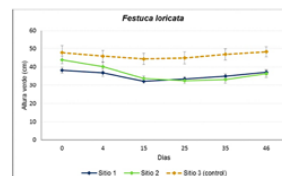


Figura 4. Comparación de hoja verde de *Festuca loricata* en los tres sitios de evaluación.

En promedio, la altura verde de las plantas no difiere entre sitios ($p>0.05$), pero sí entre especies: *Calamagrostis macrophylla* (50.54 cm) y *Festuca loricata* (39.53 cm). Mientras que el tamaño de la hoja dañado por helada es menor en sitio 3 (nuestro control) en comparación con los otros dos sitios (5.38 cm, versus 9.59 cm en el sitio 1 y 9.67 cm en sitio 2).

Las especies han mostrado respuestas diferentes a la presencia de heladas: en *Calamagrostis macrophylla*, el tamaño del tejido dañado se incrementa en el tiempo, siendo significativamente mayor en el sitio 1 y sitio 2 en comparación con el sitio 3 (control), pero sin diferencias entre sitios en la altura verde de las plantas. Mientras que en *Festuca loricata*, no se encuentran diferencias en el tamaño del tejido dañado por heladas entre sitios, pero sí en la altura verde de las plantas.

Esto nos indicaría dos estrategias de tolerancia diferentes ante las heladas. En el caso de *Calamagrostis macrophylla*, que tiene una mayor altura de planta, las hojas quedarían más expuestas y sus tejidos verdes son afectados por las heladas en mayor medida que *Festuca loricata*, pero sin afectar el desarrollo general de la planta (altura verde). Mientras que el crecimiento de *Festuca loricata* (altura verde) se ve limitado en los sitios en que se presentan las heladas, pero sin afectar los tejidos de las hojas.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que *Festuca loricata* presentó menor altura verde en los sitios expuestos a heladas, en comparación con el control, pero sin diferencias en el daño en las hojas. Mientras que, en *Calamagrostis macrophylla* el daño en las hojas fue mayor en los sitios expuestos a heladas, pero sin afectar la altura verde de la planta. Estos resultados nos muestran que las familias ganaderas de la comunidad campesina de Catac, conocen en forma empírica las variedades de especies nativas de pastos deseables y tolerantes a las heladas, y que se requiere mayores investigaciones para entender las estrategias de tolerancia de estas especies nativas.

REFERENCIAS

- FLORES A y MALPARTIDA, E. 1987. *Manejo de Praderas Nativas y Pasturas en la Región Altoandina del Perú*. Tomo I y II. Fondo del Libro del Banco Agrario. Lima-Perú.
ZEGARRA, R. 2010. *Evaluación Participativa de Praderas Nativas*. Lima – Perú, Ministerio de agricultura, Primera Edición. 68 pp.





MONITOREO ECOHIDROLÓGICO DE LA RECUPERACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE UNA MICROCUENCA EN RONTOCOCHA (ABANCAY, APURÍMAC)

Jan R. Baiker^{1,2,3*}

¹Programa Bosques Andinos (HSI & CONDESAN; COSUDE), Perú

²Asociación para la Conservación y Estudio de Montañas Andinas-Amazónicas (ACEMAA), Cusco, Perú

³EClim Research Group, University of Zurich, Suiza

*Email: apurimacperu@gmail.com

Últimamente, las cabeceras de cuenca han recibido mayor atención, a través de proyectos de inversión en la siembra y cosecha de agua, lo que incluye tanto la infraestructura gris (pequeñas y grandes represas), como también la infraestructura semi-natural (p. ej., q'ochas), proyectos de reforestación y para la recuperación de pajonales/pastizales y de bofedales. Los últimos proveen un conjunto importante de servicios ecosistémicos (SE), como, por ejemplo, el almacenamiento y la regulación del agua, secuestro de carbono, etc.

Aparte de los impactos antrópicos directos (pastoreo, construcción de carreteras y represas, etc.), los bofedales y sus SE se encuentran impactados por el cambio climático - causando temperaturas más altas y cambios en el régimen de precipitaciones.

Bajo estas tendencias y en el contexto de la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRESE) para la ciudad de Abancay (Apurímac), se instaló a partir del 2016 un sistema de monitoreo ecohidrológico - SMEH - (mediciones de parámetros hidrológicos, ecológicos/botánicos claves) en seis bofedales en el área de Rontoccocha, donde se aplica la metodología de micro cuencas pares: una

intervenida con acciones de recuperación de los ecosistemas, otra no-intervenida y que sigue siendo impactada por actividades antrópicas.

El análisis preliminar de los datos registrados hasta la fecha muestra que en el transcurso de un año de mediciones mensuales en un total de 18 tubos de observación (tres en cada bofedal), las napas freáticas en los tres bofedales en la microcuenca intervenida bajaban más que en los tres bofedales en la microcuenca no-intervenida, llegando a profundidades máximas de casi 90 cm debajo de la superficie del suelo.

En el póster se interrelacionará estos datos con las tendencias que muestran los demás parámetros monitoreados y que actualmente están siendo analizados, logrando así una primera evaluación de la efectividad de las acciones ejecutadas en la microcuenca intervenida.

Palabras clave: Bofedales, sistema de monitoreo ecohidrológico, Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA), mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos (MRESE), recuperación de ecosistemas altoandinos, Rontoccocha, cuenca del río Mariño

Monitoreo ecohidrológico de la recuperación de servicios ecosistémicos de una microcuenca en Rontococha (Abancay, Apurímac)

Jan R. Baiker^{1,2,3} (email: apurimacperu@gmail.com)

¹ Consultor del Programa Bosques Andinos (HELVETAS Swiss Intercooperation y CONDESAN), ² University of Zurich, Department of Geography, Research Group on Environment and Climate (E^{clim}, <http://eclim-research.ch/>), Zurich, Switzerland, ³ Asociación para la Conservación y Estudio de Montañas Andinas-Amazónicas (ACEMAA), Cusco, Perú.

INTRODUCCIÓN

Últimamente, las cabeceras de cuenca han recibido mayor atención, a través de proyectos de inversión en la siembra y cosecha de agua, lo que incluye tanto la infraestructura gris (pequeñas y grandes represas), como también la infraestructura semi-natural (p. ej. *q'ochas*/microrepresas rústicas), proyectos de reforestación y para la recuperación de pajonales/pastizales y de bofedales. Los últimos proveen un conjunto importante de servicios ecosistémicos (SE), como p. ej. el almacenamiento y la regulación del agua, secuestro de carbono, etc.

Aparte de los impactos antrópicos directos (pastoreo, construcción de carreteras y represas, etc.), los bofedales y sus SE se encuentran impactados por el cambio climático - causando temperaturas más altas y cambios en el régimen de precipitaciones. Bajo estas tendencias y en el contexto de la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRESE) para la ciudad de Abancay (Apurímac), se instaló a partir del 2015 un sistema de monitoreo ecohidrológico (mediciones de parámetros hidrológicos, ecológicos/botánicos claves) en 06 bofedales en el área de Rontococha, donde se aplica la metodología de micro cuencas pares: una intervenida con acciones de recuperación de los ecosistemas, otra no-interventada y que sigue siendo impactada por actividades antrópicas. Desde la segunda mitad del año 2017 se han ejecutado diferentes actividades de recuperación en la microcuenca intervenida (ver polígono rojo en el Mapa 2): Creación de 06 *q'ochas*, reforestación con *q'uña* (*Polylepis* spp.), resiembra de pastizales nativos, cercos para evitar la entrada del ganado.

Con el monitoreo ecohidrológico se pretende evaluar el proceso de recuperación de los ecosistemas intervenidos, tanto en cuanto al tiempo necesario (¿Cuánto tiempo demora desde la implementación de actividades de recuperación en los ecosistemas hasta el momento de poder observar los primeros resultados positivos?), como también respecto a los tipos de intervenciones (en las cabeceras de cuencas) más eficaces para la futura seguridad hídrica.

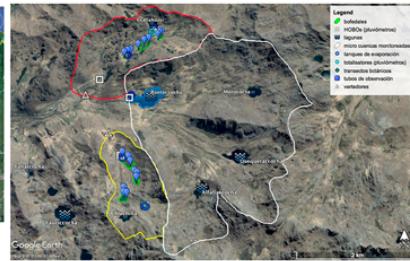
METODOLOGÍAS APLICADAS

El monitoreo ecohidrológico en Rontococha-Morrococha consiste en la medición continua (cada 5 min) o frecuente (cada 2-4 semanas) de parámetros hidrológicos, climatológicos/meteorológicos claves (precipitación líquida y sólida, humedad de suelo, temperatura del aire y del suelo, evaporación, nivel freático y caudales). Aparte se evalúa (con menor frecuencia) también parámetros botánicos/ecológicos (número de especies por plot botánico, grado de cobertura de cada especie botánica, biomasa, pH y nitrógeno en el suelo, presencia de ganado vacuno, etc. Sin embargo, para el presente póster se enfoca únicamente en dos de los parámetros mencionados líneas arriba: a) caudales y b) napas freáticas.

El sitio de estudio, llamado Rontococha-Morrococha (en terreno de las comunidades de Atumpata y Micaela Bastidas) se encuentra en la parte alta (cabecera) de la microcuenca del río Mariño, en la provincia de Abancay, en el departamento de Apurímac. El enfoque del monitoreo ecohidrológico está en dos pequeños valles o microcuencas que se ubican a ambos lados de la principal represa de Rontococha. Ambas microcuencas están equipadas con sensores e instrumentos para la medición/evaluación de los parámetros monitoreados (ver Mapa 02). En la parte más baja (salida) de ambas microcuencas se cuentan con vertedores (ver Fotos 1+2) que miden continuamente (cada 5 min) los caudales; además, en ambas microcuencas se encuentran tres bofedales - que están hidrológicamente interconectados - en los cuales se monitorea en tres puntos el nivel de la napa freática.



Mapa 1: Ubicación de Abancay y de la microcuenca del río Mariño. Fuente imagen del fondo: Google Earth.



Mapa 2: El área de Rontococha-Morrococha con las dos microcuencas pares: intervenida (polígono rojo, 2.4 km²) y testigo (polígono amarillo, 1.56 km²), con las respectivas instalaciones para las mediciones. Fuente imagen del fondo: Google Earth.



Fotos 1, 2 y 3 (de la izquierda a la derecha): Vertedores de las microcuencas intervenida y testigo (fotos de fines de la época de lluvia, febrero y marzo 2018), y uno de 18 tubos de observación instalados en los 06 bofedales. Fotos: Jan R. Baiker.

RESULTADOS PRELIMINARES



Figura 1: Desarrollo de los caudales principales (entre diciembre 2015 y marzo 2019, y abril 2017 y enero 2019 respectivamente, con registros cada 5 min) que salen de las microcuencas monitoreadas: arriba (microcuenca intervenida, polígono rojo en el Mapa 02), debajo (microcuenca testigo, polígono amarillo en el Mapa 02). Fuente: Baiker, sin publicar.

Profundidad de la(s) napa(s) freática(s) y su variación en el transcurso de 1 año

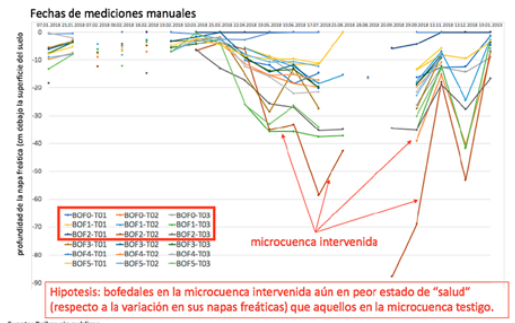


Figura 2: Variación de las profundidades en las cuales se han encontrado, entre enero 2018 y enero 2019, las napas freáticas en los 06 bofedales en estudio en el área de Rontococha. Se observa que en los bofedales de la microcuenca intervenida (en cuya se había ejecutado trabajos de restauración de los ecosistemas; pero aún no en los bofedales) las napas freáticas cayeron a mayores profundidades. Fuente: Baiker, sin publicar.

RESULTADOS PRELIMINARES Y RESPECTIVAS INTERPRETACIONES

- Los registros de los **caudales principales** en los dos vertedores (uno por cada microcuenca monitoreada) aún no muestran padrones/tendencias muy claras. El hipótesis es/era que en la microcuenca intervenida se iba a aumentar el flujo hídrico base (*baseflow*), como consecuencia de la mayor infiltración del agua (a través de las nuevas *q'ochas*) y de la mayor retención del agua en los pastizales resembrados. Sin embargo, al parecer, se necesita esperar más tiempo (probablemente 01-02 años más) para ver estos efectos. Además, es importante contrastar los datos de los caudales con los datos de la precipitación local (en cada microcuenca monitoreada se tiene un pluviómetro en la parte baja y en la parte alta). Aún falta analizar en detalle los datos de la precipitación local.
- Los registros de las **napas freáticas** entre enero 2018 y enero 2019 en los 06 bofedales (03 en cada microcuenca) muestran una tendencia de mayor variación/perdida de agua subterránea (en forma de las napas freáticas) en la microcuenca intervenida, comparada con la microcuenca testigo. El hipótesis es/era que las napas freáticas en la microcuenca intervenida iban a ser más estables (gracias a las intervenciones de recuperación en este microcuenca). Sin embargo, en este caso también podría ser que aún no se puede observar los efectos positivos y que habrá que esperar 01-02 años más para poder registrar el respectivo cambio. También es importante mencionar que en la microcuenca intervenida existen dos principales caudales que después se juntan en la parte baja, antes de pasar por el vertedor. Por lo tanto, podría ser que una parte considerable del aumento de agua infiltrante (a través de las nuevas *q'ochas*) baja por la otra quebrada, que no pasa por los bofedales monitoreados. Para poder evaluar esta hipótesis será necesario ejecutar un estudio con trazadores y/o poner un especial enfoque en la hidrogeología de ambas microcuencas.

AGRADECIMIENTOS (Asistentes de campo) Cristhian Alvarez, Juler Arias, Eliana Bravo, Diana Cáceres, Silvia Cuaquiri, Flor de Maria Huanca, Jose Luis Huarco, Naysha Karí, Miguel Molina, Gunther Peña, Nicky Perez, Ruderson Rivera, Jhon Quispe, Yudith Zevallos. (Técnicos de CEDES) Benjamin Gutierrez, Herwin Huanacari, Conan Karí, Mario Prada.

FINANCIAMIENTO PRINCIPAL



APOYO ADICIONAL





CAMBIO DE USO DEL SUELO: COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL Y ECOSISTEMA PAJONAL

[título modificado: ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO Y UN PAJONAL ANDINO]

Helder Mallqui^{1*}, Sandra Arroyo¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: hmallqui@inaigem.gob.pe

En los últimos años las zonas ocupadas por el ecosistema pajonal han sido reemplazadas fundamentalmente por cultivos, pastos mejorados y forestación. Por otro lado, no se ha avanzado mucho en el conocimiento real de las alteraciones o beneficios que pudiera producir el cambio del uso del suelo en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos.

En este sentido, el entendimiento de las relaciones entre la cobertura vegetal, así como también su estado, y las propiedades físicas del suelo, es fundamental para comprender las interacciones que dan pie a la utilización, provisión y calidad del agua de los ecosistemas de montaña. Es así, que la investigación desarrollada plantea el objetivo de comparar las variaciones estacionales del contenido de agua del suelo, así como su dinámica, entre una plantación forestal y en un ecosistema pajonal.

Desde mayo del 2018, se ha estado monitoreando el almacenamiento de agua en el suelo en una parcela de pinos y una de pajonal natural en la subcuenca Quillcay-Huaraz-Ancash, mediante datos registrados por tres microestaciones. Las variables

medidas han sido la temperatura ambiental, humedad volumétrica del suelo a distintas profundidades y precipitación. Los registros se han llevado a cabo a intervalo horario durante periodos de lluvia y estiaje.

En las parcelas de investigación las condiciones de cobertura vegetal no han presentado diferencias significativas que han sido de 48.8% y 53%, así como se han observado condiciones de suelo relativamente homogéneas en los distintos estratos evaluados.

En términos generales, en el periodo de evaluación ha llovido 1018 mm en la zona de estudio, siendo los volúmenes retenidos en el suelo en la parcela de pino 769 m³/ha mientras que en el pajonal 2196 m³/ha. Los resultados obtenidos constituyen una aproximación inicial al entendimiento de los procesos de regulación hídrica que se dan a nivel de ecosistemas y como insumo importante para generar instrumentos con base científica para la toma de decisiones.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo, regulación hídrica, humedad volumétrica, cobertura del suelo

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO EN UNA PLANTACIÓN DE PINO Y UN PAJONAL ANDINO



HELDER MALLQUI⁽¹⁾, SANDRA ARROYO⁽¹⁾
⁽¹⁾ Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – Huaraz – Perú e-mail: hmallqui@inaigem.gob.pe

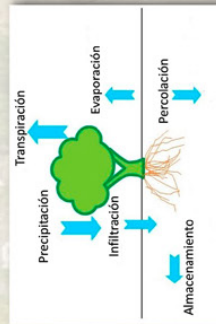
INTRODUCCIÓN

En los últimos años las zonas ocupadas por el ecosistema pajonal han sido reemplazadas fundamentalmente por cultivos, pastos mejorados y forestación. Por otro lado, no se ha avanzado mucho en el conocimiento real de las alteraciones o beneficios que pudiera producir el cambio del uso del suelo en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos.

En este sentido, esta investigación plantea como objetivo comparar las variaciones estacionales del almacenamiento de agua en el suelo, así como su dinámica, entre una plantación forestal (*Pinus sp.*) y un pajonal. Objetivo que permite el acercamiento al entendimiento de las complejas interacciones entre la cobertura vegetal, el clima, y las propiedades físicas del suelo, que dan pie finalmente a una respuesta en las funciones ecosistémicas que desarrollan, especialmente la de provisión y regulación hídrica.

METODOLOGÍA

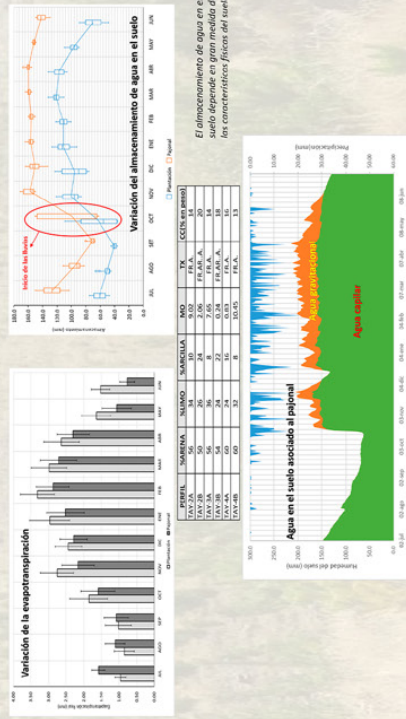
La metodología ha consistido en medir de manera directa los componentes del balance hídrico mediante la instalación de microestaciones WatchDog 1000 en las dos áreas de estudio. Las variables medidas de manera directa han sido la precipitación, temperatura y humedad volumétrica del suelo hasta 0.8 m de profundidad. Esta última variable se ha medido con sondas de capacitancia SM 100 Spectrum instaladas a tres profundidades. Así también, se ha estimado de manera indirecta la evapotranspiración potencial diaria empleando datos meteorológicos con la ecuación de Hargreaves, complementando todo esto con la caracterización de la vegetación y suelos del área de estudio.



RESULTADOS

Las precipitaciones del período de estudio comprendido entre el 01-julio-2018 a 30-junio-2019 fueron de 930 mm, de los cuales el 72% en el Pajonal y 81% en la plantación se reintegraron a la atmósfera por evapotranspiración. El agua gravitacional susceptible de producir percolación sólo se presentó en los suelos asociados al pajonal desde la cuarta semana de octubre a inicios de junio con un máximo de 49 mm.

Por otro lado, las reservas de agua del suelo en la plantación pino fueron en promedio de 86.40 mm alcanzando un máximo de 121.68 mm en marzo y un mínimo de 40.21 mm en setiembre. En el pajonal fueron en promedio de 135.34 mm alcanzando un máximo de 159.72 mm en abril y un mínimo de 70.96 mm en setiembre.



