



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

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



ISSN 2519-7649

# REVISTA DE GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Año 2, N° 3  
Diciembre 2017  
Huaraz - Ancash



# Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Año 2, Número 3 – Diciembre 2017



## INAIGEM

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

Huaraz, Ancash, Perú



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

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



# Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña

## INAIGEM

### Presidente Ejecutivo

*Ing. Benjamín Morales Arnao*

### Secretario General

*Sr. Jorge Rojas Fernández*

### Editor

*Mg. Steven A. Wegner*

### Comité Editorial

*Sr. Jorge Rojas Fernández*

*Ing. Ricardo Villanueva Ramírez*

*Dr. Roberto Arias Flores*

### 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 Haerberli (Geographisches Institut, Universität Zürich, Suiza)*

*Ing. Zaniel Novoa Goicochea (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 publica artículos científicos originales e inéditos especialmente en las áreas de glaciología y ecología de ecosistemas de montaña, así como disciplinas afines de ciencias de la tierra, ciencias biológicas y ciencias sociales. Los trabajos recibidos son evaluados por revisores externos según criterios de calidad.

La *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* no está indizada todavía, pero nuestra meta es cumplir con las pautas para serlo, cuyo trámite se iniciará después de la publicación de este número.

ISSN 2519-7649

**Editado por:**

Copyright © 2017. 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](mailto: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: Soluciones Gráficas

**Impreso en:**

Corporación Globalmark SAC  
Parque Ginebra 630, Huaraz, Ancash  
Enero de 2018

Tiraje: 500 ejemplares

La revista está disponible a texto completo en:

<http://www.inaigem.gob.pe/biblioteca/publicaciones/compilado>

**Fotos de la portada:** (arriba) Pico Norte del nevado Huascarán, desde Campo Morrena, encima de Musho, Yungay, Ancash (R. Villanueva); (derecha) Siembra y cosecha de agua en Coltus, Cordillera Negra, Huaraz, Ancash (H. Valverde); (abajo) Papa nativa (*Solanum tuberosum*), parcelas del Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Ecosistemas de Montaña “Reynaldo Trinidad Ardiles”, Cátac, Recuay, Ancash (J. Rosales); (izquierda) Viscacha norteña (*Lagidium peruanum*), Quebrada Llaca, Huaraz, Ancash (H. Valverde). **Foto de la contraportada:** Vista aérea del hielo de Pastoruri y su laguna proglacial, Carpa, Cátac, Recuay, Ancash (A. Santiago con INAIGEM drone).

CONTENIDO

Editorial .....	7
<b>1. Percepciones tradicionales del cambio climático en comunidades rurales altoandinas, en la Cordillera Blanca, Ancash</b> <i>Traditional perceptions of climate change in high-Andean rural communities in the Cordillera Blanca, Ancash</i> Doris Walter .....	9
<b>2. Ice core records of climate and environmental variability in the tropical Andes of Peru: Past, present and future</b> <i>Registros en núcleos de hielo de variabilidad de clima y ambiente en los Andes tropicales del Perú: Pasado, presente y futuro</i> Lonnie Thompson, Ellen Mosley-Thompson, Mary E. Davis and Stacy E. Porter .....	25
<b>3. Exploring patterns and controls on the hydrochemistry of proglacial streams in the upper Santa River, Peru</b> <i>Explorando patrones y controles en la hidroquímica de las corrientes proglaciales en el alto río Santa, Perú</i> Alex M. Eddy, Bryan G. Mark, Michel Baraër, Jeffrey McKenzie, Alfonso Fernández, Susan Welch and Sarah Fortner .....	41
<b>4. Función de regresión polinomial para la estimación del volumen de la laguna Palcacocha (Huaraz, Ancash) en sus diferentes niveles de cota</b> <i>Polynomial regression function for estimation of the volume of Lake Palcacocha (Huaraz, Ancash) at different surface heights</i> Hernán R. Vega Mejía .....	59
<b>5. Una breve descripción de los servicios ecosistémicos, hídricos y culturales de la Cordillera Blanca y su entorno</b> <i>A brief description of the ecosystem, water and cultural services of the Cordillera Blanca and its surroundings</i> Daniel Boyano Sotillo .....	67
<b>6. Políticas públicas y educación rural en la sierra del Perú: Construyendo alternativas (2<sup>da</sup> parte) – Ecosistemas de montaña: Las bases y los fundamentos para un sistema educativo propio</b> <i>Public policies and rural education in the highlands of Peru: Constructing alternatives (part 2) – Mountain ecosystems: The basis and foundations for their own educational system</i> Antonio Guerrero Villar y Rosa Paz Soldán Villareal .....	81
<b>7. Artropodofauna de los bosques de <i>Polylepis</i> (Rosaceae) de la zona de Conchucos, Ancash</b> <i>Arthropodofauna of the <i>Polylepis</i> (Rosaceae) forests of the Conchucos area, Ancash</i> Anahí J. Oroz-Ramos, Abdiel A. Bustamante-Navarrete, Jhony Farfán-Flores y Óscar J. Santander-Azpilcueta .....	97