CONCLUSIONES

La variación temporal de los componentes del balance hídrico de la plantación y el pajonal se debe fundamentalmente a la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, a la variación de la temperatura, a las características de la cobertura vegetal y a la morfología y profundidad del sistema radicular, así como, a las características físicas del suelo. Se puede concluir que el reemplazo de un pajonal por una cubierta distinta puede producir cambios importantes en los aportes de agua que llegarán al suelo mineral, en el contenido de agua del suelo y en la cantidad de agua involucrada en la evapotranspiración y percolación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLINAS, MÓNICA, ESPERÓN-RODRÍGUEZ, MANUEL, & BARRADAS, VÍCTOR L. ECHIVERRIA, CRISTIAN, HUBER, ANTON, & TABERLET, FLORENT. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Boque (Valdivia)*, 28(3), 271-280. <https://doi.org/10.4067/S0717-920207000300013>

BALLINAS, MÓNICA, ESPERÓN-RODRÍGUEZ, MANUEL, & BARRADAS, VÍCTOR L. ECHIVERRIA, CRISTIAN, HUBER, ANTON, & TABERLET, FLORENT. (2015). Estimating evapotranspiration in the central mountain region of Virencruz, Mexico. *Boque (Valdivia)*, 38(3), 445-455. <https://doi.org/10.4067/S0717-920215000300011>



COMPORTAMIENTO DEL BOSQUE DE POLYLEPIS EN EL ECOSISTEMA DE CAJATAMBO (LIMA) ENTRE 1987-2014

Lissel Arnao Sayán^{1*}, Zulema Quinteros Carlos¹, Edgar Sánchez Infantas¹,
Pablo Ramos Quiroz¹

¹Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú

*Email: lissel.mas@gmail.com

En el distrito altoandino de Cajatambo (Lima-Perú), compuesto por dos microcuencas (Cuchichaca y Pumarinri) ubicadas entre los 3650-5600 msnm al sur de la Cordillera Huayhuash, están presentes bosques relictos de *Polylepis* los cuales conforman un ecosistema importante debido a que albergan una fauna y flora única, caracterizada por especialistas de hábitat y altos niveles de endemismo. Por lo general dichos ecosistemas se encuentran expuestos a una fuerte presión antrópica (tala para leña y construcción), ya que constituyen una de las pocas fuentes de recurso maderable en alta montaña. Además, es desconocido el efecto que puede tener un aumento de la temperatura global producto del cambio climático sobre este ecosistema.

La investigación consistió en realizar un análisis multitemporal de la estructura del paisaje a partir de imágenes Landsat entre 1987-2014. Se empezó evaluando la tendencia de cambio/permanencia de 10 clases de cobertura del paisaje mediante Modelos de Estado-transición (MST). Se identificó el comportamiento de la cobertura arbórea de los relictos de *Polylepis* y se lo relacionó con el cambio de cobertura de

construcción urbana y las vías de acceso a los bosques. Paralelamente se determinó si existe calentamiento superficial del paisaje por medio de las bandas termales de las imágenes Landsat en el mismo rango temporal.

Se observó que la cobertura, en los 27 años se extendió a pesar que la temperatura promedio ha aumentado para ambas microcuencas. Sin embargo, existe una tendencia a reducir la variabilidad de la temperatura superficial de los relictos de *Polylepis*. Se identificó que existe tala centrada en la cobertura boscosa correspondiente a Eucalipto, promovida por el cambio de uso de tierra (agricultura); y asociada a la cercanía con las construcciones urbanas y a las vías de acceso lo cual permitió el crecimiento de los relictos de *Polylepis*.

Palabras clave: Relictos de *Polylepis*, modelos de estado-transición, bandas termales, cambio climático, Cajatambo

LABORATORIO
DE ECOLOGÍA
DE PROCESOS

Comportamiento del bosque de Polylepis en el ecosistema de Cajatambo (Lima) entre 1987-2014

LISSEL ARNAO-SAYÁN (LISSEL.MAS@GMAIL.COM), ZULEMA QUINTEROS CARLOS, EDGAR SÁNCHEZ INFANTAS, PABLO RAMOS QUIROZ
Laboratorio de Ecología de Procesos LEP, Universidad Nacional Agraria la Molina, Av. La Molina S/N. La Molina - Lima Perú (lep-eco@lamolina.edu.pe)

ET AGRUM
CUPIO HOMINEM

Resumen

En el distrito alto andino de Cajatambo (Lima-Perú), compuesto por dos microcuencas (Cuchichaca y Pumariñi), ubicado entre los 3650-5600 msnm. al sur de la cordillera de Huayhuash, están presentes bosques relictos de Polylepis los cuales conforman un ecosistema importante debido a que albergan una fauna y flora única, caracterizada por especialistas de hábitat y altos niveles de endemismo. Por lo general dichos ecosistemas se encuentran expuestos a una fuerte presión antrópica (tala para leña y construcción), ya que constituyen una de las pocas fuentes de recurso maderable en alta montaña. Además, se desconoce el efecto que puede tener un aumento de la temperatura global producto del cambio climático sobre este ecosistema.

La investigación consistió en realizar un análisis multi-temporal de la estructura del paisaje a partir de imágenes Landsat entre 1987-2014. Se empezó evaluando la tendencia de cambio/permanencia de 10 clases de cobertura del paisaje mediante Modelos de Estado-transición (MST). Se identificó el comportamiento de la cobertura arbórea de los relictos de Polylepis y se lo relacionó con el cambio de cobertura de construcción urbana y las vías de acceso a los bosques. Paralelamente se determinó si existe calentamiento superficial del paisaje por medio de las bandas termales de las imágenes Landsat en el mismo rango temporal.

Se observó que la cobertura, en los 27 años se extendió a pesar que la temperatura promedio ha aumentado para ambas microcuencas. Sin embargo, existe una tendencia a reducir la variabilidad de la temperatura superficial de los relictos de Polylepis. Se identificó que existe tala centrada en la cobertura boscosa correspondiente a Eucalipto, promovida por el cambio de uso de tierra (agricultura); y asociada a la cercanía con las construcciones urbanas y a las vías de acceso lo cual permitió el crecimiento de los relictos de Polylepis.

Introducción

En el distrito de Cajatambo están presentes bosques relictos de Polylepis los cuales conforman un ecosistema importante y poco estudiado. Por lo general dichos ecosistemas se encuentran expuestos a una fuerte presión antrópica (tala para leña y construcción), ya que constituyen una de las pocas fuentes de recurso maderable en alta montaña. Por ello, esta investigación se enfocó en explorar que ha pasado con la cobertura arbórea del distrito en 27 años, en especial con los relictos dado que es desconocido el efecto que puede tener en la reducción de la población de estas especies por el aumento de la temperatura global producto del cambio climático sobre este ecosistema.

Metodología

Se analizó multitemporalmente la estructura del paisaje a partir de imágenes Landsat entre 1987-2014 (temporada seca: junio y julio). Se empezó evaluando la tendencia de cambio/permanencia de 10 clases de cobertura del paisaje mediante Modelos de Estado-transición (MST). Logrando identificar las siguientes coberturas: Agricultura, Agua, Césped, Edificaciones, Humedal, Matorral, Nieve, Pajonal, Suelo Descubierta y arbóreo (diferenciado en Relictos y Plantaciones). Se identificó la ubicación y el comportamiento de la cobertura arbórea de los relictos de Polylepis y de las plantaciones de Eucalipto. Esta cobertura se la relacionó con la construcción urbana y las vías de acceso a los bosques cuantificando las distancias mediante software de SIG. Paralelamente se determinó si existe calentamiento superficial del paisaje por medio de las bandas termales de las imágenes Landsat en el mismo año evaluado.

Resultados

Se identificó que existe una tendencia de cambio de la cobertura arbórea la cual tiende a ser mayor en Cuchichaca entre 1987 y 2014, ya sea por tala o extensión de campos para agricultura. Sin embargo, la permanencia de la cobertura arbórea en Pumariñi es mayor entre las microcuencas evaluadas según el MST en el rango temporal evaluado.

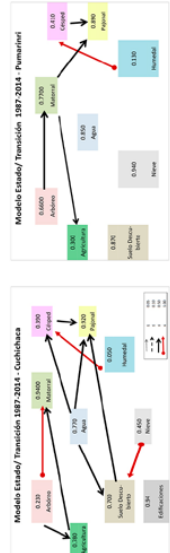


Gráfico 2: Modelo Estado Transición (MST) de las microcuencas entre 1987-2014

Al evaluar el cambio en extensión de las coberturas se verificó el comportamiento contrastante entre ambas microcuencas. Se logró analizar a escala más fina la cobertura, ubicando así los Relictos (Polylepis) y las Plantaciones (Eucalipto).

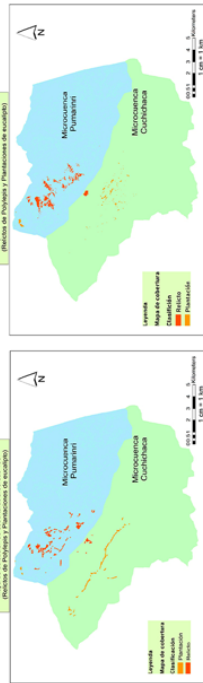


Gráfico 3: Ubicación de la cobertura de Relictos de Polylepis y Plantaciones de Eucalipto en 1987 y 2014.

El contraste en el comportamiento de las coberturas entre las microcuencas puede deberse a la diferencia en su composición y distribución. La presencia y conservación de los relictos de Polylepis se puede ver predominantemente en la microcuenca de Pumariñi.



Gráfico 4: Variación en Hectáreas de la cobertura arbórea para ambas microcuencas

Se puede observar el aumento en extensión de los Relictos de Polylepis y de las Plantaciones en Pumariñi. Esto tiene relación a la cercanía promedio del Polylepis a la ciudad y caminos construidos: de 1500 metros lineales. En contraste la distancia del conglomerado de las plantaciones de Eucalipto es de 450 m a la ciudad en Cuchichaca. Por su parte Pumariñi al no contar con ciudades dentro de la microcuenca y con un difícil acceso por la alta pendiente de la microcuenca no se pudo cuantificar los metros lineales, dado que, no eran distancias reales de acceso en campo.

Gráfico 5: Ubicación de las coberturas arbóreas y las construcciones antrópicas (caminos y ciudad)

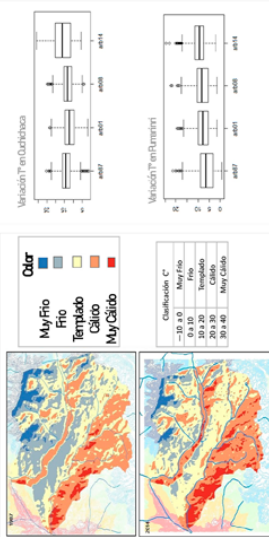
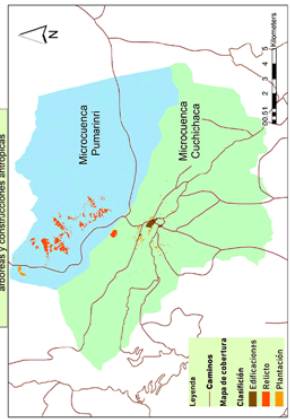


Gráfico 6: Variación T° en las microcuencas entre 1987-2014

Gráfico 7: Variación T° en la Cobertura Arbórea

Conclusiones

Se identificó (por el análisis MST) que existe tala de la cobertura boscosa correspondiente a Eucalipto y esta ubica en la microcuenca de Cuchichaca entre los años 1987 y 2014. Esta puede estar promovida por el cambio de uso de tierra (agricultura); y asociada a la cercanía con las construcciones urbanas y la facilidad de acceso por los caminos. Este fácil acceso permitió el crecimiento de los relictos de Polylepis, ubicado en laderas de la ciudad y con acceso limitado por la alta pendiente. Logrando así que el distrito de Cajatambo cuente con el aumento de la extensión de los relictos de Polylepis en los 27 años evaluados, aun a pesar del impacto antrópico identificado sobre la cobertura arbórea. Por otro lado, la temperatura superficial no está causando efecto actualmente sobre los Relictos dado que su variabilidad ha disminuido y no se ha sido afectada tangiblemente en la reducción de extensión de los mismos.

Agradecimientos

Perú
Innovate
"Determinación de Criterios para el Establecimiento de Estándares de Calidad Ambiental para la Diversidad Biológica. Estudio de Caso: Distrito de Cajatambo". Contrato No. 365-MCIP-PM-2014



DISEÑO Y APLICACIÓN PILOTO DE LA EPACA (ENCUESTA DE PRESIONES ANTROPOGÉNICAS EN CUENCAS ALTOANDINAS)

Fabiola Valeria Cárdenas Maldonado^{1*}, Rossi Taboada Hermoza², Noemi Tomaylla Berrocal², Doris Pariona Flores¹, Bram Willems², Chad Staddon³

¹Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

²Centro de Competencias del Agua (CCA), Lima, Perú

³University of the West of England, Bristol, Reino Unido

*Email: fvaleriacm@gmail.com

Los ecosistemas altoandinos han albergado históricamente a grupos humanos con identidades vinculadas al territorio. Estas comunidades ejercen presiones en el ecosistema, pero también son las llamadas a conservarlo. Por ello, es importante entender la dinámica de los socio-ecosistemas de cabecera de cuenca: las presiones antropogénicas, la situación de las comunidades y el manejo de recursos naturales que ellas realizan.

El diseño y aplicación piloto de la EPACA tiene como objetivo proponer un instrumento de recolección de datos para evaluar las presiones antropogénicas que tienen lugar en un socio-ecosistema determinado. Fue elaborada en el marco del proyecto Newton Institutional Links, "Fortalecimiento de las capacidades locales para el manejo sostenible de los humedales de cabeceras de cuencas Andinas frente al cambio global".

La encuesta está basada en el esquema PIR (presión, impacto y respuesta) de la OCDE y contempla cinco dimensiones: 1) la ubicación

geográfica -que contempla aspectos de la organización tradicional, comunal-; 2) la caracterización socioeconómica de las familias; 3) las actividades económicas; 4) las actividades domésticas y, 5) el desarrollo de técnicas de manejo de recursos naturales.

Parte de la caracterización socioeconómica de la EPACA contempla preguntas sobre el fenómeno de doble residencia, por la relevancia que tiene frente al manejo de recursos y la seguridad alimentaria de las comunidades. Además, la reciente aplicación de la encuesta en la Comunidad Campesina de Chuschi (Ayacucho), caracterizada por la presencia de bofedales en la zona sallqa, nos ha permitido identificar los alcances y limitaciones de un instrumento pensado para entender las complejas relaciones entre el ser humano y el ecosistema.

Palabras clave: Presiones antropogénicas, cuencas altoandinas, encuesta, socio-ecosistema, Chuschi

DISEÑO Y APLICACIÓN PILOTO DE LA EPACA (Encuesta de Presiones Antropogénicas en Cuencas Altoandinas)

Fabiola Cárdenas M.*(1), Rossi Taboada (2), Noemí Tomaylla (2),
Lisbeth Pariona (1), Bram Willems (2) y Chad Staddon (3)

(1)UPCH, (2)CCA, (3)UWE Bristol
*fabiola.cardenas@unmsm.edu.pe



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA



University
of the
West of
England



UNSCH
Universidad Nacional de San Agustín



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos internacionales de gestión ambiental ponen en contexto actividades de gran impacto en el medio ambiente pero no contemplan indicadores a escala de hogar. El diseño de la EPACA está orientado obtener indicadores ambientales de presión, impacto y respuesta a escala de hogar; especialmente para los ecosistemas de cuencas altoandinas que han albergado a comunidades que, hasta hoy, mantienen un vínculo muy estrecho con el territorio.

III. METODOLOGÍA

1. IDENTIFICACIÓN DE DIMENSIONES

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

I. UBICACIÓN GEOGRÁFICA (de la vivienda principal)

1. DEPARTAMENTO 2. PROVINCIA 3. DISTRITO
☐ CAYANCHO ☐ CASHA ☐ CHUSCHI

4. COMUNIDAD 5. LOCALIDAD/BARRIO/CENTRO POBLADO/ANEXO
☐ CHUSCHI ☐

CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA



Caracterización de la familia (4 preguntas)
Vivienda y servicios (12 preguntas)

ACTIVIDADES ECONÓMICAS



Actividad agrícola (10 preguntas)
Actividad ganadera (13 preguntas)
Ingresos (4 preguntas)

ACTIVIDADES DOMÉSTICAS



Fuentes de agua, energía y
manejo de residuos (5 preguntas)

II. SOCIO-ECOSISTEMA DE ESTUDIO

Las cabeceras de cuencas hidrográficas están vinculadas a recurrentes ecosistemas como lagunas, pastos, matorrales, bofedales, bosques, etc. (Meléndez de la Cruz, 2019). Es así que el instrumento que presentamos fue diseñado para entender los acoplamientos entre los ecosistemas de cuencas altoandinas y los sistemas sociales (comunidades altoandinas) que los habitan.

La aplicación piloto de la EPACA tuvo lugar en los territorios de la zona salta de la comunidad de Chuschi, caracterizada por la presencia de bofedales. Esta área es también parte de la microcuenca del Chicllarazo coincidente con 7 localidades de la comunidad campesina de Chuschi.



NEWTON FUND INSTITUTIONAL LINKS CONTRATO N°225-2018-FONDECYT

MANEJO DE RECURSOS NATURALES

V. DESARROLLO DE TÉCNICAS DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES

54. PARA EL MANEJO DEL AGUA, USTED, ¿HA REALIZADO ALGUNA DE LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES? (Opción múltiple)

1. CULTIVO DE PLANTAS LLAMADORAS DE AGUA (alúchica, saulqui)
2. CERROS DE PROTECCIÓN PARA FUENTES DE AGUA
3. ZANJAS DE INFILTRACIÓN
4. JUMINAS
5. OTROS

55. PARA EL MANEJO DE SUELOS, USTED ¿HA REALIZADO O REALIZA ALGUNA DE LAS SIGUIENTES PRÁCTICAS? (Opción múltiple)

1. CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS
2. CONSTRUCCIÓN DE ANDENES
3. REFORESTACIÓN / FORESTACIÓN
4. SIEMBRA DE PASTOS
5. ROTACIÓN DE PASTIZALES
6. LABRANZA INTENSIVA / TIRIO AL PALO / ARADO
7. OTRO

2. VALIDACIÓN DE CONTENIDO

Aplicamos 4 cuestionarios a comuneros de Chuschi y seleccionamos las preguntas más importantes de la EPACA.

- Resultado: 55 preguntas
- Tiempo de aplicación promedio: 30 - 45 min.

3. APLICACIÓN PILOTO

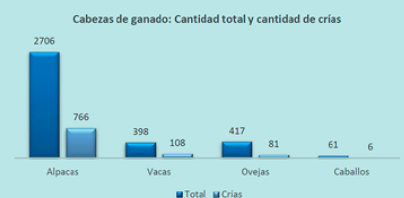
Aplicamos 70 cuestionarios a comuneros(as) de las localidades de Yanacocha, Huaracco, Chaquiccocha, Pucruhuasi, Wacracocha, Lerqona y Yupana (zona del Chicllarazo) los días 26 y 27 de julio de 2019. Contamos con 7 colaboradores quechuahablantes.



V. RESULTADOS

Casi la totalidad de las familias encuestadas tienen dos casas, una en la zona urbana y la otra, en la parte alta. La mitad de ellas, se dedican a la agricultura a pequeña escala (de riego por secano mayoritariamente) y son muy pocas las familias que venden parte de sus cultivos (ajo, olluco y papa).

La ganadería (alpaquera) es la principal fuente de ingresos de las familias del Chicllarazo; una familia tiene en promedio 69 alpacas y 35 ovejas:



Agradecimientos: A Mariella Huaycha, Alex Gavilán, Nazia Loayza y Anne, Dayma Quintas y Álvaro Ayala por su invaluable apoyo en la aplicación de las encuestas. A Luis F. Bartolo Alegre por su apoyo en la edición del póster.



DEMANDA AGRÍCOLA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA QUILLCAY, Y LAS MEJORAS DE SU INFRAESTRUCTURA RIEGO

Gonzalo Pablo Galarza Peña^{1,2*}
,Edwin Aníbal Loarte Cadenas, Helder Mallqui Meza

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

*Email: ggalarza.perugrows@inaigem.gob.pe

La unidad hidrográfica Quillcay ubicada en la provincia de Huaraz, región Ancash, tiene como principal fuente hídrica, lagunas de procedencia glaciar, actualmente las condiciones climáticas vienen afectando este recurso, por esta razón su uso y manejo requiere un análisis estricto.

En la presente investigación se estimó la demanda agrícola, con el fin de evaluar la infraestructura hidráulica existente y las posibles mejoras que se deberían realizar en ella.

Para el cálculo de la demanda agrícola, se usó data meteorológica recolectada por las estaciones meteorológicas y el producto grillado Pisco generado por SENAMHI, las cuales fue comparadas y complementadas con las estaciones locales del proyecto CIAD, además se caracterizó el estado actual de la infraestructura hidráulica a partir de trabajos de campo realizados por el proyecto PeruGROWS, teniendo eficiencias de riego entre 25% y 37%. El cálculo de las necesidades hídricas se llevó a cabo con la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). La

demanda agrícola calculada oscila entre los 0 - 9171.81 MMC para el mes de marzo y agosto respectivamente. Se realizó, estimaciones, con posibles refacciones y modificaciones en la infraestructura de riego, en el caso de la eficiencia de aplicación se simuló con riego por goteo, aspersión y compuertas, en el caso de la eficiencia de conducción y distribución con trabajos de entubado y revestimiento de canales. Las simulaciones arrojaron valores de eficiencia de riego que oscilan entre los 73% en el caso de riego por goteo y 57% en riego por compuertas; con esto se concluye, que podemos usar 57% menos agua para realizar las mismas actividades en un futuro.