---

<b>8.</b>	<b><i>Puya raimondii</i> Harms del Santuario Nacional Calipuy, La Libertad</b>	
	<i>Puya raimondii Harms of the Calipuy National Sanctuary, La Libertad</i>	
	Elbert H. Zavaleta Zavaleta .....	113
	<b>Guía para Autores</b> .....	120

---

## EDITORIAL

### Alerta Temprana Efectiva

El concepto de alerta temprana puede o no incluir algún “sistema” para alertar a una población potencialmente afectada. Instituciones internacionales como la UNESCO manejan una definición de alerta temprana que es compartida por el INDECI en el Perú. Básicamente, **alerta temprana** es “la provisión de información oportuna y eficaz a través de instituciones identificadas, que permite a individuos expuestos a una amenaza tomar acciones para evitar o reducir su riesgo y aumentar su preparación para una respuesta efectiva”. Además, una **amenaza** o un **peligro** es “un evento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental”. Una de las actividades humanas más amenazantes, aparte de la degradación ambiental general, es el lanzamiento intercontinental de misiles balísticos con ojivas nucleares. El North Warning System (NWS) es un sistema de radar de alerta temprana de los Estados Unidos y Canadá para la defensa aérea atmosférica de América del Norte. Proporciona vigilancia del espacio aéreo de posibles incursiones o ataques desde toda la región polar de América del Norte. El NWS consta de radares de vigilancia de largo alcance y de corto alcance, operados y mantenidos por el Comando de Defensa Aeroespacial de América del Norte (NORAD).

Sin embargo, la mayoría de las amenazas de eventos físicos potencialmente perjudiciales proviene de fenómenos naturales, mayormente meteorológicos y geofísicos. Hay sofisticados sistemas para el seguimiento de huracanes en los océanos Pacífico y Atlántico, el mar Caribe y el Golfo de México. La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, EE.UU.) opera el Centro Nacional de Huracanes que utiliza satélites, radar y reconocimiento por aeronaves para identificar y hacer seguimiento de huracanes con la intención de pronosticar su velocidad, ruta y puntos de impacto con poblaciones, aunque los huracanes no son del todo predecibles y frecuentemente cambian en fuerza y dirección.

Algo semejante es el seguimiento de tornados en los EE.UU., donde el Laboratorio Nacional de Tormentas Severas (National Severe Storms Laboratory - NSSL) utiliza radar Doppler y algoritmos informáticos para identificar tormentas severas, pero requiere la ayuda de observadores terrestres de tormentas (“storm spotters”) para confirmar la formación del embudo de un tornado, el punto de aterrizaje y la ruta; por eso, hay más peligro con tormentas que se forman de noche cuando la visibilidad es muy reducida. También, el NSSL hace seguimiento de tormentas de lluvia provenientes del Golfo de México y tormentas de lluvia o nieve que se originan en Canadá. Usando información satelital, el Servicio Meteorológico Nacional puede monitorear la formación, movimiento y comportamiento de tormentas de lluvia y nieve sobre la parte continental de Norte América. Con radar de doble polarización, se puede diferenciar claramente entre lluvia, granizo, nieve y lluvia a punto de congelar, lo que aumenta la confianza de los meteorólogos para evaluar con exactitud los eventos severos porque tienen más información para pronosticar, por ejemplo, qué tipo de precipitación habrá y cuánto esperar.

En el hemisferio sur, el monitoreo más importante es del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) en el océano Pacífico y su acercamiento hacia la costa oeste de Sudamérica. El Niño es detectado por muchos métodos, incluyendo satélites, análisis del nivel del mar, boyas ancladas, boyas a la deriva y boyas desechables. Muchos de estos sistemas de observación oceánica forman parte del programa TOGA (Atmósfera Global del Océano Tropical) y ahora están evolucionando hacia un sistema operativo de observación de El Niño / Oscilación del Sur (ENSO).

En cuanto a fenómenos geofísicos, se utilizan sistemas de alerta temprana para sismos, tsunamis y erupciones volcánicas. El Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) es un sistema de sensores sísmicos distribuidos en el centro y la costa oeste de México, diseñado para detectar movimientos sísmicos y emitir alertas tempranas a fin de advertir a las autoridades de protección civil y a la sociedad en general cuando

---

ocurra un sismo que pueda afectar a ciudades vulnerables, dando un “tiempo de oportunidad” de reacción de un máximo de 100 segundos. Fue iniciado en 1989 y ampliado sustancialmente en 2010, incluyendo las ciudades de México, Oaxaca, Acapulco, Chilpancingo, Morelia, Puebla y las regiones de Jalisco, Colima, Michoacán y Puebla. El SASMEX está administrado por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES). En el sismo de 8.2 grados (escala Richter) el 7 de setiembre de este año el sistema fue puesto a prueba y dio una alerta temprana de casi dos minutos en la Ciudad de México (véase [https://verne.elpais.com/verne/2017/09/08/mexico/1504896871\\_373935.html](https://verne.elpais.com/verne/2017/09/08/mexico/1504896871_373935.html)).

Un sistema de alerta sísmica en el Perú sería útil para zonas donde hay grandes poblaciones, eso es la capital, Lima, y otras ciudades como Trujillo, Chimbote, Ica, Arequipa y Tacna. El Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha indicado que podría iniciar pruebas de un sistema de alerta sísmica preliminar a principios de 2018 (véase <http://larepublica.pe/sociedad/1101019-a-fin-de-ano-empezaran-pruebas-del-sistema-de-alerta-de-sismos-en-el-peru>). El tiempo de alerta depende de la distancia entre el epicentro del sismo y cada ciudad; cuánto más cerca al epicentro el tiempo de aviso es menor. También, hay métodos para monitorear volcanes y advertir de un aumento en la actividad sísmica, lo que serviría en zonas volcánicas como Arequipa.

En el Perú hay otro fenómeno geofísico que ha causado destrucción en varias partes del departamento de Ancash, los aluviones. Un **aluvión** es “un desplazamiento violento de una gran masa de agua o hielo con mezcla de sedimentos de variada granulometría y bloques de roca de grandes dimensiones. Se desplazan con gran velocidad a través de quebradas o valles en pendiente, debido a la ruptura de diques naturales y/o artificiales o desembalse súbito de lagunas, o intensas precipitaciones en las partes altas de valles y quebradas”. Hasta ahora, se ha implementado solamente un sistema de alerta temprana de aluvión. Con el apoyo de la Cooperación Suiza (COSUDE) y la Universidad de Zúrich, a través de Care Perú, se realizó el Proyecto Glaciares que incluyó la instalación de un moderno sistema de alerta temprana (SAT) en la laguna 513 al pie del nevado Hualcán en la provincia de Carhuaz, Ancash. El SAT, que consistió en dos cámaras de video, sensores de movimiento (geófonos), y pluviómetros, se instaló para monitorear el nevado Hualcán y la laguna 513 en tiempo real. Es decir, el sistema permitió que desde la municipalidad de Carhuaz se vieran los movimientos del glaciar del nevado y la desembocadura de la laguna las 24 horas del día, y de esta manera poder alertar a la población en caso de producirse alguna avalancha grande o desborde de la laguna. Fue instalado en el 2013, pero desgraciadamente fue destruido por personas locales desconocidas en abril de 2016 (véase <http://crnoticiascarhuaz.com.pe/2016-04-02-destruyen-equipos-de-alta-tecnologia-del-sistema-de-alerta-temprana-a-t-instaladas-en-shoquillpampa-que-monitoreaba-la-laguna-513/>).