Palabras clave: ETo, demanda agrícola, MMC, eficiencia de riego

DEMANDA AGRÍCOLA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA QUILLCAY, Y LAS MEJORAS DE SU INFRAESTRUCTURA RIEGO.



Gonzalo Pablo Galarza Peña^{(1),(2)}, Edwin Anibal Loarte Cárdenas⁽¹⁾ Edegaro Mallqui Meza Helder⁽¹⁾
(gpgalarzap@gmail.com)

(1) Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú; (2) Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Resumen:

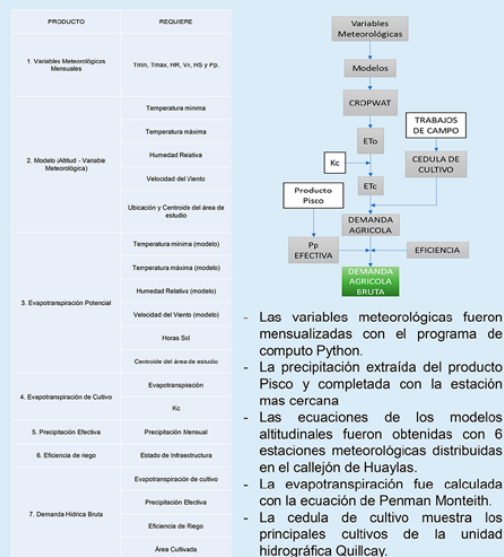
La unidad hidrográfica Quillcay ubicada en la provincia de Huaraz, región Ancash, tiene como principal fuente hídrica, lagunas de procedencia glaciar, actualmente las condiciones climáticas vienen afectando este recurso, por esta razón su uso y manejo requiere un análisis estricto. En la presente investigación se estimó la demanda agrícola, con el fin de evaluar la infraestructura hidráulica existente y las posibles mejoras que se deberían realizar en ella. Para el cálculo de la demanda agrícola, se usó data meteorológica recolectada por las estaciones meteorológicas y el producto grillaado PISCO generado por SENAMHI, las cuales fueron comparadas y complementadas con las estaciones locales del proyecto CIAD, además se caracterizó el estado actual de la infraestructura hidráulica a partir de trabajos de campo realizados por el proyecto PeruGROWS, teniendo eficiencias de riego entre 25% y 37%. El cálculo de las necesidades hídricas se llevó a cabo con la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). La demanda agrícola calculada oscila entre los 0 - 9171.81 m.m.c. para el mes de marzo y agosto respectivamente. Se realizó, estimaciones, con posibles refacciones y modificaciones en la infraestructura de riego, en el caso de la eficiencia de aplicación se simuló con riego por goteo, aspersión y compuertas, en el caso de la eficiencia de conducción y distribución con trabajos de entubado y revestimiento de canales. Las simulaciones arrojaron valores de eficiencia de riego que oscilan entre los 73% en el caso de riego por goteo y 57% en riego por compuertas; con esto se concluye, que podemos usar 57% menos agua para realizar las mismas actividades en un futuro.

Introducción:

En la presente investigación, se desarrolló el cálculo de la demanda hídrica con fines agrícolas para poder evaluar la infraestructura del sistema de riego y sus modificaciones con el objetivo de poder cuantificar el beneficio de las mejoras en la infraestructura de riego para la disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica Quillcay. La ANA (2009), dentro del Programa extraordinario de formalización de derechos de uso de agua (PROFODUA), estableció los bloques de riego en las unidades hidrográficas, para la determinación de las cédulas de cultivo y estimar la demanda agrícola, con el uso de las estaciones meteorológicas dentro de la cuenca. Apaestegui y Espinoza (2017), desde un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos, mencionan el uso de la información antes establecida en el PROFODUA, actualizando la data meteorológica, con el producto PISCO disponible del SENAMHI, así también el uso de datos de detección remota MODIS específicamente de su producto MOD16A2 de series históricas de evapotranspiración.

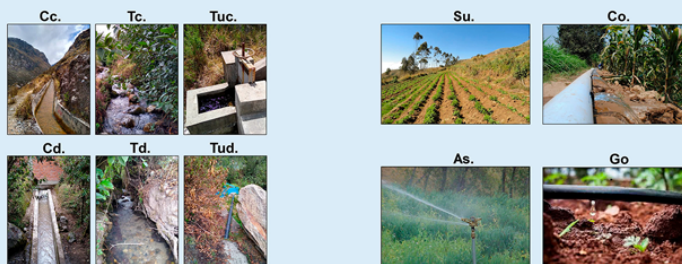


Metodología:



Resultados

Cultivo	PT (mm)	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Maíz	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Trigo	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Uva	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000



- Canales de conducción y distribución
Cc y Cd: Concreto con eficiencia de conducción de 90%
Tc y Td: Tierra con eficiencia de conducción de 70%
Tuc y Tud: Tubería con eficiencia de conducción de 90%

- Técnica de riego
Su: Surco con eficiencia de aplicación de 50%
Co: Compuertas con eficiencia de aplicación de 70%
As: Aspersión con eficiencia de aplicación de 80%
Go: Goteo con eficiencia de aplicación de 90%

ESTADO	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Actual	9171.81	8523.22	3276.83	9064.68	2479.10	1903.23	4513.85	0.00	777.21	8075.44	7119.40	3657.02
Cc+Cd+Su	7020.40	6523.95	2508.19	6938.40	1897.58	1456.79	3455.05	0.00	594.90	6181.20	5449.41	2799.20
Cc+Co	5014.57	4659.96	1791.57	4996.00	1355.42	1040.56	2467.89	0.00	424.93	4415.14	3892.44	1999.43
Cc+As	4387.75	4077.47	1567.62	4336.50	1185.99	910.49	2159.40	0.00	371.81	3863.25	3405.88	1749.50
Cc+Go	3900.22	3624.41	1393.44	3854.67	1054.21	809.33	1919.47	0.00	330.50	3434.00	3027.45	1555.11
(D1-D2)/D1	57.48%	57.48%	57.48%	57.48%	57.48%	57.48%	57.48%	0.00%	57.48%	57.48%	57.48%	57.48%

Demanda Hídrica Bruta con las mejoras necesarias en la infraestructura de su sistema de riego.

Porcentajes de reducción en los volúmenes demandados

Gravedad	Cc+Cd+Su	23.46%
	Cc+Cd+Co	45.33%
	Cc+Cd+As	52.16%
Presurizado	Cc+Cd+Go	57.48%

Discusiones

- Los resultados obtenidos están limitados a los cambios en la infraestructura del sistema de riego, sin tomar en cuenta los que puedan generarse por su cédula de cultivo y calendario de siembra.
- La demanda hídrica del mes de Marzo, en todos los casos es nula.
- Las mejoras en la etapa de conducción, distribución y aplicación con técnicas de riego tecnificado por gravedad, consiguen hasta un 45.33% de disponibilidad hídrica frente a la demanda actual.
- Complementando con una técnica de riego presurizado al caso anterior, adicionará hasta un 12.15% a la disponibilidad hídrica frente a la demanda actual.

Conclusiones

- Realizando cambios en la cédula de cultivo o en el calendario de siembra, se obtendrá variaciones en la demanda, mas no en los porcentajes de reducción presentados.
- La demanda hídrica puede ser nula, si la precipitación efectiva es mayor a la evapotranspiración del cultivo, en un mes específico.
- Priorizar mejoras en la etapa de conducción, distribución y técnica de riego con compuertas generan el mayor beneficio para la disponibilidad hídrica.
- La infraestructura del sistema de riego en las mejores condiciones, aportara hasta un 12.15% respecto al caso anterior.



Recomendaciones

- La cédula debe de contener los cultivos representativos del área de estudio, despreciando las pequeñas parcelas.
- Para representar mejor la realidad, se puede realizar aforos en cada etapa de la infraestructura del sistema de riego.
- Se debería capacitar a los usuarios del agua para la aplicación del riego tecnificado a gravedad.
- El revestimiento de los canales de conducción y distribución es primordial para poder garantizar el uso adecuado de las diferentes técnicas de riego.

Referencias Bibliográficas

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2009). Estudio de conformación de bloques de riego para la formalización de derechos de uso de agua en el valle alto Santa. Huaraz.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2010). Asignación de agua en bloques (volúmenes anual y mensual), para la formalización de derechos de uso de agua cuenca alta del río santa.
- Apaestegui, J., & Espinoza, R. (2017). Estimación, evaluación y análisis de la demanda hídrica en la cuenca del río Quillcay (Ancash, Perú) desde un enfoque de Gestión Integrada de los recursos hídricos.

Reconocimiento de fuentes de financiamiento

- El presente artículo a sido realizado en el marco del proyecto PeruGROWS (Retroceso glaciar y su impacto en la seguridad hídrica en el Perú), con la financiación del CONCYTEC a través del FONDECYT.



CARACTERIZACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE UN SISTEMA DE BOFEDALES DE LA MICROCUENCA CHICLLARAZO (AYACUCHO)

Walter Martín Leyva Molina^{1,2*}, Bram Willems^{1,2,3}, Wouter Buytaert⁴, Raúl Loayza^{1,2}, Fernando Quinto Cuba^{1,3}, Julián Llanto Verde¹, Mariela Huaycha Allcca^{1,3}, Mayra Diana Gutiérrez Quintanilla^{1,3}, Floro Ortiz Contreras^{1,3}, Fiorella Paola La Matta Romero², Chad Staddon⁵

¹Centro de Competencias del Agua (CCA), Lima, Perú

²Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

³Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

⁴Imperial College London, Reino Unido

⁵University of the West of England, Bristol, Reino Unido

*Email: ciencia@agua-andes.org.pe

El presente trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto: "Fortalecimiento de las capacidades locales para el manejo sostenible de los humedales de cabeceras de cuencas Andinas frente al cambio global", el cual ha sido ejecutado a través del Fondo Newton-Paulet: Institutional Links (FONDECYT, Contrato 225-2018). Esta investigación tiene por objetivo mejorar la comprensión de los vínculos entre los bofedales y los servicios ecosistémicos que brindan, a fin de informar soluciones prácticas para la sostenibilidad del agua en la microcuenca de Chicllarazo (Ayacucho).

La investigación aborda dos componentes, el primero se centra en la caracterización hidrológica a partir de mediciones de los flujos de agua, el registro de la composición florística, la colecta de muestras de suelo y el análisis de datos hidrometeorológicos; para luego, diseñar un sistema de monitoreo basado en sensores de bajo costo. El segundo componente se centra en la evaluación de la calidad del ecosistema midiendo los parámetros físicos

y químicos, y estableciendo relaciones con la estructura de la comunidad de bioindicadores (macroinvertebrados) en arroyos y bofedales. La identificación taxonómica permite estimar la biodiversidad acuática, que se puede usar para describir la calidad del agua a través del Índice Biótico Andino.

Los resultados son reflejados en mapas temáticos que muestran la distribución de los bofedales en la microcuenca del Chicllarazo, con especial interés en la quebrada Millpupampa, la cual fue tomada como área piloto para la colecta de muestras y para los análisis de relación entre variables hidrológicas y biológicas.

Palabras clave: Bofedal, Millpupampa, Chicllarazo, Chuschi, exohidrología, bioindicadores

Caracterización ecohidrológica de un sistema de bofedales de la microcuenca Chicllarazo (Ayacucho)

W. Martín Leyva M.^{1,2}, Fernando Quinto C.^{1,3}, Julian Llanto V.¹, Mariela Huaycha A.^{1,3}, Mayra Gutiérrez Q.^{1,3}, Floro Ortiz C.^{1,3}, Fiorella La Matta R.², Raúl Loayza M.^{2,1}, Wouter Buytaert⁴, Chad Staddon⁵ y Bram L. Willems^{1,2,3}

1. Centro de Competencias del Agua, 2. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 3. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, 4. Imperial College London, 5. University of the West of England

MARCO CONCEPTUAL

Ecohidrología de Bofedal



Figura 1. Ciclo hidrológico en un bofedal

$$\text{BALANCE HÍDRICO} = \sum \text{ENTRADAS} - \sum \text{SALIDAS}$$

Entradas : P

Salidas : Escorrentía (Q), Evapotranspiración (ETP)

METODOLOGÍA

Hidrología:

La metodología se basó en la colecta de datos de hidrológicos en campo: caudal y parámetros físico-químicos.

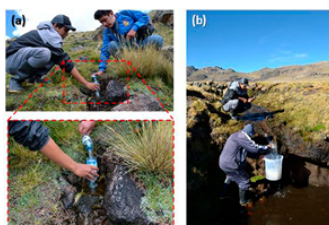


Figura 3. Aforado de Caudal por el método volumétrico en el bofedal Millpupampa: (a) medición de caudal del aporte, (b) medición de caudal a la salida del flujo de agua.



Figura 5. Mediciones para el diseño de la instalación de equipos de monitoreo.

Agrotoedafología:

La colecta de datos se realizó empleando el método de transecto lineal.



Figura 6. Materiales de campo: estacas, cordel, plumones, flexómetro, cartillas, lapicero, portafolio, GPS, cámara digital, tabla de registro.



Figura 7. Proceso de evaluación en campo. (a) tendido del cordel. (b) puntos de evaluación marcados. (c.1) y (c.2) registro de datos en cada punto

Ecología:



1. Recolección



3. Separación morfológica y conteo



2. Tamizaje y limpieza



4. Identificación a nivel de familia

FAMILIAS	PUNTAJE
Hyalellidae	6
Hydroptilidae	6
Leptoceridae	8
Planorbidae	3
Coenagrionidae	6
TOTAL	29

4. Identificación a nivel de familia

Calidad IBA	PUNTAJE
Excelente	> 70
Buena	45-70
Regular	27-44
Mala	11-26
Muy mala	< 11

5. Cálculo con el Índice Biótico Andino (IBA)

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio piloto corresponde a un Sistema de Bofedales ubicados en la Quebrada Millpupampa (Waccracocha).

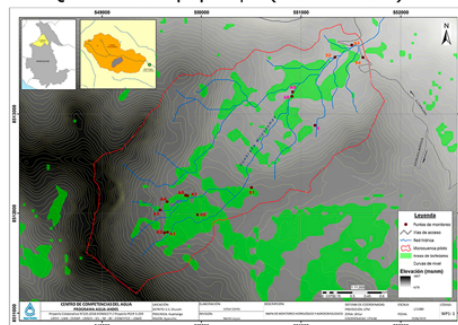


Figura 2. Mapa de distribución de puntos de mediciones hidrológicas en la Quebrada Millpupampa.

RESULTADOS

Hidrología:

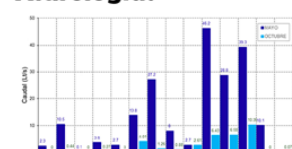


Figura 8. Caudales de los aportantes y de las salidas del sistema de bofedales.

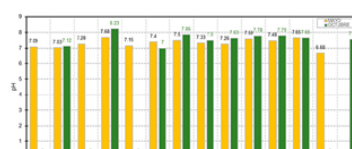
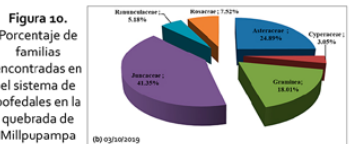
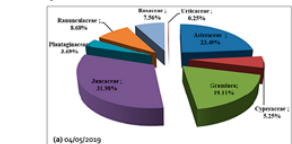


Figura 9. pH de los aportantes y de las salidas del sistema de bofedales.

Agrotoedafología:

Composición florística



Grado de Deseabilidad de las Especies

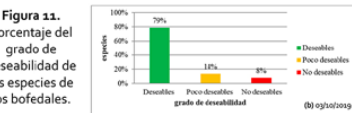


Figura 13. Mapa del Índice Biótico Andino (IBA) del la Quebrada Millpupampa (Waccracocha).

Ecología:

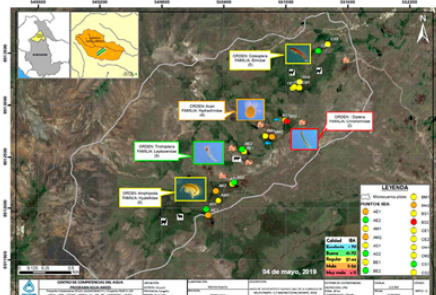


Figura 13. Mapa del Índice Biótico Andino (IBA) del la Quebrada Millpupampa (Waccracocha).

Instituciones ejecutoras:



Con el apoyo económico de:





EVALUACIÓN DE LAS CAUSAS DE DEGRADACIÓN DEL PASTIZAL DE ACOCANCHA, COMUNIDAD CAMPESINA CORDILLERA BLANCA, RECUAY

Ángel Antonio Mendoza Granados^{1*}

¹Instituto de Montaña, Huaraz, Perú

*Email: amendoza.gra@gmail.com

El objetivo de la investigación es identificar las causas de degradación del pastizal de Acocancha (40ha), donde los pastos para el ganado vacuno han disminuido a la par que han aumentado especies indeseables como el *Juncus ebracteatus* "Jueb" y *Juncus arcticus* var. *andicola* "Juar",

Se realizó una zonificación de acuerdo a la vegetación dominante (Jueb, Juar y Pastos) con un GPS; se caracterizó en 13 sitios establecidos de acuerdo a la zonificación y pendiente, donde se evaluó: composición y abundancia florística (transecto de Parker modificado), porcentaje de vegetación, profundidad del suelo y compactación, biomasa aérea, cambios en el nivel de la napa freática. Se hicieron, tres calicatas para ver el perfil del suelo y entrevistas a los pastores del ganado y miembros de la comunidad, para identificar los principales cambios en el manejo del pastizal.

Los sitios de pastos tienen una buena condición (puntaje 70.19) mientras que los sitios de juncos (Jueb y Juar) muestran degradación (regular y pobre), la napa freática fue más superficial (10 cm) que en los sitios de pastos (41.4 cm); se encontró una relación directa y

significativa ($R^2 = 0.53$, $p < 0.05$) entre el nivel promedio de la napa freática y la abundancia de juncos, confirmando que estas especies se desarrollan más en áreas de mayor humedad en el suelo; se encontró también en el área del pastizal existe una capa de arcilla, lo que reduce el drenaje del agua, inundando el suelo y generando un ambiente favorable para el incremento de las juncáceas y la degradación del pastizal. De las entrevistas, el manejo inadecuado del agua (falta de mantenimiento de zanjas de drenaje y construcción de zanjas de infiltración sin estudios previos), provocó el aumento de los juncos. En conclusión, el estado de salud del pastizal se ha deteriorado (45% de juncos, de acuerdo a zonificación) con una condición de regular a pobre, y la causa principal es el exceso de agua en el pastizal por manejo inadecuado del agua.

Palabras clave: *Juncus ebracteatus*, *Juncus arcticus*, nivel de napa freática

Evaluación de las causas de degradación del pastizal de Acocancha, comunidad campesina Cordillera Blanca

Autor: Angel Mendoza¹ (amendoza.gra@gmail.com)

Institución: ¹Instituto de Montaña (IM)

Con el financiamiento de la Fundación McKnight y el apoyo del Instituto de Montaña

RESUMEN

El objetivo de la investigación es identificar las causas de degradación del pastizal de Acocancha (40ha), donde los pastos para el ganado vacuno han disminuido a la par que han aumentado especies indeseables como el *Juncus ebracteatus* "Jueb" y *Juncus arcticus* var. *andicola* "Juar".

Se realizó una zonificación de acuerdo a la vegetación dominante (Jueb, Juar y Pastos) con un GPS; se caracterizó en 13 sitios establecidos de acuerdo a la zonificación y pendiente, donde se evaluó: composición y abundancia florística (transecto de Parker modificado), porcentaje de vegetación, profundidad del suelo y compactación y cambios en el nivel de la napa freática. Se hicieron, tres calicatas para ver el perfil del suelo y entrevistas a los pastores del ganado y miembros de la comunidad, para identificar los principales cambios en el manejo del pastizal.

Los sitios de pastos tienen una buena condición (puntaje 70.19) mientras que los sitios de juncos (Jueb y Juar) muestran degradación (regular y pobre), la napa freática fue más superficial (10 cm) que en los sitios de pastos (41.4 cm); se confirmó que las especies de juncos se desarrollan más en áreas de mayor humedad en el suelo; en el área del pastizal existe una capa de arcilla, lo que reduce el drenaje del agua, inundando el suelo y generando un ambiente favorable para el incremento de las juncáceas y la degradación del pastizal. De las entrevistas, el manejo inadecuado del agua (zanjas de drenaje y zanjales de infiltración), provocó el aumento de los juncos. En conclusión, el estado de salud del pastizal se ha deteriorado (45% de juncos, de acuerdo a zonificación) con una condición de regular a pobre, cuya causa principal es el exceso de agua por su manejo inadecuado.