La población de la ciudad de Huaraz está en espera de un sistema de alerta temprana semejante en relación a la laguna Palcacocha, ubicada al este de la ciudad, debido al alto volumen de agua de la laguna (17 millones de metros cúbicos), su dique morrénico, y su historia amenazante que incluye el desborde catastrófico del 13 de diciembre de 1941. La población de Huaraz está en espera prolongada de alguna acción efectiva del Gobierno Regional de Ancash, la Municipalidad Provincial de Huaraz y la Municipalidad Distrital de Independencia (Huaraz) para financiar e implementar el expediente técnico de este sistema SAT. A la vez, el INAIGEM viene desarrollando un sistema de sensores y redes de transmisión de datos en tiempo real desde zonas de riesgo en alta montaña.

Se puede considerar también como alerta temprana la acción de advertencia de los impactos del cambio climático en los glaciares, las lagunas glaciares y los ríos provenientes de éstos. Así es el trabajo que realiza el INAIGEM para documentar y advertir acerca de cambios negativos en la cobertura glaciar, la formación de nuevas lagunas glaciares, y los riesgos asociados; además de algunos trabajos relacionados con el cambio del volumen y calidad de agua en ciertos ríos provenientes de cordilleras nevadas y lagunas glaciares. Es una alerta temprana con un “tiempo de oportunidad” de unos años, en vez de solamente segundos o minutos. Mucho depende del nivel de atención prestada por las autoridades nacionales, regionales y locales para hacer un verdadero sistema de alerta temprana efectiva, para salvar cientos o miles de vidas.

El Editor

---

# Percepciones Tradicionales del Cambio Climático en Comunidades Rurales Altoandinas en la Cordillera Blanca, Ancash

Traditional Perceptions of Climate Change in High-Andean Rural Communities in the Cordillera Blanca, Ancash

Doris Walter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Investigadora independiente*

## Resumen

En los Andes tropicales, y particularmente en la Cordillera Blanca del Perú, los impactos del calentamiento global sobre los glaciares están en aceleración constante. Los estudios científicos anticipan cambios importantes, que afectan tanto la disponibilidad de agua, con incidencias preocupantes en los ecosistemas y en el modo de vida de los pobladores rurales.

Basándonos en datos etnográficos recogidos en distintas localidades de la Cordillera Blanca, este artículo analiza las percepciones de la población rural acerca de los cambios climáticos y el retroceso glaciar. Si bien otros estudios han sido realizados sobre este tema en esta región, los datos presentados aquí los completan, añadiendo otras perspectivas. Luego de recordar brevemente la importancia de los glaciares en el pensamiento tradicional, exploraremos cuáles son los cambios climáticos que los habitantes de la cordillera perciben actualmente. Después, examinaremos las distintas causas que les atribuyen, sea que estas dependan de elementos cósmicos, naturales o divinos, o que estén directamente ligadas a las actividades humanas. Veremos que, de manera general, estos cambios son percibidos como un fenómeno local y no global. En fin, nos preguntaremos en qué medida el modo de vivir de los habitantes se está afectado, así como la manera que ellos entrevén el futuro. Resulta un sentimiento general de impotencia y de resignación frente al destino, al mismo tiempo que una transformación de su visión de la naturaleza.

**Palabras clave:** *Perú, Cordillera Blanca, glaciares, cambios climáticos, percepciones locales*

## Abstract

In the tropical Andes, and particularly in the Cordillera Blanca of Peru, the impacts of global warming on glaciers are accelerating. Scientific studies predict significant changes altering water availability,

with preoccupying incidences on ecosystems as well as on rural livelihoods.

Drawing on ethnographic fieldwork conducted in various rural communities of the Cordillera Blanca, this article focuses on local perceptions of climate change and glacier recession. If other research projects have been undertaken on the same theme in this mountain range, the results presented in this article complete them, by adding different insights. After recalling the importance of glaciers in traditional Andean thought, we explore the climate-related changes presently perceived by the inhabitants of the cordillera. We then examine the different causes attributed to these changes, whether ascribed to cosmic, natural or divine elements, or directly linked to human activities. We observe that these changes are generally viewed as local, and not global, phenomena. Finally, we discuss to what extent rural livelihoods are affected by these changes, as well local people's concerns regarding the future. Our study reveals an overall feeling of helplessness and resignation in the face of climate change, as well as shifting views of nature.

**Keywords:** *Peru, Cordillera Blanca, glaciers, climate change, local perceptions*

## Introducción

La Cordillera Blanca, situada en el centro norte del Perú, es la cadena glaciar tropical más alta y más extensa del mundo. Recorre alrededor de 180 km del norte al sur y abarca 200 montañas superiores a 5000 metros de altitud, de las cuales una veintena sobrepasan los 6000 metros. Entre éstas, se encuentra el Huascarán (6757 msnm) (INAIGEM, 2017), la cumbre más alta del Perú. En esta región, la cuestión del cambio climático y del retroceso de los glaciares es un tema particularmente agudo y preocupante. Numerosas investigaciones han sido realizadas sobre este tema en ella, y en el curso de estos últimos años se han multiplicado.

Con respecto a la cobertura glaciar en esta cordillera, el calentamiento climático global ha contribuido a su reducción en alrededor de un 38.2% desde 1962. En efecto, estudios conducidos por el INAIGEM<sup>2</sup> (en prensa) han mostrado que en 1962 esta cadena de montañas poseía una superficie glaciar de 726.26 km<sup>2</sup>; y que en 1997 ésta se redujo a 611 km<sup>2</sup>, o sea una disminución del 15.9%. En 2003, ya no comprendía sino 527.6 km<sup>2</sup>. En cuanto al retroceso del frente de los glaciares, subió a 19 metros al año en promedio entre 1977 y 2009 (Zapata Luyo, 2011). En 2010, la cobertura glaciar fue evaluada en 482 km<sup>2</sup> por Burns y Nolin (2014). Para 2016, el INAIGEM (en prensa) calcula una cobertura glaciar de solamente 448.8 km<sup>2</sup>.

Por otro lado, diversos estudios interdisciplinarios efectuados en esta región han buscado evaluar las repercusiones de los cambios climáticos sobre el ciclo hidrológico, los ecosistemas y la biodiversidad, los glaciares y los paisajes, al igual que en los campos económicos y sociales (Polk et al., 2017; Young y Lipton, 2006; Baraër et al., 2009; Mark et al., 2010; Bury et al., 2013). Estos cambios provocan, además, una intensificación de los riesgos de desastres naturales (Carey, 2010). Sin olvidar el campo etnológico, donde el valor cultural de los glaciares ha sido reconocido (Jurt et al., 2015). Otros estudios pertenecientes a diferentes disciplinas están actualmente en curso.

Por mi parte, he realizado en 2014 una serie de investigaciones etnográficas sobre las percepciones del cambio climático por la población rural en diferentes pueblos o caseríos de la Cordillera Blanca (véase Cuadro 1). La elección de estas localidades fue dictada en gran parte por el hecho que, frecuentándolas desde hace años, he desarrollado en ellas numerosas amistades y relaciones de confianza con sus habitantes. Se trata, entre otros, de los pueblos de Musho (3042 msnm, distrito de Yungay) y de Quitaracsa (3300 msnm, distrito de Yuracmarca); del caserío del Alpamayo (4000 msnm), ubicado en el valle de Los Cedros; y de Humacchuco (3400 msnm), un sector de la comunidad campesina “Unidos Venceremos” (distrito de Yungay). También he interrogado de manera informal a numerosos campesinos en otros rincones de la Cordillera, entre ellos, en los pueblos ubicados encima de Huaraz (distrito de Independencia), en la comunidad de Cátaç, así como en la Cordillera Negra. Mis investigaciones

confirman en gran parte los estudios etnográficos existentes, al mismo tiempo que los completan con otras perspectivas.