INTRODUCCIÓN

En la región andina del Perú encontramos las praderas altoandinas (3,800 a 4,400 msnm de altitud), cuya vegetación se encuentra representada por las gramíneas perennes que son el hábitat del 80% de vacunos y el 98% de ovinos. De estas praderas pastoreadas, el 80% presenta una condición de regular a muy pobre, lo que indica la necesidad de prestar mayor atención para su conservación (Florez 2005, Alegría 2013).

La comunidad campesina Cordillera Blanca posee extensas áreas de pastos naturales (70% de su superficie). En el sector Acocancha actualmente se observa una degradación del pastizal (pérdida de pastos palatables), que afecta directamente a la producción del ganado vacuno y, como consecuencia la producción de leche y carne. Esta pérdida se puede deber al sobrepastoreo (manejo inadecuado del ganado), compactación del suelo por pisoteo, exceso y/o inadecuado manejo del agua de riego. Por lo que esta investigación esta investigación se realizó con el objetivo de identificar las causas de la degradación de los pastizales de Acocancha, de la comunidad campesina Cordillera Blanca y proponer alternativas para su recuperación.

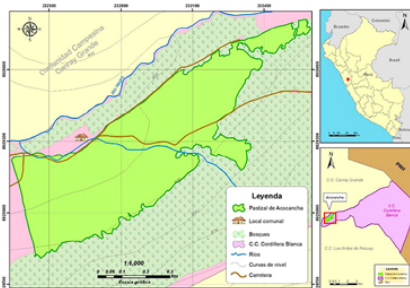


Figura 1. Mapa con la ubicación del pastizal

METODOLOGÍA

Para la investigación se delimitó la zonificación de acuerdo a la vegetación dominante (Jueb, Juar y Pasto) con la ayuda de un GPS; se verificó la caracterización en 13 sitios establecidos de acuerdo al mapa de zonificación y pendientes, donde se evaluó:

composición y abundancia florística (con la ayuda de una wincha y un anillo censador), profundidad del suelo y compactación (esta última con la ayuda del penetrometro y mediante la evaluación de la densidad aparente), cambios mensuales en el nivel de la napa freática (piezómetros instalados en los 13 sitios de evaluación) y pendiente (con el aplicativo "Clinómetro" cuyo resultado fue contrastado con el mapa de pendientes). También se hicieron tres calicatas para ver el perfil del suelo. Además, se hicieron entrevistas a los pastores del ganado de la comunidad, y a varios miembros de la comunidad, para identificar los principales cambios en el manejo del pastizal, en los últimos 20 años, como: formas de riego, existencia de zanjales de infiltración y drenaje, incremento del Jueb, tipo de pastos, formas de pastoreo y uso de suelos.

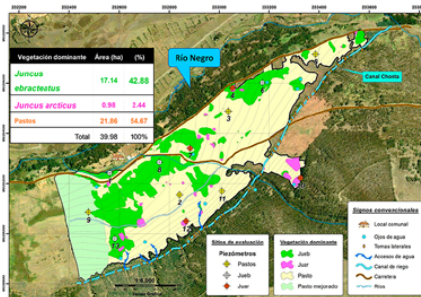


Figura 2. Zonificación del pastizal por vegetación predominante.

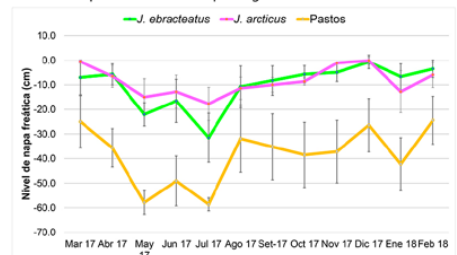
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trazó el mapa de zonificación, donde los juncos representan el 45.32% del área del pastizal. La caracterización muestra que los sitios dominados por pastos tienen una buena condición (puntaje 70.19) mientras que los sitios dominados por los juncos (Jueb y Juar) muestran degradación (regular y pobre) con puntajes de 53.07 y 34.2 respectivamente, la napa freática fue más superficial (10 cm, en promedio) que en los sitios dominados por pastos (41.4 cm, en promedio);

Tabla 1 – Características por vegetación predominante

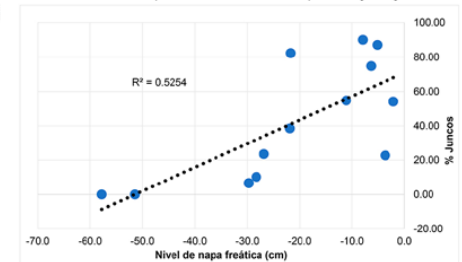
Vegetación dominante	Pendiente (°)	% Deseables	% Poco deseables	Especies dominantes	Condición	Densidad aparente (g/cm³)
Pastos	7.6	46.53 ^a	38.50 ^b	7 especies, Fedo (40.9%) y Caeo (12.8%)	70.19 ^a (Bueno)	0.83 ^a
Jueb	4.0	14.53 ^a	69.01 ^a	7 especies, Jueb (40.6%) y Antod (9.1%)	53.07 ^b (Regular)	0.23 ^b
Juar	4.9	9.05 ^b	10.29 ^c	7 especies, Juar (67.6%)	34.27 ^c (Pobre)	0.26 ^b

Tabla 2 – Napa freática mensual por vegetación dominante



se encontró una relación directa y significativa ($R^2 = 0.53$, $p < 0.05$) entre el nivel promedio de la napa freática por sitios de evaluación y la abundancia de juncos, confirmando que estas especies se desarrollan más en áreas de mayor humedad en el suelo; se encontró también que en sitios con suelos profundos existe una capa de arcilla, lo que reduce el drenaje del agua, inundando el suelo y generando un ambiente favorable para el incremento de las juncáceas y la degradación del pastizal. De las entrevistas se pudo encontrar, el manejo inadecuado del agua (falta de mantenimiento de zanjales de drenaje y construcción de zanjales de infiltración sin estudios previos), que provocó el aumento de los juncos.

Tabla 3 – Nivel de napa freática en relación al porcentaje de juncos



CONCLUSIÓN

El estado de salud del pastizal se ha deteriorado (45% de juncos) con una condición de regular a pobre, y la causa principal es el exceso de agua en el pastizal, por mal drenaje del suelo (capa impermeable y falta de mantenimiento de zanjales de drenaje), riego por inundación y existencia de zanjales de infiltración mal planificados.

REFERENCIAS

Florez Martínez, A. (2005). Manual de pastos y forrajes altoandinos. Lima: ITDG AL, OIKOS
Goicochea, J. (2012). Ingeniería de drenaje. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina

Agradecimiento a la Fundación McKnight por el financiamiento y beca otorgada para el desarrollo de la presente investigación.



IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA PARA LA SEGURIDAD HÍDRICA

Javier Antiporta^{1,4*}, Juan Diego Bardales^{2,4}, Katya Pérez^{1,4}, María Angélica Villasante^{1,4}, Boris Ochoa Tocachi^{3,4}, Vivien Bonnesoeur^{1,4}, Luis Acosta^{2,4}, Francisco Román^{1,4}, Wouter Buytaert^{3,4}

¹Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima, Perú

²Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), Lima, Perú

³Imperial College London, Reino Unido

⁴Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHea) [red]

*Email: Javier.antiporta@condesan.org

En las zonas montañosas del mundo, los recursos hídricos se encuentran bajo una presión severa debido al cambio climático y a las actividades humanas. Con la finalidad de afrontar esta presión, históricamente se han desarrollado soluciones de ingeniería convencional para almacenar, conducir, tratar, y distribuir agua. Sin embargo, estas soluciones “grises” se enfrentan a muchos desafíos debido a su falta de adaptabilidad a cambios globales, a los grandes costos de inversión, y a los importantes impactos ambientales que generan. Como respuesta, varias instituciones han volcado su mirada hacia la “infraestructura natural”, como complementos sustanciales a las soluciones de ingeniería tradicional. Uno de los sistemas más atractivos que aprovechan la infraestructura natural para la seguridad hídrica son las prácticas de siembra y cosecha de agua.

En este póster evaluamos una práctica ancestral de siembra y cosecha de agua que se ha venido manteniendo en las cabeceras de las cuencas que aportan agua para la ciudad de Lima. Esta práctica, conocida como mamanteo o amunas, consiste en

desviar agua de las quebradas durante la estación de lluvias hacia las laderas de las montañas, con la finalidad de aumentar el rendimiento y permanencia de manantiales pendiente abajo. Mediante un estudio de trazadores, encontramos que el agua que se infiltra permanece en el suelo por 45 días en promedio, permitiendo aportar al volumen en los manantiales durante la estación seca. Adicionalmente, mediante un modelo de extrapolación, estimamos que de escalar la técnica en un área aproximada de 1,400 km² en la cabecera de la cuenca del río Rímac, se podría transferir un volumen anual de casi 100 millones de m³ de agua hacia los meses secos más críticos para la ciudad desértica de Lima. Estos resultados muestran la complementariedad de soluciones naturales, ancestrales, y modernas para la seguridad hídrica de las zonas de montaña.

Palabras clave: Infraestructura natural, siembra y cosecha de agua, mamanteo, amunas, trazadores

Importancia de los sistemas de siembra y cosecha de agua para la seguridad hídrica

Javier Antiporta^{1,4}, Juan Diego Bardales^{2,4}, Katya Pérez^{1,4}, María Angélica Villasante^{1,4}, Boris Ochoa-Tocachi^{3,4}, Luis Acosta^{2,4}, Francisco Román^{1,4}, Wouter Buytaert^{3,4}.



RESUMEN

En las zonas montañosas, los recursos hídricos se encuentran bajo una presión severa debido al cambio climático y a las actividades humanas. En respuesta, varias instituciones han volcado su mirada hacia la "infraestructura natural", como complementos sustanciales a las soluciones de ingeniería tradicional, ejemplo de ello son los sistemas de siembra y cosecha de agua.

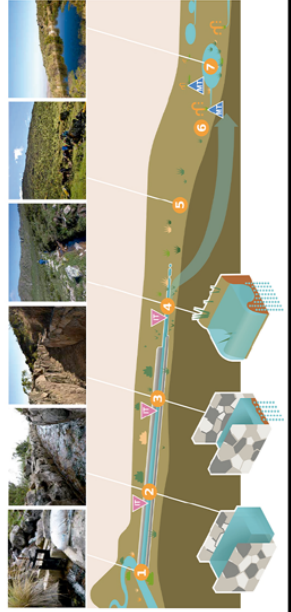
En este póster se evalúa una práctica ancestral vigente de siembra y cosecha de agua en las cabeceras de las cuencas que aportan agua para la ciudad de Lima, conocida como mamanteo o amuna. Mediante un estudio de trazadores, se encontró que el agua que se infiltra permanece en el suelo por 45 días en promedio, permitiendo aportar al volumen en los manantiales durante la estación seca. Adicionalmente, mediante un modelo de extrapolación, se estimó que de escalar la técnica en un área aproximada de 1,400 km² en la cabecera de la cuenca del río Rimac, se podría transferir un volumen anual de casi 100 millones de m³ de agua hacia los meses secos más críticos para la ciudad de Lima.

Fig. 1. Canal de mamanteo. Huamantanga, Perú.



ANTECEDENTES

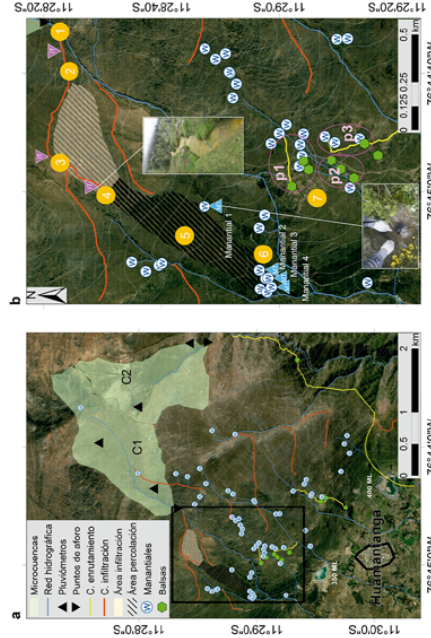
- Lima presenta un déficit hídrico de aproximadamente 43 MMC. En las cabeceras de las cuencas que aportan agua a Lima (Chillón, Rimac, Lurín y Alto Mantaro), algunas comunidades mantienen una práctica ancestral de siembra y cosecha de agua, conocido como mamanteo o amuna.
- El mamanteo consiste en desviar agua de las quebradas durante la estación de lluvias hacia las laderas de las montañas, con la finalidad de aumentar el rendimiento y permanencia de manantiales pendiente abajo.



METODOLOGÍA

- Monitoreo con trazadores: Se inyectó eosina en el canal de infiltración con la finalidad de relacionar zonas de infiltración con zonas de resurgencia de agua, usando carbón activado para capturar el trazador. Asimismo, este monitoreo permitió estimar el tiempo de residencia del agua en el suelo.
- Monitoreo hidrológico: Se instalaron 4 pluviómetros para medir la precipitación y 2 vertederos para medir caudal. Esto con la finalidad de cuantificar los volúmenes potenciales de infiltración que pueden derivar de esta práctica.

Fig 3: a. Distribución espacial de los elementos del sistema de mamanteo, y de los equipos de monitoreo hidrológico. b. Ubicación de los puntos de inyección de trazadores, y de los puntos de muestreo.



CONCLUSIONES

- Se caracterizó el funcionamiento hidrológico de un sistema de infiltración de agua de 1400 años de antigüedad.
- Se estimó un tiempo de retención medio de 45 días, con un rango de entre 2 semanas y 8 meses.
- Se estimó que la práctica puede desviar e infiltrar aproximadamente el 35% del caudal de la estación húmeda de toda la cuenca del Rimac, e incrementar los volúmenes de la estación seca de la cuenca en 7% en promedio y en hasta 33% durante los primeros meses secos.
- Se requiere una caracterización hidrológica posterior para implementar infraestructura indígena similar y soluciones basadas en la naturaleza como parte de una estrategia integral de manejo de recursos hídricos a escala de cuenca.

REFERENCIA Y CONTACTO

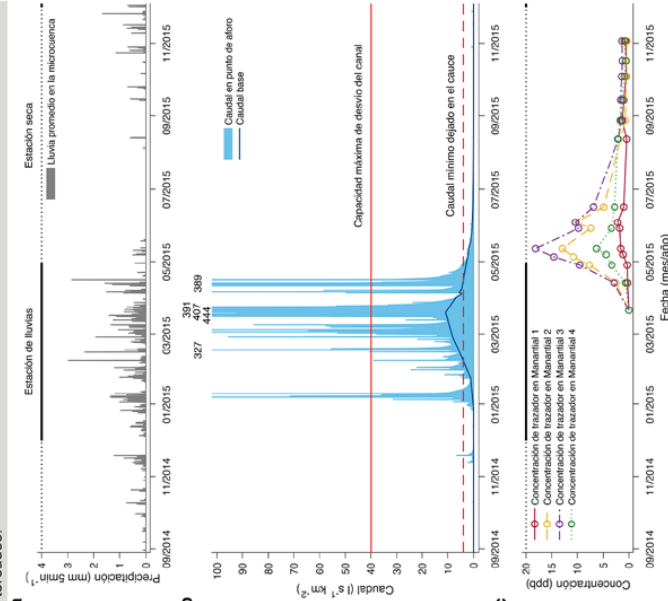
Referencia: Ochoa-Tocachi, B. F., Bardales, J. D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., Zulkafli, Z., Gil-Rios, J., Angulo, O., Grainger, S., Gamme, G., De Bièvre, B., and Buytaert, W. (2019). Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nature Sustainability* 2: 584–593. doi:10.1038/s41893-019-0307-1

Contacto: Javier.antiporta@condesan.org

RESULTADOS

- La precipitación promedio aproximado es de 563 mm.año⁻¹ y 528 mm.año⁻¹ en cada microcuenca monitoreada. El volumen anual total generado es de 84 y 170 x 10³ m³.km⁻².
- La capacidad máxima del canal de infiltración estudiado es de 75 l.s⁻¹, a pesar de caudales máximos en la quebrada de hasta 930 l.s⁻¹.
- Volumenes desviados reales que van desde 33 a 96 x 10³ m³.km⁻², dependiendo del volumen total de lluvia estacional.
- El sistema de infiltración puede incrementar el caudal natural de los cursos de agua en la estación seca entre 3% y 554%.
- La inyección de eosina revela una clara conectividad hidrológica entre el canal y los manantiales, con un tiempo de retención medio del trazador colorante de 45 días, que varía entre 2 semanas y 8 meses.

Fig. 4. a. Serie de tiempo de alta resolución de precipitación. b. Serie de tiempo de alta resolución de caudal. c. Concentraciones de eosina en los manantiales monitoreados.



CONTRIBUCIÓN POTENCIAL PARA LIMA

Estimamos que escalar los sistemas de infiltración podría desviar e infiltrar aproximadamente el 35% del caudal de la estación de lluvias de toda la cuenca del Rimac (198 MMC de agua al año) recuperando aguas abajo un volumen de 99 MMC anuales, lo que incrementaría en un 7% en promedio el volumen de agua durante la estación seca de la cuenca y hasta 33% durante los primeros meses secos.



ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE GENTIANELLA NITIDA (GRISEB.) FABRIS

Giovana Patricia Vadillo Gálvez^{1*}, Susy Juanita Castillo Ramón²,
Mery Luz Suni Ninataype¹

¹Laboratoria de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú

²Laboratoria de Florística, Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

*Email: gpvadillo@gmail.com

G*entianella nitida* conocida como hercampuri, es una especie cespitosa endémica de los Altos Andes centrales del Perú, extraída de manera intensiva de sus poblaciones naturales por sus propiedades medicinales. Los estudios de la biología reproductiva contribuirán a su conservación y manejo. Se reporta en este trabajo aspectos de su biología floral. Para ello se colectaron cinco plantas con numerosas flores, de cada planta se seleccionaron tres estructuras florales en diferente estado reproductivo a los que se realizaron medidas morfométricas y seguimiento durante nueve días, así mismo se evaluó la proporción de polen/óvulos. Los resultados muestran que las flores bisexuales de *G. nitida* presenta dos etapas de desarrollo, la primera etapa es masculina donde las anteras se hacen dehiscentes mientras las ramas estigmáticas se encuentran cerradas, no receptivo y de menor tamaño que el androceo; la segunda etapa femenina donde, las anteras se dirigen a los pétalos y se hacen senescentes y el gineceo va emergiendo (va de 0.76 cm a 1.3 cm) y se torna receptivo. La proporción de polen/óvulos indica que se trata de una

especie de polinización cruzada. La eficiencia reproductiva es del 55% en la formación de semillas. Los resultados muestran que *G. nitida* presenta características florales para propiciar la fecundación cruzada lo cual le estaría indicando que la especie podría presentar alta variabilidad genética.

Palabras clave: Herampure, floración, Gentianaceae



ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE *Gentianella nitida* (Griseb) Fabris

Giovana Patricia Vadillo Gálvez¹, Susy Juanita Castillo Ramón² y Mery Luz Suni Ninataype¹

¹Laboratorio de Fisiología Vegetal; Facultad Ciencia Biológicas – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

²Laboratorio de Florística. Dpto. de Dicotiledóneas. Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos

*e-mail: gpvadillo@gmail.com

Área temática:

INTRODUCCIÓN

Gentianella nitida (Gentianaceae) es una de las especies conocida como "hercampuri", es una especie herbácea cespitosa endémica de los Altos Andes centrales del Perú, extraída de manera intensiva de sus poblaciones naturales por sus propiedades medicinales. Los estudios de la biología reproductiva contribuirán a su conservación y manejo. En este trabajo se reporta aspectos de la biología floral de una población de Junín, Alcacocha ubicada a 18L 400960 UTM 8778353 sobre 4509msnm (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la población de *G. nitida* (Griseb) Fabris



Figura 2. Planta de *G. nitida* Griseb) Fabris

MATERIALES Y MÉTODOS

Para ello se colectaron cinco plantas con numerosas flores (figura 2), de cada planta se seleccionaron 3 estructuras florales en diferente estado reproductivo a los que se realizaron medidas morfométricas (figura 3) y seguimiento durante nueve días. Así mismo se evaluó la proporción de polen/óvulos; Viabilidad de los granos de polen por coloración de aceto carmín y receptividad del estigma por el método con peróxido de Hidrógeno.

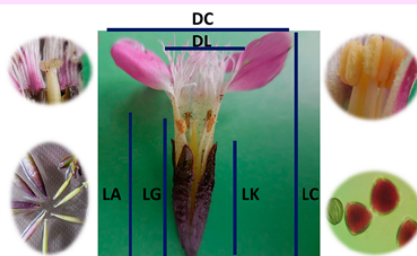


Figura 3. Características morfológicas cualitativas y cuantitativas evaluadas en las flores de *Gentianella nitida* (Griseb) Fabris.

CLAVE DE LAS MEDICIONES MORFOMÉTRICAS

DC: diámetro de apertura de la corola
DL: diámetro de apertura de los laciniados
LC: longitud de la corola
LK: Longitud del Cáliz
LA: Longitud del androceo
LG: longitud del gineceo

Para obtener la eficiencia reproductiva se realizaron conteos de semillas de 27 frutos.