En este artículo, después de recordar la importancia de los glaciares en la cultura tradicional, examinaremos brevemente cómo los habitantes perciben actualmente los cambios climáticos. Luego, nos interesaremos más extensamente en las causas que se les atribuye. Finalmente, nos preguntaremos si ello genera entre la población temores o preocupaciones, y cuáles son las consecuencias sobre su modo de vida. Otros temas merecerían ser desarrollados, tales como las capacidades de adaptación de la población rural al cambio climático (Young y Lipton, 2006; Valdivia y Quiroz, 2003; Valdivia et al., 2010; Stensrud, 2016; Bolin, 2009), así como sus percepciones tradicionales de los fenómenos meteorológicos. Este último tema será objeto de una publicación posterior.

## La Importancia de los Glaciares en la Cultura Tradicional

Las comunidades entre las cuales he realizado mis investigaciones están ubicadas al pie de montañas glaciares imponentes, tales como Huascarán (6757 msnm), Huandoy (6356 msnm), Alpamayo (5947 msnm) y Champará (5748 msnm). Omnipresentes en el paisaje, estas montañas ocupan un lugar importante en las creencias de la población local. Consideradas como ancestros vivos, por un lado, estas altas cumbres son benévolas, por ser abastecedoras de agua y de vida; pero por el otro, se revelan caníbales, habiendo provocado numerosas catástrofes naturales en esta región en el curso de los siglos. Se les venera y se les teme, pues no les gusta que se les moleste. Así, en la actualidad, al Huascarán se le sigue llamando “Tayta Huascarán” (*tayta* significa “padre” en quechua), en señal de respeto. Los habitantes comunican con estas montañas a través de los rituales y los sueños.

Como en otras partes de los Andes, numerosos mitos y leyendas –en los cuales no nos interesaremos aquí– atribuyen el origen de las montañas a una litomorfosis de los ancestros, consecutivamente a diferentes peripecias (Yauri Montero, 1990; Walter, 2002; Spetale Hernández, 2015). En cambio, otros relatos menos conocidos y que he recogido en los años 90, explican el origen de los glaciares de la Cordillera

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz.

Blanca, así como su ausencia en la Cordillera Negra que está frente a ella. Resaltan el rol del glaciar como fuente de agua y de vida.

Uno de mis amigos me relató así que, anteriormente, no existía ningún glaciar en la región y que sus habitantes llevaban una existencia de penuria sometida a las contingencias climáticas; un año de sequía conllevaba ineluctablemente la hambruna. Los Incas llegaron entonces del Cusco y decidieron constituir reservas hidrológicas en las montañas aledañas. Partiendo de Conococha,<sup>3</sup> iban de una cumbre a otra defecando, sus excrementos transformándose en glaciares. Otro de mis compañeros me precisó que en realidad los Incas no habían “defecado” sino “sembrado” el hielo, instilando gotas mágicas en las fuentes situadas en las cumbres, según un procedimiento “secreto” que eran los únicos en conocer. Cuando los Incas llegaron al final de la Cordillera Blanca y se alistaban para regresar por las crestas de la Cordillera Negra, fueron masacrados por los invasores españoles. Es así como su obra “civilizadora” fue interrumpida (Walter 2002, 2003).