RESULTADOS

Los resultados muestran que las flores bisexuales de *G. nitida* (Figura 3) presenta dos etapas de desarrollo, la primera etapa es masculina donde las anteras se hacen dehiscentes mientras las ramas estigmáticas se encuentran cerradas, no receptivo y de menor tamaño que el androceo.

la segunda etapa femenina donde, las anteras se dirigen a los pétalos y se hacen senescentes y el gineceo va emergiendo (va de 0.76 cm a 1.3 cm) y se torna receptivo (figura 5 y 6).



Figura 4. Botones florales de *Gentianella nitida* (Griseb) Fabris.

La proporción de polen/óvulos (616) indica que se trata de una especie con preferencia a la polinización cruzada. La eficiencia reproductiva es del 55% en la formación de semillas.

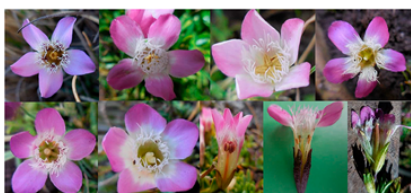


Figura 5. Cambios durante la antesis de las flores de *Gentianella nitida* (Griseb) Fabris.



Figura 6. Cambio internos durante la antesis de las flores de *Gentianella nitida* (Griseb) Fabris.

CONCLUSIÓN

Los resultados muestran que *G. nitida* presenta características florales para propiciar la fecundación cruzada lo cual le estaría indicando que la especie podría presentar alta variabilidad genética.

REFERENCIA

- Freitas, Leandro And Sazima, Marlies. 2009. Floral biology and mechanisms of spontaneous self-pollination in five neotropical of Gentianaceae Botanical Journal of the Linnean Society, 2009, 160, 357–368.
- Castillo S. 2013. Taxonomía y distribución de la familia Gentianaceae (Magnoliopsida) en el departamento de Ancash, Perú. Tesis pregrado. UNMSM
- León, Blanca, José Roque, Carmen Ulloa Ulloa, Peter M. Jørgensen, Nigel Pitman, y Asunción Cano. «El libro rojo de las plantas endémicas del Perú.» Revista Peruana de Biología 13, nº 2 (2006).



METEOROLOGÍA



ANDES: PRIMER SISTEMA OPERACIONAL DE PRONÓSTICO DE CAUDALES EN PERÚ A PASO HORARIO

Waldo Lavado Casimiro^{1*}, Juan Carlos Jiménez Nina¹, Adrián Marko Huerta Julca¹

¹Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú

*Email: waldo.lavado@senamhi.gob.pe

La gestión del riesgo de desastres, en materia de riesgos hidrometeorológicos, involucra el conocimiento y entendimiento de la dinámica de los procesos hidrológicos en una cuenca, con especial énfasis en la relación precipitación-escorrentía. En ese sentido, es importante contar con sistemas de monitoreo y pronóstico de caudales, en tiempo cuasi-real, y a escala temporal reducida, que faciliten la vigilancia operacional de caudales en una cuenca.

El proyecto consiste en la implementación de un modelo hidrológico operacional, para contar con “información” adecuada que reduzca los niveles de incertidumbre de forzantes y salidas del modelo. En la actualidad, la cuenca del río Vilcanota, en el departamento de Cusco, cuenta con un sistema de monitoreo a paso diario; sin embargo, esta escala temporal no permite monitorear crecidas producto de tormentas de corta duración, y más aún, no facilita la previsión de crecidas instantáneas.

Asimismo, la modelación a nivel operacional requiere de la implementación de un framework que facilite al usuario la actualización de los estados del modelo en cada paso de tiempo, y la evaluación en tiempo cuasi-real de las salidas de este (Noh, Tachikawa, Shiiba & Kim, 2013).

Como primer resultado para la implementación del modelo ya se realizó la evaluación y calidad de los datos horarios crudos de precipitación y caudal de las estaciones hidrometeorológicas automáticas ubicadas en el ámbito de la cuenca del río Vilcanota; también se está instalando cámaras en las estaciones hidrométricas para velocimetría y pluviómetros en la cuenca de estudio.

Palabras clave: Sistema, pronóstico, caudal

ANDES: El primer sistema operacional de pronóstico de caudales en Perú a paso horario

Waldo Lavado-Casimiro¹, Juan Carlos Jimenez¹, Adrián Huerta¹,
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)



Los riesgos hidrológicos relacionados con las crecidas repentinas en el Perú han causado muchas pérdidas económicas y vidas humanas en los últimos años. El evento El Niño costero de 2017 impactó en casi toda la vertiente del Pacífico, este evento tuvo tasas de lluvia similares a las de El Niño de 1998, pero las zonas de inundación de este último evento no se tuvieron en cuenta y causaron desbordamientos en las zonas urbanas. Estos ejemplos de urbanización en áreas potenciales de inundación no ocurren solo en eventos extremos como El Niño sino también en regiones andinas semiáridas como Cusco (sur de los Andes Peruanos), donde el 2010 sus lluvias significativas pero no extraordinarias causaron grandes impactos en la zona urbana de la ciudad de Cusco. En este contexto, es necesario desarrollar sistemas completos de alerta temprana contra crecidas repentinas para hacer frente a estos impactos. Para este propósito, generalmente se utilizan modelos hidrológicos e hidráulicos acoplados a modelos meteorológicos numéricos que proporcionan pronósticos. En este sentido, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) lanzó la iniciativa ANDES (Sistema Operacional de Pronóstico de Caudales en Perú a paso horario) Para apoyar los eventos de inundaciones repentinas (Figura 1).

La región piloto será la cuenca de Vilcanota ubicada en el sur de los Andes (Figura 2). Para este propósito, serán monitoreadas 4 estaciones hidrométricas a una resolución horaria (km 105, Chilca, Pisac y Sallca, ver Figura 3). Además, se emplearán 3 cámaras de video en tiempo real para velocimetría y el monitoreo de caudales. Se implementará un análisis exhaustivo de hidrometría (curva de calibración) para seguirlo continuamente. Para el modelamiento hidrológico horario se usaran las variables de las estaciones automáticas (lluvia y temperatura) que se muestran en la Figura 3. Para este propósito, se desarrollará una metodología de predicción espacial de fusión entre la precipitación satelital en tiempo real y la precipitación de la estación de medición. Se evaluarán los productos satelitales GPM (Imerg), GSMAP Hidroestimador. El modelo hidrológico que se utilizará será el GR (Genie rural) que es a paso horario. Este modelo se calibrará en las estaciones hidrológicas (Figura 3). El modelo hidráulico se implementará en los ríos con mayor vulnerabilidad a las inundaciones (modelo Lisflood). La predicción numérica del clima (PNT) se implementará en la cuenca de Vilcanota utilizando el modelo meteorológico de WRF (The Weather Research and Forecasting). La actualización se realizará cada seis horas y para mejorar los resultados de salida se utilizará una metodología de corrección de sesgo. Finalmente el uso de estos pronósticos se utilizará en los modelos hidrológicos e hidráulicos. (Figura 4).

ANDES

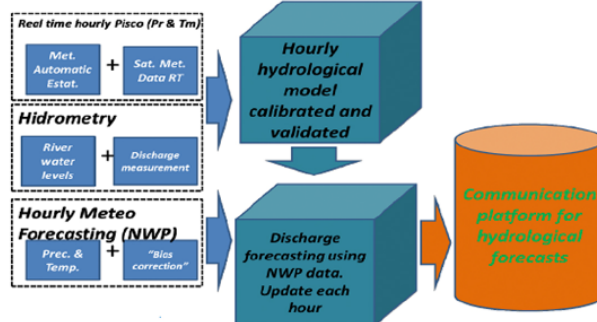


Fig. 1. ANDES Marco de referencia

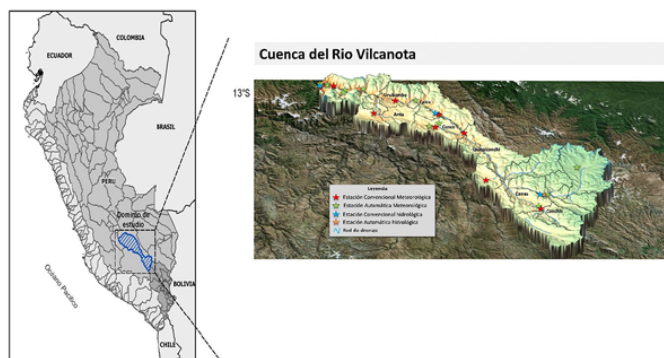


Fig. 2. Cuenca Piloto (Rio Vilcanota)

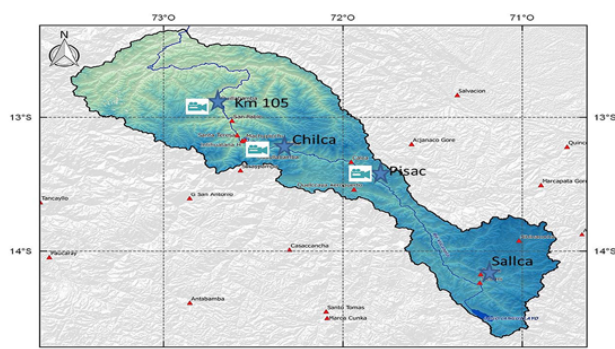


Fig. 3. Red Hidrometeorológica cuenca del río Vilcanota. Los marcadores en estrella son estaciones hidrológicas.

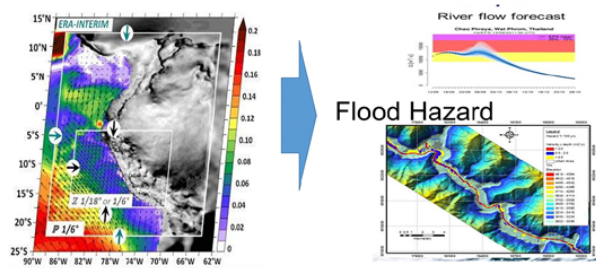


Fig. 4. Resultados esperados: izquierda: configuración de WRF, derecha: predicción del flujo del río y mapas de riesgo de inundación. Fuentes:

<http://sillig.free.fr/Models.html> <http://www.globalfloods.eu/>
http://www.imefen.uni.edu.pe/PP/Is/CONFERENCIA1/IMEFEN_Nestor.pdf

Resumen

Se implementará una primera iniciativa propia para el monitoreo de inundaciones repentinas sistema ANDES en el sur del Perú la idea es comparar la iniciativa FFGC en la región

Información de contacto +51989702529

Email: wlavado@senamhi.gob.pe



UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY AIR TEMPERATURE OBSERVATIONS - PISCOT V1.2t

Adrián Marko Huerta Julca^{1*}, Waldo Lavado Casimiro¹, Juan Carlos Jiménez Nina¹, Kevin Traverso¹

¹Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú

*Email: adrhuerta@gmail.com

Recently, researchers have shown an increased interest in the development of high-resolution

new HRGD can be suitable for operational and research studies in complex mountain regions.

gridded datasets (HRGD) by its utility in different fields such as hydrology, climatology, and ecology. Previous studies in HRGD are largely based on regions with dense stations, however, there is no established methodology for sparse and heterogeneous areas as Peru. Therefore, a climatological aided merging (observed and satellite) for monthly / daily temperature (maximum and minimum) spanning from 1981 to 2016 at 0.1° (PISCOT v1.1) has been developed by the National Service of Hydrology and Meteorology (SENAMHI). In this work, we update PISCOT into 0.01° spatial resolution and through an independent validation in glacierized areas (Southern Peru) we evaluate its performance. We expect this

Keywords: Air temperature, PISCOT, land surface temperature, mountain, Andes, Peru

UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY / DAILY AIR TEMPERATURE OBSERVATIONS - PISCOT v1.2

Adrian Huerta¹, Waldo Lavado¹, Juan-Carlos Jimenez¹ & Kevin Traverso¹
*adrhuerta@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha mostrado un mayor interés en el desarrollo de conjuntos de datos grillados de alta resolución (HRGD) por su utilidad en diferentes campos como la hidrología, la climatología y la ecología. Estudios previos en HRGD se basan principalmente en regiones con estaciones densas (Oyler 2015), sin embargo, no existe una metodología establecida para áreas dispersas y heterogéneas y de pobre calidad (Hunziker et al. 2017) como Perú. Por lo tanto, el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI) ha desarrollado una interpolación climatológicamente asistida para la temperatura máxima (TX) y mínima (TN) mensual que abarca desde 1981 hasta 2016 a 0.1° (PISCOT v1.1). En este trabajo, actualizamos PISCOT a una resolución espacial de 0.015° y a través de una validación independiente en montañas glaciadas (sur del Perú - Quelccaya) evaluamos su desempeño. Los primeros experimentos demuestran una mejor eficiencia de estimación en TN que TX. Posibles mejoras se pueden obtener a través del uso de climatologías de estaciones experimentales en regiones montañosas.

DATOS Y MÉTODOS

DATOS

- Datos observados:
 - Serie diarias de TX y TN (684, 190) a nivel nacional (1981-2016)
- Predictores Temporales:
 - TX y TN (ERA Interim)
- Predictores Espaciales:
 - Temperatura superficial del suelo (LST, MYD11A2), Elevación (Z, GMTED), Latitud (Y), Longitud (X) e Índice de disección topográfica (TDI)

METODOLOGÍA

- Datos Observados
- Control de calidad
- Completación (Predictores temporales)
- Homogenización (Menne y Williams 2009)
- Interpolación climatológicamente asistida (GWR-K / R-SPLINES)
- PISCOT v1.2
- Validación (Quelccaya - 2015-2016)

Fig 1. Distribución espacial de TX y TN

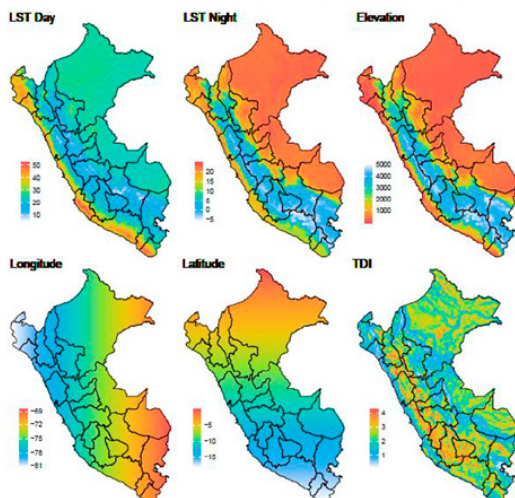
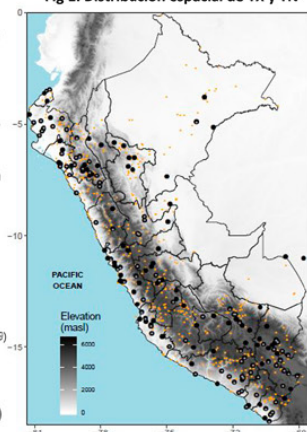


Fig 2. Predictores espaciales de PISCOT v1.2

PERSPECTIVAS

- Mejor eficiencia de TN que TX
 - Uso de climatologías para disminuir errores en zonas de montaña
 - Normales de periodos cortos (estaciones experimentales)
- ¿No usar LST en la estimación de TX?
 - Mayor influencia de LST en TN
- Validación cruzada

RESULTADOS

Fig 3. Climatología de TN (PISCOT v1.2 y v1.1) y ubicación de estación de validación PISCOT v1.2

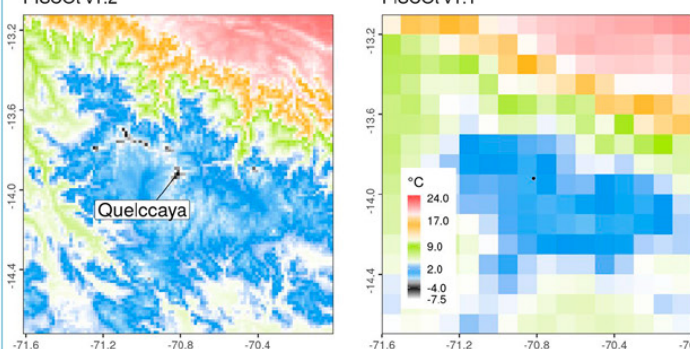


Fig 4. Series temporales de TX y TN

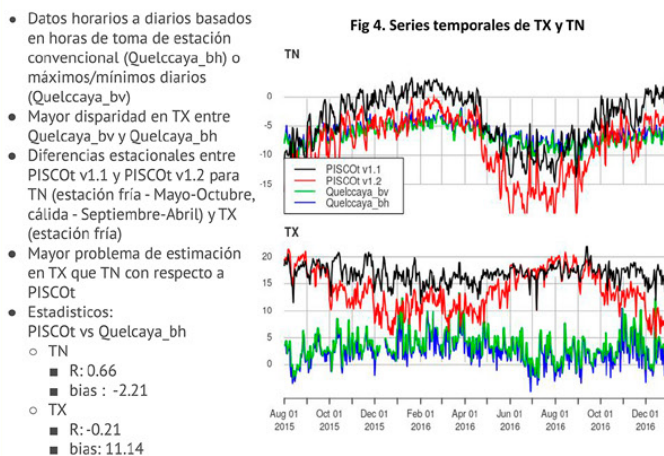
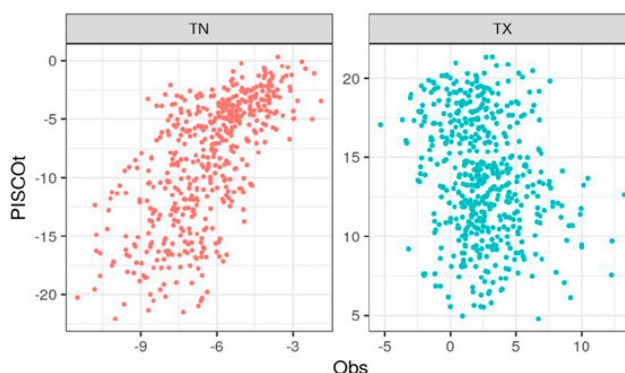


Fig 5. Dispersión entre Observados (Quelccaya_bh) y PISCOT



BIBLIOGRAFÍA

Hunziker, S. Gubler, S. Calle, J. Moreno, I. Andrade, M. Velarde, F. Ticona, L. Carrasco, G. Castellón, Y. Oria, C. Croci-Maspoli, M. Konzelmann, T. Rohrer, M. Brönnimann, S. Identifying, attributing, and overcoming common data quality issues of manned station observations. (2017) doi:10.1002/joc.5037. // Menne, M. J. y Williams, C. N. (2009). Homogenization of temperature series via pairwise comparisons. Journal of Climate, 22(7):1700-1717. // Oyler, J. W., Ballantyne, A., Jencso, K., Sweet, M., y Running, S. W. (2015). Creating a topoclimatic daily air temperature dataset for the conterminous united states using homogenized station data and remotely sensed land skin temperature. International Journal of Climatology, 35(9):2258-2279.

1: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.



TEMPERATURA MEDIA INVERNAL DE LA SUPERFICIE TERRESTRE COMO INDICADORA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CORDILLERA VILCANOTA

Hairo León Dextre^{1,2*}, Katy Medina Marcos¹, Edwin Aníbal Loarte Cadenas¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú

*Email: hleon.permafrost@inaigem.gob.pe

El cambio climático tiene un claro impacto sobre la criósfera, especialmente en los glaciares tropicales debido a su estrecha relación que establecen con la temperatura. Para comprender la magnitud de este impacto se ha desarrollado el presente estudio, el cual busca evaluar los procesos del calentamiento en la Cordillera Vilcanota comprendida entre los 14°33'08" y 13°07'23" latitud sur y los 71°45'11" y 70°28'14" longitud oeste, empleando la temperatura superficial terrestre (LST) y el número de heladas superficiales obtenidos de los productos LST de MODIS Terra en el periodo 2002 a 2019 durante el invierno austral (junio-agosto).

Los resultados muestran que la relación entre la LST media mensual y la temperatura media mensual del aire tiene una correlación significativa que varía de 0.57 a 0.82, lo cual demuestra que los datos de LST tienen un bajo grado de incertidumbre. La distribución de la tendencia LST media de invierno aumenta en un 85% de las áreas, mientras que disminuye en 15% solo en pocas. Esta tendencia muestra que la LST media de invierno está aumentando a una tasa promedio de 0.89 °C / década. La tendencia del LST media durante el invierno tiene una relación directa con

la altitud. Los efectos del calentamiento muestran un aumento 1.25 °C / década por encima de 5000 m s.n.m., mientras se tiene un aumento de 0.68 °C / década entre 1000-1500 m s.n.m. En las partes altas (≥ 5000 m s.n.m) el número de heladas superficiales tiene un valor cercano a 1 lo cual indica que son superficies más frías.

La dependencia de las tendencias de aumento de temperatura del LST con respecto a la altitud podría tener graves consecuencias para los recursos hídricos almacenados en los glaciares de la Cordillera Vilcanota, la cual cubre la mayor parte de la región de Cusco.