Mencionemos, asimismo, la costumbre ancestral – y siempre actual– que consiste en ir a extraer hielo al borde del glaciar (Figura 1) para consumirlo como golosina (*shika shika*) o con fines medicinales (Walter, 2002, 2003; Dunbar y Medina Marcos,

2012). Conforme a las creencias, los hieleros (o raspadilleros) se acercan al borde del glaciar con un respeto mezclado con un cierto temor y siguiendo rituales, entre los cuales las ofrendas de hojas de coca. Una anécdota muestra la importancia de respetar estos glaciares, de lo contrario uno se expone a riesgos de avalanchas: hace unos diez años, en la quebrada Ancash (igualmente llamada Rahu Ruri), situada al pie del Huandoy, unos hieleros fueron sepultados bajo bloques que se desprendieron del glaciar, matando a varios de ellos. Eran, sin embargo, visitantes habituales del lugar. Un sobreviviente relató cómo, antes del accidente, el Huandoy se dirigió a él en un sueño, instándolo a que no volviera a molestarlo:

*¡Ama chakiita chiksamuytsu! Chiksamaptiykiqa, shaakuyta pwedishaqtsu.*

¡No me hagas cosquillas en el pie! Si me haces cosquillas, no podré quedarme de pie.

Mucho más, incluso antes de comenzar a cortar el hielo, otra señal nefasta había aparecido: las hojas de coca que los raspadilleros habían mascado se revelaron amargas, pero nadie les había prestado atención. Este ejemplo –escogido entre tantos otros– ilustra los vínculos estrechos, vivos y siempre actuales que existen entre los habitantes de la Cordillera y los glaciares que los rodean.



**Figura 1. Hielero cargando un bloque de hielo cortado del glaciar, quebrada Miyururi, Huaraz. Foto: D. Walter.**

<sup>3</sup> Conococha es una laguna ubicada entre las Cordilleras Blanca y Negra en su extremidad sur.

## Los Cambios Climáticos Percibidos por los Habitantes de la Cordillera

Durante mis primeras estadias a principios de los años 90, cuando había iniciado investigaciones etnográficas acerca de las percepciones indígenas de la naturaleza, se oía apenas hablar del cambio climático en los medios de comunicación. Pero los campesinos ya estaban muy atentos al retroceso de los glaciares, como se desprende del comentario siguiente, que yo había recogido en 1995 de un habitante de Pampas, cerca de Chacas, en la vertiente oriental de la Cordillera:

BM: *¿Imanirraq rahu ushakan? Huchurtsuraq u tsullurtsuraq, manam musyaatsu...*

BM: ¿Por qué desaparece el hielo? Cayéndose o derritiéndose, no sé...

En la actualidad, y salvo algunas raras excepciones, el conjunto de mis informantes está de acuerdo en que el cambio climático es real y tangible. Mencionan el retroceso de los glaciares, modificaciones en la diferencia entre las temperaturas, una cierta perturbación de las temporadas y del régimen de lluvias, así como algunos impactos sobre el ecosistema. Todos estos testimonios y hechos han sido corroborados por los estudios científicos (Young y Lipton, 2006; Mark et al., 2010; Bury et al., 2013; Polk et al., 2017).

En lo que se refiere a los glaciares, los campesinos rememoran sus recuerdos de infancia o las historias escuchadas en sus familias. Aquí tenemos, por ejemplo, el comentario de un habitante de Qachipampa, situado arriba del pueblo de Marián (distrito de Independencia): “Cuando yo era joven, el hielo bajaba hasta el San Cristóbal. Ahora ya no hay más que peñas.” En Musho, los habitantes recuerdan que antaño el Huascarán era todo blanco. Varias personas me han indicado espontáneamente que su padre o su abuelo iba a cortar hielo cerca del Campo Base, hacia 4300 msnm, muy por debajo del límite actual del glaciar. “Pero hoy en día ya no vamos a buscar el hielo (raspadilla) en el Huascarán: es demasiado lejos y se ha vuelto peligroso debido a la caída frecuente de bloques de hielo.”

En cuanto a las temperaturas, todos confirman que hace mucho más calor que antes. En cambio, las noches son sensiblemente más frías.

G.J.: *Rahu ushakaarin, achachaptin.*

G.J.: Por lo que hace calor, el hielo se termina.