Palabras clave: LST, temperatura superficial terrestre, heladas superficiales, sensoramiento remoto, MODIS, Cordillera Vilcanota

Temperatura media invernal de la superficie terrestre como indicadora del cambio climático en la cordillera Vilcanota

Hairo León^(1,2), Katy Medina⁽¹⁾ y Edwin Loarte⁽¹⁾

(1) Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú

(2) Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Huaraz, Perú

E-mail: hleon.permafrost@inaigem.gob.pe

1. Ámbito de estudio y objetivo

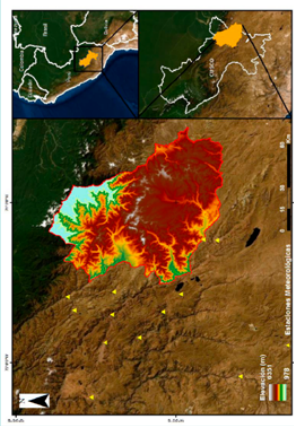


Figura 1. Ubicación geográfica de la cordillera Vilcanota

La cordillera Vilcanota tiene un área de 7521 km² con una extensión aproximada de 134 km [Inventario Nacional de Glaciares Las cordilleras glaciares del Perú, 2018]. El objetivo principal del presente estudio es estimar la magnitud del impacto que ejerce el cambio climático en dicha cordillera, empleando la temperatura media invernal de la superficie durante el invierno austral (junio, julio y agosto) en el periodo 2002 al 2019.

2. Metodología

Para este estudio, aplicamos teledetección satelital. Sistemas de Información Geográfica, pruebas estadísticas de correlación y tendencia, productos MODIS LST (temperatura de la superficie terrestre), MERIT DEM corregido (90m) y datos de temperatura del aire obtenidos en estaciones meteorológicas terrestres. Se utilizaron 216 productos MODIS LST, los cuales cubrían toda el área de estudio en espacio y tiempo.

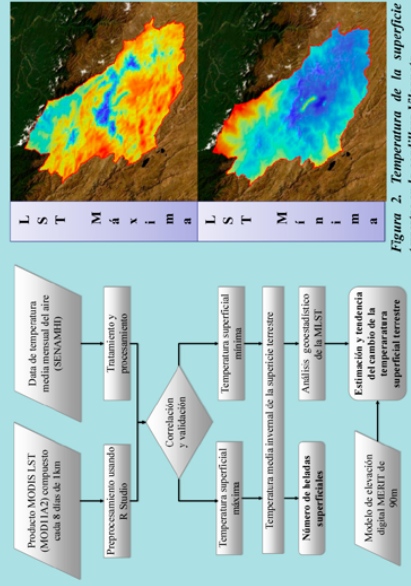


Figura 2. Temperatura de la superficie terrestre en la cordillera Vilcanota

3. Discusión y resultados

Prueba de correlación entre la temperatura del aire y la LST

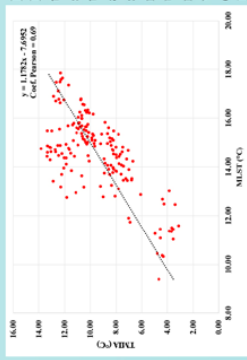


Figura 3. Correlación de Pearson entre la TMA y LST.

Tendencia de la LST en los últimos 18 años (2002-2019)

La tendencia que sigue la LST fue determinada empleando la prueba de tendencia de Mann-Kendall. Se determinaron los 3 tipos de valores, siendo los mayores a 0 aquellos valores que tienen una tendencia positiva, <0 valores con tendencia negativa y 0 valores que no presentan ningún tipo de tendencia. De tal manera que la distribución de tendencia de la LST media de invierno aumenta en un 85% de las áreas, mientras que solo disminuye en 15% en unas pocas.

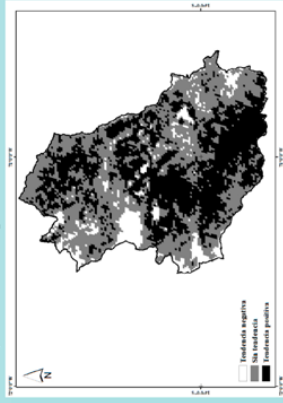


Figura 4. Tendencia de Mann-Kendall aplicada a los datos de LST.

4. Conclusiones

En este póster, se evaluó la tendencia de la temperatura de la superficie terrestre (LST) observadas para la cordillera Vilcanota. Se analizó una correlación lineal entre la temperatura media invernal del aire y la temperatura media de la superficie terrestre (MODIS LST). Las tendencias de la media invernal (2002-2019) demostraron un aumento en la mayor parte del área de estudio, con la excepción de las partes más bajas de la cordillera donde la tendencia es negativa. Como se muestra en los resultados el incremento de temperatura tiene un valor de 0.19°C por año, este incremento alcanza un mayor valor [0.34-0.52°C] en las áreas que se encuentran por encima de los 5000 m s.n.m. Lo cual indica que son las partes altas de la cordillera las cuales vienen siendo afectadas por el cambio climático, modificando el contenido de agua en los glaciares.

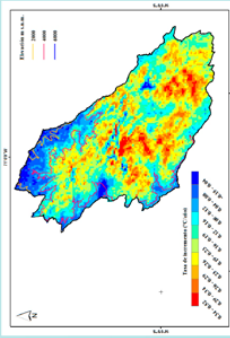


Figura 5. Tasa de incremento de la temperatura durante la última década

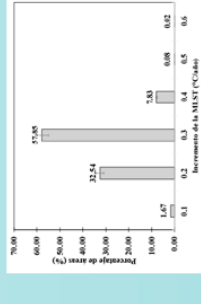


Figura 6. Incremento de la LST por encima de los 5000 m

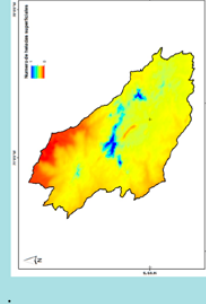


Figura 6. Heladas superficiales en la cordillera.

Esta tendencia muestra que la LST media de invierno está aumentando a una tasa promedio de 0.19°C. La tendencia de la LST media durante el invierno tiene una relación directa con la altitud, ya que los efectos del calentamiento muestran un aumento de 0.52°C por encima de los 5000 m.s.n.m., mientras que se tiene un decremento de -0.15°C por debajo de los 2000 m s.n.m.

Esto demuestra que las partes altas de la cordillera son las áreas que más incremento de temperatura han experimentado. Claramente este fenómeno puede encontrar su explicación en otras variables morfológicas (pendiente, orientación, y exposición a la radiación solar) y el tipo de cobertura que hay en la superficie (cobertura vegetal, nieve, glaciar, entre otras).

El número de heladas superficiales tiene un valor cercano a 1 en las partes más altas, aproximadamente por encima de los 5000 m s.n.m., esto indica que son superficies más frías y propensas a contener elementos propios de ecosistemas criosféricos, por ejemplo permafrost.

Sin embargo, el fuerte patrón de calentamiento que se encuentra en la tendencia MLST en las elevaciones más altas se ve contrarrestado por las heladas superficiales. Este estudio también confirma que las características del terreno tiene una influencia notable en la relación entre la MLST y la temperatura del aire.

Fuentes de financiamiento:

- El presente estudio está financiado por el Proyecto Permafrost a través del INAIGEM, FONDECYT y el Banco Mundial.
- Referencias:
- Aguilar, J.; Espinoza, R.; Espinoza, J.; Rojas, J.; et al. (2019) "Elevation depend warming of land surface temperatures in the Andes assessed using MODIS LST time series (2000-2017)". 10.1016/j.jag.2018.12.013.
- Ran, Y.; Li, X. y Jin, R. (2011) "Estimation of the Mean Annual Surface Temperature and Surface Frost Number Using the MODIS Land Surface Temperature Products for Mapping Permafrost in China". Vol. 47, páginas 317-321.
- INAIGEM (2018) "Inventario Nacional de Glaciares y las cordilleras glaciares del Perú"



DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA ZONAS DE ALTA MONTAÑA

Jean Pol Luján León^{1*}, César Verde Mendocilla¹, José Rodríguez Figueroa²

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú

*Email: jjlujanleon@gmail.com

La necesidad de contar con información meteorológica en estudios hidrológicos en zonas de alta montaña, demanda instalar estaciones meteorológicas en estos ecosistemas. Sin embargo, la instalación de estas estaciones implica un alto costo; por ello, contar con estaciones meteorológicas de bajo costo permite cubrir más áreas de estudio. Entre las principales ventajas de una estación meteorológica basada en OpenSource destacan los bajos costos, la personalización y una mayor apertura a la innovación.

El diseño del prototipo de estación meteorológica se dividió en componentes mecánicos, electrónicos y de software. Así mismo, se consideró las directivas de la Organización Mundial Meteorológica (OMM), los factores ambientales y climáticos que tiene una zona de alta montaña.

El prototipo se instaló en la quebrada Quillcayhuanca, a 3800 m s.n.m, junto a una estación meteorológica Campbell Scientific, con la finalidad de comparar sus medidas en horas determinadas. La estación Campbell captó medidas de temperatura promedio de 9.18 °C, máxima de 9.62 °C, una mínima de 8.48 °C, promedio de humedad relativa de 64.5% HR, de

presión atmosférica de 646.8 mbar y de radiación 929.4 W/m². En la misma hora el prototipo entregó una temperatura promedio de 9.25 °C, una máxima de 9.81 °C, una mínima de 8.51 °C, 64.5% HR como promedio de humedad relativa, 646.88 mbar de presión y 930.45 W/m² en radiación.

Se concluye que los datos captados en el prototipo de estación meteorológica son muy similar al de las estaciones convencionales. La diferencia promedio en temperatura es de 0.15 °C, en humedad de 1% HR, en presión atmosférica 0.14 mbar y en radiación solar del 6% o 40 W/m². El costo beneficio es de 4 a 10 veces menor. Así mismo, se pone a disposición de la comunidad científica una herramienta de precisión, accesible y personalizable de acuerdo al interés del estudio.

Palabras clave: Prototipo de bajo costo, precisión, OpenSource, estación meteorológica, validación

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA ZONAS DE ALTA MONTAÑA

Jean Pol Lujan Leon ^(1,2), César Verde Mendocilla ⁽¹⁾, José Rodríguez Figueroa ⁽²⁾

(1) Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Huaraz, Perú (2) Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática, Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Lima, Perú
E-mail: jjlujanleon@gmail.com

1. Introducción

Dada la necesidad de contar con datos meteorológicos para poder llevar a cabo estudios de diferente índole, y el alto costo que tienen las estaciones meteorológicas, se han realizado diferentes estudios con la finalidad de poder conseguir una estación meteorológica de bajo costo y de similar precisión tales como los de Morón, Pablo, Fernández y Suiz, (2018) y Netto y Arigony-Neto (2019).

A esto hay que sumarle que en nuestro país existe una muy escasa red de estaciones meteorológicas en zonas de alta montaña

Este proyecto tiene como objetivos:

Diseñar, ensamblar e instalar una estación meteorológica basada en OpenSource de bajo costo para factores climáticos de zonas de alta montaña.

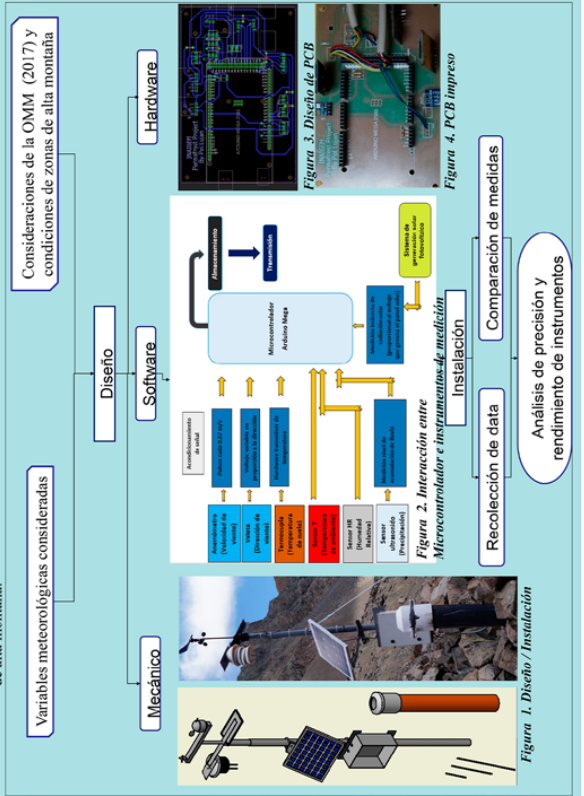
Comparar y evaluar la correlación de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación Campbell Scientific.

Analizar los beneficios económicos de la implementación del prototipo frente a una estación tradicional.

Este se viene ejecutando gracias a la financiación del CONCYTEC y el Banco Mundial, en el marco de la ejecución del proyecto "Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel nacional como potencial de reserva hídrica, (Proyecto Permafrost)".

2. Metodología

El diseño del prototipo de estación meteorológica se dividió en componentes mecánicos, electrónicos y de software. Así mismo, se consideró las directivas de la Organización Mundial Meteorológica (OMM), los factores ambientales y climáticos que tiene una zona de alta montaña.



3. Resultados y discusión

El prototipo se instaló en la Quebrada de Quilcayhuanca, a 3800 m s.n.m., junto a una estación meteorológica Campbell Scientific, con la finalidad de comparar sus medidas en horas determinadas.



Figura 5. Prototipo Quilcayhuanca

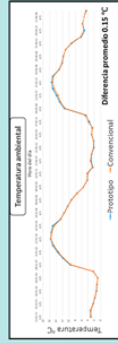


Figura 6. Comparación temperatura

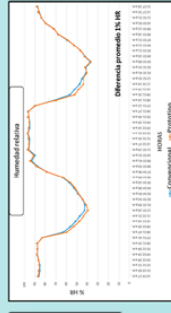


Figura 8. Comparación humedad

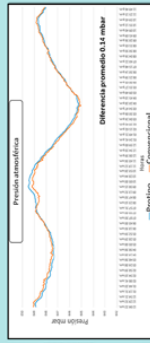


Figura 7. Comparación presión

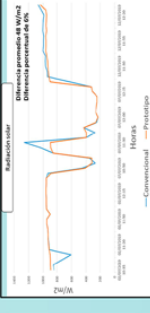


Figura 9. Comparación radiación

El prototipo se ha comportado de manera adecuado durante casi 6 meses de instalado, siendo mas amigable su descarga de datos y el almacenamiento que ofrece en comparación con otras estaciones de renombre.

Las medidas de temperatura ambiental, humedad relativa, presión han tenido un resultado mas que aceptable, sin embargo en la radiación solar se encuentra la mayor diferencia, esto debido entre otros factores como lo cambiante que es esta variable meteorológica además de la diferencia de orientación que tienen los lugares en donde se analizo la muestra. Por otro lado también se esta evaluando si la calidad de los instrumentos (en términos de precisión de medida) sigue siendo la misma en comparación con las primeras semanas de su instalación.

4. Conclusiones

Se realizó el diseño, ensamblaje e instalación de una estación meteorológica basada en OpenSource.

Se comparo y evaluó la correlación de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación tradicional estos van de 4 a 10 veces mas económicos.

Se ha analizado los beneficios económicos de la implementación del prototipo frente a una estación tradicional estos van de 4 a 10 veces mas económicos.

Actualmente y dados los primeros resultados, se ha instalado un prototipo para monitorear un glaciar cubierto (Kinzel - Llanganuco).



Figura 10. Prototipo Kinzel (4400 m s.n.m.)



Figura 11. Prototipo Chilá (5000 m s.n.m.)

Referencias:

- Morón, C., Pablo, J., Fernández, D., & Suiz, P. (2018). Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems. MDPI and ACS Style, 11, 2234. Obtenido de Energies.
- Netto, G. T., & Arigony-Neto, J. (2019). Open-source Automatic Weather Station and Electronic Radiation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers. HardwareX, 5, e00053. <https://doi.org/10.1016/j.hwx.2019.e00053>.
- OMM. (2017). Manual del Sistema Mundial de Observación. Volumen I.



SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF WRF PRECIPITATION ASSOCIATED WITH THE REGIONAL-LOCAL CIRCULATION IN THE TROPICAL ANDES

Alan García Rosales^{1*}, Rosmeri Porfirio da Rocha², Clementine Junquas³

¹Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú

²Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG), Sao Paulo, Brasil

³Université Grenoble Alpes, Institute of Environmental Geosciences, Grenoble, Francia

*Email: jesusgarciaabio@gmail.com

During the austral summer, the precipitation in the Río Santa basin, localized in the Tropical Andes, is strongly influenced by the interaction between large-scale circulation with local processes. However, this interaction has not been fully explored in the region. Therefore, the identification of the circulation patterns, and how occurs the interaction with local and regional-scale mechanisms influences the rainfall development is the main objective of this work. The analysis used fine resolution Weather Research and Forecasting (WRF) simulations nested in ERA5 reanalysis data. Different combinations of parameterizations were evaluated with a horizontal grid size of 5 km, to find the most suitable configuration for simulating the observed diurnal cycle of precipitation. Once identified the configuration, longer nested simulations (December 2012 until March 2013) with a horizontal grid size of 6 km and 2 km were performed. Estimated (TRMM, CMORPH, PISCO, CHIRPS) and local observations were used to validate the simulations. The chosen WRF configuration consists mainly of the Goddard microphysics and the Betts-Miller-Janjic cumulus parametrization. This configuration can simulate the main features of the observed diurnal cycle of precipitation, according to the in-

situ data. However, the model still overestimates precipitation. In assessing the circulation associated with the precipitation diurnal cycle it was identified as a westerly flow during the daytime, which is perpendicular to the Andes and enters through the north of the basin. This near-surface flow is vital for the development of rainfall over the western slopes-highlands of the basin from noon to mid-afternoon. At the same time, on the eastern side of the basin, the coastal moisture transport converges with Amazon easterly flow over the mountains causing precipitation. On the other hand, between the late afternoon and early night, the rainfall predominates on the eastern slope associated with the upslope valley winds persisting in this period.

Keywords: Circulation patterns, WRF, parameterizations, diurnal cycle

Spatio-temporal variability of WRF precipitation associated with the regional-local circulation in the Tropical Andes



Rosales, Alan G.^{1,2}; Porfirio da Rocha, Rosmeri²; Junquas, Clementine³

¹National Meteorology and Hydrology Service of Peru
²Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG), Brazil
³Institute of Environmental Geosciences, Grenoble, France

Contact: jesusgarciaio@gmail.com



ABSTRACT

The estimation of precipitation in Tropical Andes is challenging for the low temporal scale of satellite data and the limited number of in-situ measurements. The precipitation patterns in the Tropical Andes region are important especially in the Santa Basin where the agriculture, hydrology, and glacier formation are strongly influenced by precipitation. Satellite (product 3B42 of Tropical Rainfall Measuring Mission with grid size of 27km), in-situ observations and atmospheric model outputs (WRF-Weather Research and Forecasting) are compared for March 2013 to evaluate the atmospheric processes associated with the temporal and spatial distribution of precipitation. ERA5 reanalysis data is used to drive one domain with a horizontal grid size of 5km. Sensitivity experiments in WRF model demonstrate that the combination of Goddard (microphysics), Betts-Miller-Janjic (cumulus parameterization) and Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Level 2(planetary boundary layer) improve considerably the simulated diurnal cycle of precipitation. Over eastern side of the basin, northwestern winds parallel to the Andes is associated with precipitation formation in the mountains, while the western Pacific flow is the main mechanism transporting humidity to produce rainfall in the western side of the basin.

INTRODUCTION

The processes that take place on the Andes are influenced by circulation in the tropics. This circulation is dominated by the easterly winds, which carry moisture that controls precipitation (Garreaud, 2009). An important area located in this part of the tropical Andes is the Rio Santa Basin, composed of the Cordillera Negra and the Cordillera Blanca, contains the largest chain of glacial mountains in the tropics (Mourre et al., 2016) and the Cordillera Blanca represents 35% of the total area of Peruvian glaciers (Zapata et al., 2008). In this area the temperature and precipitation influence strongly the long-term evolution of the water balance and the prediction of these variables is associated with the future of the glaciers and water resources (Mourre et al., 2016). However, using climate models to simulate properly the regional processes over the Andes topography have limitations (Giovannetone and Barros, 2009). For that, the study proposes the using of regional climate models (RCM) such as the Weather Research Forecasting (WRF) model to simulate the period of March 2013 comparing with TRMM 3B42 and in situ precipitation data. The WRF has different options of physical parameterizations such as microphysics, convection, planetary boundary layer, radiation, soil surface among others (Skamarock et al., 2008). In this way, it is possible to configure the model to simulate local phenomena, such as the formation of convective nuclei associated with intense rainfall in the Andes (Garreaud, 1999). In addition, the WRF outputs may have high spatial and temporal resolutions, which help to reconstruct the tri-dimensional structure of atmosphere in a region of complex topography with low density of observed data (Garreaud, 2009).

EXPERIMENTAL SETTINGS

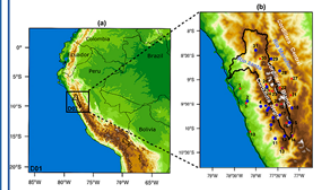


Figure 1. (a) WRF domains for the 6 km (D01) and 2 km (D02) grid spacing simulations. (b) Location of the upper Santa watershed. Color dots indicate the meteorological station position. Blue and orange dots correspond to SENAMHI and UNASAM stations respectively.

*Simulations forced by reanalysis ERA5.
*WRF-ARW version 3.8.1.
*The sensitivity test is developed by WRF5 simulations.
*Atmospheric processes associated with the diurnal cycle precipitation are explained by WRF6 and WRF2 simulations.

	WRF5	D01 (WRF6)	D02 (WRF2)
Domain	Tropical Andes	Tropical Andes	Bio Santa region
Configuration	Regional Simulation	Regional simulation	One-way nesting
Horizontal grid spacing	5	6	2
Time	452x472	381x397	187x172
Number of grid points	452x472	381x397	187x172
Vertical resolution	38 sigma levels	38 sigma levels	38 sigma levels
Forcing	ERA5	ERA5	WRF6
Run time step (s)	30	12	4
Output time resolution (h)	1	1	1
Start/end date	28 Feb 2013 / 31 March 2013	28 Feb 2013 / 31 March 2013	28 Feb 2013 / 31 March 2013

Table 1. Characteristics of the WRF simulations at the three different spatial grid spacings.

	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT
PBL	Tenno University	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT
Surface layer	Miller-Venables	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT
Cumulus scheme	Grid-Overland	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT
Microphysics	Thompson	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT	EXPCT

Table 2. Names and the selected physical parameterization used in each WRF experiment.

RESULTS

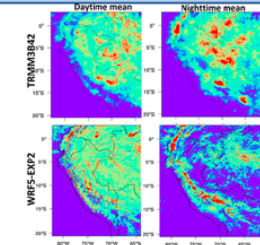


Figure 2. Precipitation mean from TRMM3B42 (March 2013) and WRF5-EXPCT2 corresponding to daytime (7-18hr) and nighttime (19-6hr).

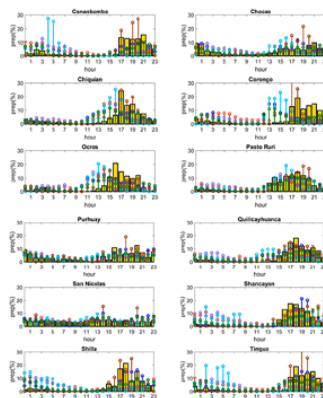


Figure 3. Precipitation diurnal cycle mean from observations (yellow bar) and WRF5 experiments (color lines).

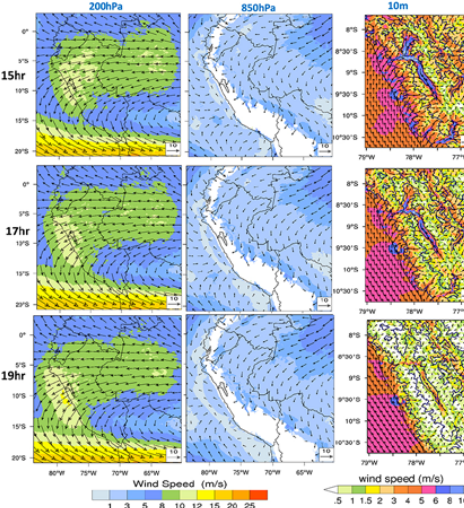


Figure 4. WRF5-EXPCT2 wind speed mean (color shaded, m s⁻¹) and wind direction mean (arrows, m s⁻¹) at 200 hPa for the first column in the left side and 850 hPa in the second column. In the third column the WRF5-EXPCT2 wind speed mean (color shaded, m s⁻¹) and wind direction (arrows, m s⁻¹) at 10m. Each row indicates the conditions at 15, 17 and 19 hr.

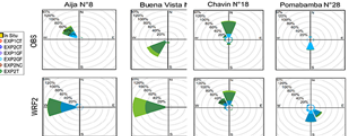


Figure 5. Observed (OBS) and simulated (WRF5-EXPCT2) wind speed rise in the coordinates of measurements in situ.

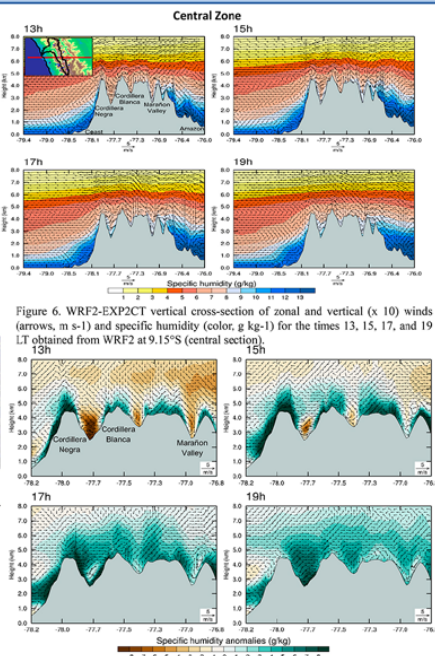


Figure 6. WRF5-EXPCT2 vertical cross-section of zonal and vertical (x 10) winds (arrows, m s⁻¹) and specific humidity (color, g kg⁻¹) anomalies (time-step mean minus the daily average) for 13, 15, 17, and 19 LT from WRF2 at latitude 9.15° S (central section) and between 78.2° - 76.8° W of longitude.

CONCLUSIONS

- According to the evaluation of different WRF experiments, the best configuration was the EXPCT2.
- According to the hours chosen (15hr, 17hr, and 19hr), the high level circulation in the Pacific side doesn't affect the circulation at 850hPa. Otherwise, happen in the Amazon side where eastern flux in high level intensifies the humidity transport from Amazon to the Santa Basin.
- In the Pacific side during the early morning to late evening Pacific flow transports humidity to the basin and intensify the katabatic winds in the basin valley.
- According to the model, the Pacific flow transport more humidity than the Amazon flow for precipitation of the Santa Valley. This result contrasts with the majority of research of Andes precipitation where the humidity is principally from the Amazon.

REFERENCES

- Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22, 3.
- Giovannetone, J. P., & Barros, A. P. (2009). Probing regional orographic controls of precipitation and cloudiness in the central Andes using satellite data. *Journal of Hydrometeorology*, 10(1), 167-182.
- Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., Sicart, J. E., Figueroa, R., & Cochachin, A. (2016). Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(1), 125.
- This research is supported by a CAPESES agency from Brazil government.



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO KÁRSTICO FISURADO EN EL SECTOR DE PUCAMARCA, DISTRITO DE CHINCHERO, CUSCO

Carlos Wiliam Huamán Sucso^{1*}, Yuosef Gavino Valenzuela Valenzuela¹

¹Centro Bartolomé de las Casas, Cusco, Perú

*Email: karlwil666@gmail.com

El área de estudio se encuentra ubicado en la Región Cusco, provincia de Urubamba, distrito de Chinchero, Comunidad de Pucamarca, sobre los 3715 m s.n.m que está comprendido dentro de la microcuenca Piuray Ccorimarca. En tal espacio geográfico se encuentra la quebrada de Pucamarca, en el cual existen surgencias de manantes asociados a rocas calizas que son usados para el consumo y riego de la población.

Las rocas aflorantes comprenden una gran estructura de un acuífero kárstico fisurado el cual tiene un comportamiento diferente respecto a un acuífero de rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas que no sean carbonatadas por la propiedad de disolución y formación de cavidades kársticas en contacto con el agua circulante a través de las fisuras.

A estas rocas están asociados depósitos con composición arcillosa en partes cubriendo al acuífero, los cuales presentan muy baja permeabilidad, por ende no son adecuados realizar sistemas de recarga como zanjas de infiltración para la captación de aguas de lluvia y mucho menos cuando el acuífero es de composición carbonatada en el cual la circulación dominante de agua es a través de sus fisuras formando disoluciones y no

por la porosidad como ocurre en otro tipo de rocas.

Y ante el principal problema de la escasez de agua para el consumo y riego, surge la necesidad de realizar infraestructuras de almacenaje y/o recarga adecuados para este tipo de litologías, para mejorar la disponibilidad y aumentar la resiliencia en épocas de estiaje.

Por lo cual es necesario conocer sus características geológicas, geomorfológicas, estructurales, hidrogeológicas, hidrológicas, hidrometeorológicas y para obtener una información más precisa del subsuelo será necesario ejecutar métodos indirectos de prospección geofísica de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT), que permita conocer características como el comportamiento geométrico a profundidad, niveles freáticos, grado de fracturación y otros componentes de la estructura del acuífero kárstico fisurado.

Palabras clave: Hidrogeología, acuífero, calizas, kárstico, geofísica, tomografía eléctrica



DRY SEASON CIRCULATION TYPE CLASSIFICATION APPLIED TO PRECIPITATION AND TEMPERATURE IN THE PERUVIAN ANDES

Marti Bonshoms Calvelo^{1*}, Francisco José Álvarez García², William Cabos Narváez², José Úbeda Palenque¹, G. Liguori³, Kelita Quispe Vega⁴

¹Universidad Complutense de Madrid (UCM), España

²Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España

³Monash University, Melbourne, Australia

⁴Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú

*Email: martibon@ucm.es

We present the first application of a systematic circulation regimes classification that characterize the Tropical Andes during the dry season (May-August). The k-means clustering method is used on reanalysis data of daily mean geopotential height at the 500-hPa and 200-hPa levels for the period 1981-2015. Combining the variability in intensity and location of the geopotential upper-level anomalies, 15 Circulation Types (CT) are established. The relationship between the CTs and surface conditions in the Peruvian Andes (PA) is analysed using a high resolution daily temperature and rainfall gridded dataset. More intense precipitation is linked to four cyclonic CTs characterized by an Upper Tropospheric Trough (UTT) centred at subtropical latitudes ($\sim 30^\circ\text{S}$) and between -78.75°W to -71.25°W of longitude. Drier conditions across the entire PA appear particularly for three strongly anticyclonic CTs. Strong variations in daily minimum and maximum temperatures can be related to the effect of day/night cloudiness in the radiative balance, but also to subtropical cold air advections favoured by the UTT. CTs featuring warmer conditions have become more frequent in the last decades of the record, the opposite holding for cold CTs. There

is no systematic link between positive or negative trends in occurrence and the wetter and drier character of the CTs. The annual frequency of nine CTs are significantly correlated with sea surface temperature anomalies in the equatorial Pacific Ocean, with warmer and drier (cooler and wetter) CTs generally preceded by an El Niño (La Niña) pattern in the previous wet season (December-March).

Palabras clave: Andes, circulation types, Kmeans, precipitation, temperature, Tropics

DRY SEASON CIRCULATION TYPE CLASSIFICATION APPLIED TO PRECIPITATION AND TEMPERATURE IN THE PERUVIAN ANDES

M. Bonshoms¹, F. J. Álvarez-García², J. Ubeda¹, W. Cabos², K. Quispe⁴, G. Liguori³,

¹ Universidad Complutense de Madrid. ² Universidad de Alcalá de Henares. ³ Monash University. ⁴ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

1. MOTIVATION AND GOALS

Around 86% of Peruvian population is settled in the productive valleys of the extremely arid Pacific coast and the semi-arid Andean region (INEI 2018). Population growth and economic activities in these areas (irrigated agriculture, hydropower, industry, mining, etc.) impose an increasing water demand, whose is critically dependent on Andean freshwater supply, specially during the Dry Season. Besides, cold outbreaks and snowfalls in the Peruvian Andes (PA) also cause severe socio economic impacts in population health, agriculture and traffic mobility.

The main objective is to determine which upper level circulation patterns produce significant changes in daily precipitation and extreme temperatures, in the Peruvian Andes during the austral winter.

Nevado Coropuna (6377 masl), Perú.

2. DATA AND METHODS

- Daily 500 and 200 hPa geopotential height (Z500)** data from the ERA-Interim reanalysis (Dee et al., 2011), for the period 1981-2015, with a spatial resolution of 0.75°x0.75°.
Analyzed Region: Western tropical South America (Figure 1, left).
- Daily gridded precipitation and extreme temperatures** dataset from PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations; Ayabar et al. 2019) with a spatial resolution of 0.05° x 0.05°.
Analyzed Region: Peruvian Outer Tropical Andes (>3000 masl, Figure 1 right).

First step: Principal Component Analysis (PCA) with 9 PCA retained (99% variance).

Second step: A total of 15 clusters (K) are obtained following the method proposed by Pham et al. (2005). The upper limit of 50 is fixed so as not to explore K ranges exceedingly far from the number of classes advisable for our sample size (15-20, Spekat et al. 2010).

Third step: Obtain a classification Type applying the kmean method.

Four step: Relate termo-pluviometric conditions in the 4 regions of the Peruvian Andes, with the Circulation Type Classification obtained.

3. STUDY AREA

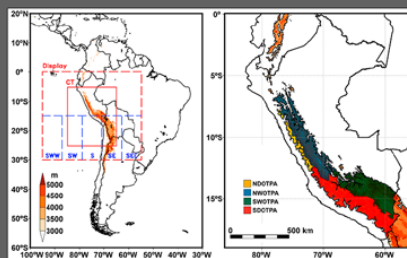


Figure 1: Domain of the CTC (Left) and the Peruvian Andes partitioned in 4 regions (right).

Northern Wet Outer Tropical Peruvian Andes (NWOTPA): Defined as grids where PPOct > 30 mm and AT < 3°C, north of 13.5°S.

Northern Dry Outer Tropical Peruvian Andes (NDOTPA): Defined as grids where PPOct < 30 mm and AT < 2°C, north of Cañete river.

Southern Wet Outer Tropical Peruvian Andes (SWOTPA): Defined as grids where PPOct > 30 mm and AT > 3°C, south of 12°S.

Southern Dry Outer Tropical Peruvian Andes (SDOTPA): Defined as grids where PPOct < 30 mm and AT > 2°C, south of Cañete river. An isolated area at ~14.5°S where AT < 2°C, has been included in this sub-region.

4. RESULTS AND DISCUSSION

A total of 4305 days from May to August (MIJA) for the 1981-2015 period, have been classified into 15 Clusters, based on the combined Z500 and Z200 geopotential fields. The structure at Z500 and Z200 (Figure 2, A and C), their respective anomalies hereinafter referred as Za500 and Za200 (Figure 2, B and D) and the annual frequency of each type (Figure 2, E) are ranking depicted attending to their sizes.

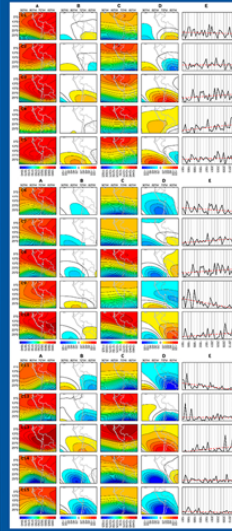


Figure 2: Geopotential height at 500 hPa (A) and 200 hPa (C), Geopotential height anomaly at 500 hPa (B) and 200 hPa (D) and interannual variations of the annual frequency (%) and linear trend (red dotted line) (E). Corresponding to Circulation Types 1-15 for 1981-2015 DS.

Relative change in Daily Mean Dry Season Precipitation (DPR)
 $DPR = 100 * (1 - \text{mean CT daily precipitation}) / (\text{mean DS daily precipitation})$
Contribution to Total Dry Season Precipitation (CDSP)
 $CDSP = \text{CT mean daily precipitation} / \text{DS mean daily precipitation}$
Daily Minimum Temperature Anomaly (Tna)
 $Tna = \text{CT mean daily minimum temperature} - \text{DS mean daily minimum temperature}$
Daily Maximum Temperature Anomaly (Txa)
 $Txa = \text{CT mean daily maximum temperature} - \text{DS mean daily maximum temperature}$
Daily Precipitation Anomaly (Dpa)
 $Dpa = \text{CT mean daily precipitation} - \text{DS mean daily precipitation}$

The relationship between CTs and daily precipitation show high DPR under C6, C14 and C15 in the 4 subregions (Figure 3), being C6 the CTs with higher Contribution on Dry Season precipitations. These CTs correspond to cyclonic types with negative Za500 between -78.75°W and -71.25°W and a northward extended negative Za200.

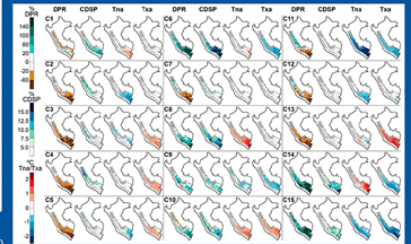


Figure 3: Relative change in Daily Mean Dry Season Precipitation (DPR), Contribution to Total Dry Season precipitation (CDSP), Minimum Temperature Anomaly (Tna) and Maximum Temperature Anomaly (Txa), corresponding to CT 1-15.

Regarding effects on Daily minimum/maximum temperature anomalies, with in the PA (Figure 4), C11 is the coldest type, producing Very Cold to Extremely Cold Tna in the entire PA. Cold Tna conditions (Table 3) are also observed with C15 in extended areas of the PA but with lower intensities. These CTs are characterized by an intense UTT over the continent reflected with the negative Za500 centred in the SEE sub-area (from -62.25°W to -54.75°W) and S sub-area. The location of the UTT, with their axis on the mountain range, favours a strong upstream cold and dry air advection over the PA. Cold Tna (Table 3) in the southern PA are also detected with C2 and C12.

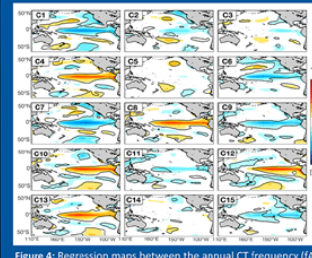


Figure 4: Regression maps between the annual CT frequency (fA) time series and the previous DJFM SSTA. Black contours represent the 95% significance level based on a Student's t test.

CTs positively correlated to tropical Pacific SSTA (C4, C8, C10, C12 and C13) are defined by an intense UTH at 200 hPa, indicative of warming of the tropical western South America troposphere as a result of heat transfer from the Ocean to the upper troposphere on the study area.

5. CONCLUSIONS

- Increased precipitation over the entire PA is related to negative upper-level geopotential heights on the subtropical Southeastern Pacific. It can be related to an Upper Tropospheric Trough centred between ~ 80-70°W). Regarding trends in precipitation, there is an increase in frequency of warm and dry CTs C3 and C13, as well as a reduction in the occurrence of the main contributor to total dry season precipitation in the area, type C6.
- The positive (negative) long-term trend of CTs linked to warm (cold) upper-level conditions, is coherent with the Mid-Upper atmosphere and Equatorial Pacific Ocean warming registered in the analysed period.
- The annual frequency of most of the CTs show significant correlations with ENSO indices. In general terms, CTs connected to positive (negative) ENSO phases lead to warmer (cooler) daily temperatures and higher (lower) precipitations in the PA.



TELEDETECCIÓN



ÁRBOL DE DECISIONES PARA LA DELIMITACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA EN LA U.H. PARIAC-RAJUCOLTA, APLICANDO TELEDETECCIÓN

Raquel del Pilar Ríos Recra^{1*}, Beatriz Fuentealba Durand¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, (INAIGEM), Huaraz, Perú

*Email: rrios@inaigem.gob.pe

El entendimiento de la realidad en el funcionamiento de los ecosistemas es una necesidad del ser humano por la relación que existe de la sociedad con las dimensiones del territorio por los recursos que utiliza de ellos para la supervivencia.

La variedad espaciotemporal de las coberturas vegetales de los ecosistemas de montaña complica la delimitación a gran escala para la gestión de los recursos naturales y sus servicios ecosistémicos; por este motivo se utilizó datos de sensores remotos (óptico y radar) para identificar de manera semiautomática los ecosistemas que presentan variados tipos de coberturas vegetales reflejadas en cada pixel de una imagen satelital para este caso del sensor óptico Sentinel 2 y el relieve terrestre con el sensor radar Alos Palsar.

Fue posible realizar un árbol de decisiones que nos ayude a clasificar en base a la respuesta espectral de las superficies escogidas y en base al conocimiento de la ubicación de las coberturas en un mismo espacio con diferente relieve; debido a que los diferentes ecosistemas tienen comportamientos similares en los rangos espectrales característicos para la vegetación.

El resultado muestra un árbol de decisiones que utiliza 04 raster de sensor óptico normalizados con datos corregidos a nivel de reflectancia en superficie, un raster de división de bandas SWIR y BLUE para delimitación de glaciar, un raster de división de bandas VNIR y BLUE para delimitación de espejos de agua y sombras, un raster de división de bandas VNIR y RED para delimitación de Bosque Relicto, 02 raster de sensor radar de relieve, uno con datos de altitudes en metros y otro con datos de pendiente en grados y el cálculo de Índice de Infrarrojos que resalta los píxeles con presencia de humedad en el suelo, para la delimitación de humedales y bosques relictos; obteniendo un análisis de exactitud final ($K=0.98$), mostrando un alto grado de concordancia, validado con información de puntos tomados en campo de coberturas representativas de los ecosistemas presentados.

Palabras clave: Ecosistemas, teledetección, árbol de decisiones, humedales, bosques relictos

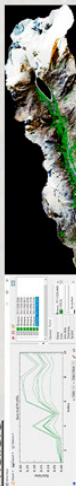
Árbol de decisiones para delimitación Ecosistemas de Montaña en la U.H. Pariac-Rajucolta, aplicando teledetección.

Autora: Raquel del Pilar Ríos Recra. Coautora: Beatriz Fuentesliba Durand; Institución: INAIGEM; correo: beatriz.fuentesliba@inaigem.gob.pe

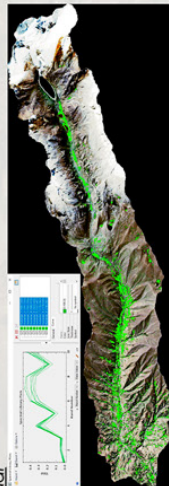
Resumen: La identificación y delimitación de los ecosistemas de montaña, es el primer paso para la gestión de los recursos naturales y sus servicios ecosistémicos, siendo fundamentales para la supervivencia de nuestra sociedad. Incorporar la variedad espacio-temporal de las coberturas vegetales de los ecosistemas de montaña es un reto en el proceso de delimitación. En este caso se propone el uso del "Árbol de decisiones", para incorporar criterios en base al conocimiento (condiciones geográficas de desarrollo de cada ecosistema), complementado con datos espectrales de imágenes satelitales Sentinel 2 y Alos Pulsar. El resultado muestra un árbol de decisiones que utiliza 04 raster de sensor óptico normalizados con datos corregidos a nivel de reflectancia de espesores de agua y sombras, un raster de división de bandas VNIR y BLUE para delimitación de glaciér, un raster de división de bandas VNIR y BLUE para delimitación de Bosque Relicto, 02 raster de sensor radar de relieve (uno con datos de pendiente en grados) y el cálculo de Índice de Infrarrojos que resulta los píxeles con presencia de humedad en el suelo, para la delimitación de humedales y bosques relictos. El análisis de exactitud final (K=0.98) muestra un alto grado de concordancia, validado con información de puntos tomados en campo de coberturas representativas de los ecosistemas presentados.

Clasificación por Spectral Angle Mapper

Bosque Relicto



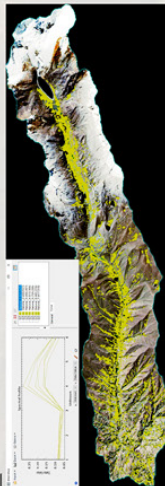
Humedal



Posizal



Matorral



Conclusiones:

- *La delimitación de ecosistemas es un proceso complicado que requiere incluir datos de condiciones geográficas y datos de respuestas espectrales, teniendo así una delimitación con mejor exactitud y menor porcentaje de error Kappa.
- *El comportamiento de los ecosistemas de montaña deben ser clasificados por separado para evitar que los algoritmos utilizados fueren a la pertenencia de una clase que no corresponde, disminuyendo así el error Kappa.

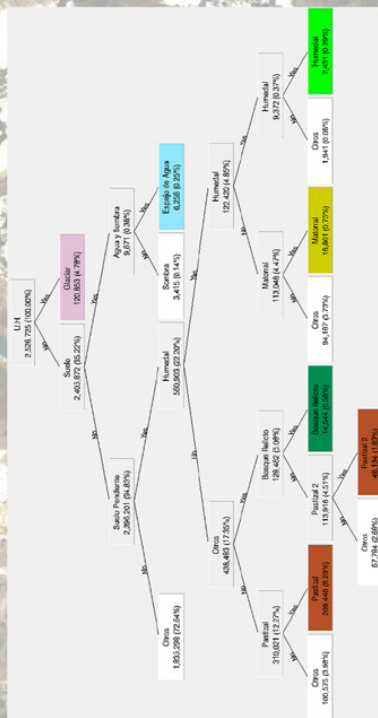
Referencias Bibliográficas:

- *Metodología para identificar cultivos de coca mediante análisis de parámetros red edge y espectroscopia de imágenes; Universidad Nacional de Colombia; Facultad de Agronomía, Escuela de Postgrado; Bogotá, Colombia; 2012
- *Identificación De Humedales Alto Andinos Integrando Imágenes Landsat Y Aster Gdem Con Árbol De Decisión Sobre La Cabeceira De Las Ciencias Pisco Y Pampas En Huancavelica – Perú; I Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM/LabTel

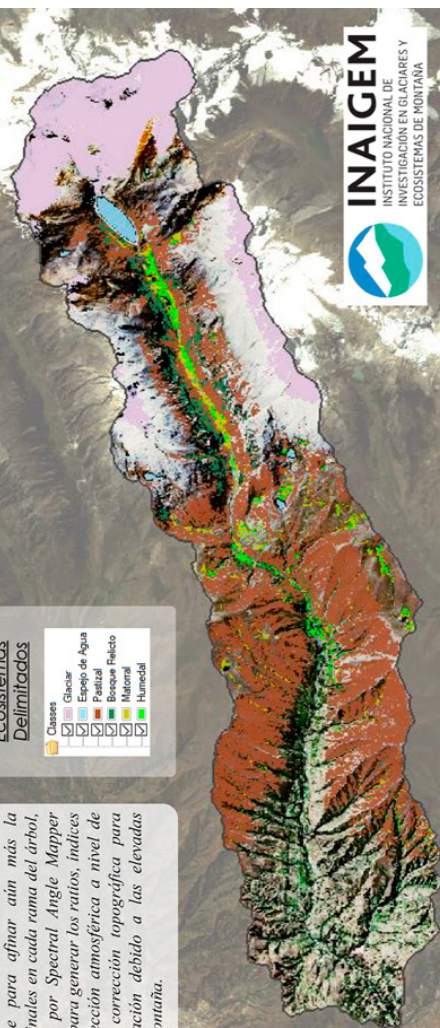
Resultados:

Condiciones Ecosistemas	Altitud (msnm)	Pendiente (°)	Índice de Infrarrojos	Ratios de bandas	SAM
Bosque Relicto	4300-4800	33°-73°	-	Banda 5/ Banda 4	7 Endmembers
Humedales	3750-4800	0.1°-15°	(Banda 8-Banda 11) / (Banda 8 + Banda 11)	-	9 Endmembers
Posizal	3750-4750	0.1°-29°	-	-	6 Endmembers
Matorral	3750-4750	0.1°-15°	-	-	7 Endmembers

Árbol de Decisiones:



Ecosistemas Delimitados





ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES EN LAGUNAS DE ORIGEN GLACIAR MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN, CORDILLERA BLANCA, PERÚ

Gladis Celmi^{1,2*}, Mayra Mejía¹, Lucas Torres¹

¹Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, (INAIGEM), Huaraz, Perú

²Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú

*Email: gcelmi@inaigem.gob.pe ; gladistch@gmail.com

El monitoreo de lagunas de origen glaciar es limitado, debido a la accesibilidad, altos costos en logística y mano de obra calificada; ello dificulta la disponibilidad de información sobre la oferta hídrica que es importante para fines de gestión y toma de decisiones.

De acuerdo al inventario desarrollado por INAIGEM, la Cordillera Blanca tiene 722 lagunas con áreas mayores a 5 km², de los cuales pocas cuentan con batimetría, entre ellas la laguna Palcacocha con datos del año 2016.

El objetivo de este trabajo es establecer una metodología confiable y replicable para estimar los volúmenes de agua en lagunas de origen glaciar, mediante el uso de técnicas de teledetección; para ello se utilizaron imágenes Sentinel del año 2016 y Landsat de los años 2007 y 2013, los cuales fueron previamente corregidos topográfica, atmosférica y radiométricamente; en base a estas imágenes se obtuvo el mapa de Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificada (MNDWI), y a partir de los trabajos batimétricos se elaboró el mapa de niveles de profundidad.

La correlación de los datos pixel a pixel entre los mapas generados, arrojó un $R^2 = 0.6$. La función que presentó un mejor ajuste fue la ecuación polinómica; con la cual se determinaron los niveles de profundidad en función a valores del MNDWI. El volumen de agua de las lagunas se estimó a partir del área y de las profundidades obtenidas.

El método se aplicó a cuatro lagunas de la Cordillera Blanca, las que fueron categorizadas de acuerdo a su superficie y profundidad, esto para comparar el método en lagunas con diferentes extensiones y profundidades.

Los resultados muestran que los volúmenes de agua estimados a partir del MNDWI, fueron muy cercanos a los determinados con información batimétrica, mostrando una variabilidad de +/- 10%, obteniendo mejores resultados para lagunas extensas y de poca profundidad.

Palabras clave: Lagunas de origen glaciar, volumen de lagunas, profundidad de lagunas, imágenes satelitales, MND

Estimación de volúmenes en lagunas de origen glaciar mediante técnicas de teledetección, Cordillera Blanca, Perú. Gladis Celmi Henostroza^{1,2}, Mayra Mejía Camones² y Lucas Torres Amado² ¹Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ²Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). gcelmi@inaigem.gob.pe

Resumen
El monitoreo de lagunas de origen glaciar es limitado; ello dificulta la disponibilidad de información con fines de gestión y toma de decisiones. El presente trabajo busca establecer una metodología confiable y replicable para estimar los volúmenes de agua en lagunas de origen glaciar, mediante el uso de técnicas de teledetección. Se utilizaron imágenes Sentinel del año 2016 y Landsat de los años 2007 y 2013, los cuales fueron previamente corregidos topográficamente, atmosféricamente y radiométricamente; en base a estas imágenes se obtuvo el mapa de índice de agua de Diferencia Normalizada Modificada (MNDWI), y a partir de los trabajos batimétricos se elaboró el mapa de niveles de profundidad.

La correlación de los datos pixel a pixel entre los mapas generados, arrojó un $R^2 = 0.6$. La función que presentó un mejor ajuste fue la ecuación polinómica; con la cual se determinaron los niveles de profundidad en función a valores del MNDWI. El volumen de agua de las lagunas se estimó a partir del área y de las profundidades obtenidas. El método se aplicó a 4 lagunas de la Cordillera Blanca. Los resultados muestran que los volúmenes de agua estimados a partir del MNDWI, fueron muy cercanos a los determinados con información batimétrica, mostrando una variabilidad promedio del +/- 10%, dependiendo de la característica de la laguna.

Introducción
La Cordillera Blanca se ubica en el departamento de Ancash y cuenta con un total de 836 lagunas de origen glaciar con áreas mayores de 5 km², las cuales aportan caudales a la vertiente del Pacífico y al Atlántico. A lo largo de la cuenca del Río Santa se desarrollan múltiples actividades y proyectos de envergadura que dependen del recurso hídrico, entre ellos, los proyectos Chincas, Chavimochic y la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato. En ese sentido, es importante realizar el monitoreo constante de las lagunas de origen glaciar con la estimación de volúmenes, mediante técnicas sencillas y que impliquen menor inversión de recursos.

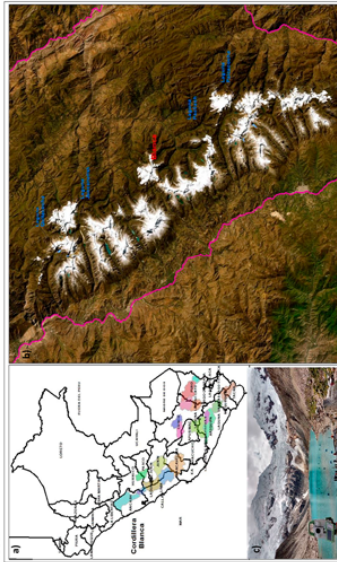


Figura 1. Localización del área de estudio. a) Localización de la Cordillera Blanca en el Perú. b) Ubicación de las lagunas en la Cordillera Blanca. Norte Quitacocha y Jancanurish, por el sur Paclish y Paclacocha. c) Laguna Paclacocha (Fotografía: Lucas Torres).

Antecedentes
Se han desarrollado investigaciones para estimar el volumen de agua en lagunas empleando técnicas de teledetección, una de ellas fue realizada por Santiago, 2013, en el que emplea una muestra de 13 lagunas de origen glaciar de la Cordillera Blanca, obteniendo valores promedio de reflectancia de 0.04 y 24.67 de profundidad, mediante las imágenes del sensor Landsat. Otro estudio realizado en el que calcula la capacidad de embalse en lagunas al sureste de Córdova Argentina por Degioanni et al. 2002, empleando imágenes Landsat, sus resultados arrojan una variación de 20 % menos que el calculado por métodos convencionales, concluyendo que las imágenes Landsat son apropiadas para estimar volúmenes en lagunas superficiales. Asimismo, se han realizado algunos trabajos de batimetrías en algunas lagunas de la Cordillera Blanca, tal como se muestra en la figura 2.

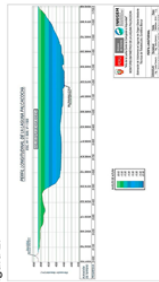


Figura 2. Perfil de la laguna Paclacocha

Problema
En la Cordillera Blanca, de las 836 lagunas de origen glaciar inventariadas, solo algunas cuentan con información batimétrica, ello indica que los trabajos de monitoreo de lagunas de origen glaciar son poco frecuentes, debido principalmente a factores como la accesibilidad, los altos costos en logística y mano de obra calificada. Esta limitante, a su vez, pone en evidencia la escasa información disponible para la estimación de la oferta hídrica y el control del desbalance de lagunas de origen glaciar. Ante esta problemática, las técnicas de teledetección se presentan como una alternativa para determinar el volumen de agua en las lagunas a partir de la estimación de su extensión y profundidad.

Objetivo
Establecer una metodología confiable para estimar los volúmenes de agua en lagunas de origen glaciar, mediante el uso de técnicas de teledetección, con fines de monitoreo.

Metodología
Insusmos: Se emplearon imágenes satelitales de libre acceso, Landsat 2007, Landsat 8 desde el año 2013 y Sentinel 2 del año 2016. Asimismo, se usó los datos de batimetría del Área de Evaluación de Glaciares y Lagunas – ANA. Inventario de Glaciares y Glaciares del INAIGEM.

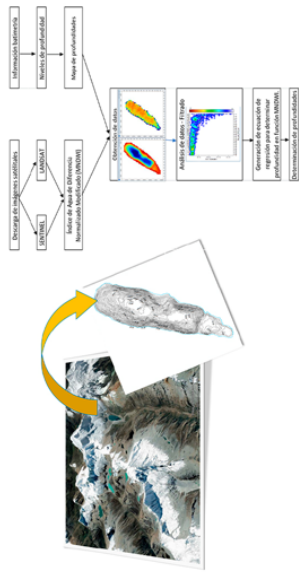


Figura 3. Diagrama de flujo de la investigación

Resultados y discusión
A continuación se presentan las principales características morfológicas de las lagunas evaluadas:

Tabla 1. Características de las lagunas evaluadas									
N°	Nombre	Altitud (m)	Perímetro (m)	Área superficial (m²)	Profundidad (m)	Volumen (m³)	Batimetría (m)	Altitud espejo de agua (m)	Altitud máxima (m)
1	Paclacocha	433.72	1589.82	3973.34	51457.38	1740353.24	Feb.-2016	4562.88	4562.88
2	Jancanurish	450.85	1081.12	2697.56	318620.98	12321848.53	agosto.-2011	4290.00	4290.00
3	Paclish	310.77	886.05	1151.37	18873.27	3985344.094	dic.-2011	4617.42	4617.42
4	Quitacocha	265.38	735.16	1873.52	130406.7	3231755.813	agosto.-2011	4774.00	4774.00

Fuente: Área de Evaluación de Glaciares y Lagunas – ANA

De acuerdo a la tabla 1 la laguna Paclacocha representa con mayor superficie, Jancanurish es la más profunda, Quitacocha la de menor superficie y Paclish la de menor profundidad. Dichas características entre otras como el nivel de turbidez del agua son determinantes al generar la ecuación con mejor ajuste para el cálculo de profundidades y volúmenes de agua en lagunas.

Del análisis de regresión realizado entre los valores del índice de humedad (MNDWI) y los obtenidos por interpolación de datos batimétricos, se obtuvieron las ecuaciones polinómicas para cada laguna analizada, tal como se observa en las siguientes figuras:

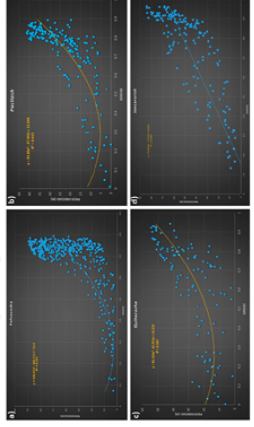


Gráfico 1. Profundidad calculada a valor MNDWI a) Laguna Paclacocha, b) Laguna Paclish, c) Laguna Quitacocha, d) Laguna Jancanurish

De la gráfica 1 observamos que todas las ecuaciones presentan una relación directa entre la profundidad y los valores de MNDWI (entre 0 a 1), es decir, mientras más profundo la laguna se obtiene valores mayores de MNDWI. En la laguna Paclacocha los valores máximos de MNDWI están entre 0.7 a 0.8, donde se encuentran las profundidades máximas que va entre 60 m a 71 m.

En la laguna Paclish, los valores máximos de MNDWI varían entre 0.8 y 0.9 que corresponden a las profundidades de 40 a 45 m. Asimismo, en la laguna Quitacocha ubicada al norte de la cordillera, los valores máximos de MNDWI se encuentran entre 0.8 y 0.95, las que corresponden a profundidades de 30 a 60m. Finalmente la laguna Jancanurish se encuentra entre 0.9 y 1, con profundidades de 70 m a 90m.

Cada ecuación calculada representa el mejor ajuste obtenido para cada tipo de laguna ya que están estrechamente relacionadas a las características propias de cada laguna evaluada y a sus valores únicos de reflectancia. La ecuación determinada para la laguna Paclish, presentó el mejor ajuste con un coeficiente de determinación de 0.615. Considerando las características morfológicas de dicha laguna (Tabla 1), se considera que el método arroja mejores resultados para lagunas de menor extensión y poco profundas.

Tabla 2. Variaciones entre volumen batimétrico y volumen calculado

N°	Nombre de laguna	Área superficial (m²)	Prof. máxima - Batimetría (m)	Volumen batimétrico (m³)	Volumen calculado (m³)	Diferencia de porcentaje (%)
1	Paclacocha	51457.38	-71.1	1740353.24	1702504.06	-2.17
2	Jancanurish	318620.98	-88.28	12321848.53	11079167.91	-10.08
3	Paclish	18873.273	-42.2	3985344.094	3788003.961	-4.95
4	Quitacocha	130406.7	-56.98	3231755.813	3329726.235	3.03

De la tabla 2 podemos ver el volumen determinado por batimetría y volumen calculado, donde la diferencia de porcentaje varía de un máximo de 10% con un mínimo de 3%, obteniendo valores cercanos entre ambos volúmenes.

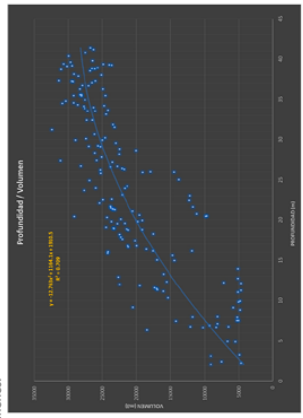


Gráfico 2. Ecuación profundidad & volumen laguna Paclish

El Gráfico 2, muestra la relación entre el volumen y la profundidad representado en una ecuación de segundo grado, con un coeficiente de determinación de 0.7 mostrando una relación directa, mostrando profundidad de 2 m y volumen de 5000 m³ y a una profundidad de 40 m, un volumen de 31000 m³.

Conclusiones

- Las ecuaciones polinómicas de segundo grado son las que presentan el mejor ajuste para representar la relación profundidad y MNDWI, mostrando coeficientes de determinación aceptables.
- El método arrojó mejores resultados para lagunas de menor extensión y poco profundas, como es el caso de la laguna Paclish, con un coeficiente de determinación de 0.615 y relación profundidad / volumen con un coeficiente de determinación de 0.7.
- Las ecuaciones generadas son aplicables para cada laguna evaluada, ya que se encuentran relacionadas a sus características particulares, siendo necesario evaluar la ecuación para lagunas con características similares.

Referencias

- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431600600589179>
- Degioanni, A., Renner, M., Cisneros, J., & Cantero, A. (2002). Batimetría de lagunas mediante teledetección: Ajustes de un modelo empírico en el sureste de Córdoba, Argentina. Revista de teledetección, 89 – 95
- Santiago, A. (2013). Evaluación de la variación volumétrica de la laguna Sajuna Alta debido a la sedimentación, mediante técnicas de teledetección, periodo 1998-2011. UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO", Ancash - Perú.

Agradecimiento

Santiago Martel, Alexander, Yarleque Gálvez, Christian y Loarte Cadenas, Edwin.