Aquí tenemos otros comentarios de dos jovencitas, que viven respectivamente en la quebrada del Alpamayo y en Quitaracsa:

L.C.: *Unay mas alalaq, kanan mas achachan. Tsaychi hanka ushakan. Taqay yana hirkachaw, hanka kaq.*

LC: Antes, hacía más frío, ahora hace más calor. Por eso seguro el hielo se termina. En este cerro negro [ella muestra con el dedo una punta rocosa casi desprovista de nieve], había hielo.

N.C.: *Tsullur tsullur, ushakarín hanka. Kikinlla. Quyapa mas alalan, hunappa mas achachan.*

N.C.: Derritiéndose, derritiéndose, el hielo se termina. De por sí. De madrugada hace más frío, de día hace más calor.

En cuanto a un viejo campesino de Pampacocha, localidad situada a proximidad del pueblo de Musho, él atribuía el retroceso glaciar a la influencia del viento.

*Allaapa byentuptin, rahu yana tikrarin. Y byentu sutaramun yakuta.*

Cuando hay mucho viento, el glaciar se vuelve negro. Y el viento jala el agua (fuera del glaciar).

Todos están de acuerdo en que el ciclo de las lluvias ha cambiado y que las temporadas no son como antes. Algunos notan que la vegetación se ha modificado: “Antes, los árboles eran más frondosos, sus hojas eran más grandes y más bellas; la hierba de los pastizales era más alta.”

Si esos cambios son percibidos de manera más o menos similar por todas las personas interrogadas, veremos que las causas que se les atribuye varían no solamente según los individuos, sino también en función de su medio ambiente de vida.

## Las Diferentes Causas Atribuidas al Cambio Climático

Cada uno se ha forjado una explicación, aunque quede imprecisa y sin estar necesariamente convencido por ella. En primer lugar, mencionemos que, para los habitantes de estas comunidades rurales, la noción de “calentamiento global” no existe. Si han oído esta expresión en los medios de comunicación o en otro lugar, y la utilizan a veces en sus discursos, salvo excepciones, no entienden su significado. Así, cuando les explicaba que el cambio climático también existe en mi país, me miraban asombrados. (Señalamos de paso que sus conocimientos de la geografía mundial son muy limitados, y que si uno les pregunta dónde se encuentra tal o cual país determinado, generalmente no tienen la menor idea.) Por otro lado, su visión del cambio climático es muy local.<sup>4</sup> Como lo veremos, sus interpretaciones varían bastante en función de la ubicación geográfica de su comunidad y de su entorno inmediato.

Las interpretaciones dependen también de la edad de los informantes y de su nivel educativo. He podido observar amalgamas sorprendentes entre sus concepciones del cambio climático y algunos mitos y creencias tradicionales relativos a la naturaleza. De igual manera, muchas veces sus percepciones están influenciadas por creencias bíblicas o también por las informaciones recogidas en los medios de comunicación, en la escuela, o entre miembros de diversas instituciones (Parque Nacional, ONGs, y otras entidades públicas o privadas). Sin embargo, como lo subrayan Marin y Berkes (2013), generalmente estos mensajes recibidos de afuera no son incorporados como tales por los pobladores locales. No solo su

influencia queda superficial, sino que a menudo son reinterpretados de acuerdo con los valores, creencias, normas culturales y experiencias personales de cada uno.

Por lo general, podemos clasificar las causas proporcionadas por los diferentes interlocutores en dos categorías: las que dependen de elementos cósmicos, naturales o divinos; y las que están directamente relacionadas con los comportamientos humanos (Paeregaard, 2013).

Añadimos que no es siempre fácil para el antropólogo abordar estos temas: a veces surge cierto malestar. Así, interrogando a una mujer analfabeta y quechuahablante monolingüe de 55 años, ella me dijo, asustada, que no sabía, que más bien yo, que he estudiado, debía saberlo. Otra vez, me enfrenté con una reacción aguda de parte de un joven de Quitaraca, que conocía desde hacía años, y que no ignoraba mi calidad de andinista. Se encontró visiblemente molesto cuando le pregunté por qué el glaciar arriba de su pueblo estaba desapareciendo. Pensando seguramente que quería resaltar su ignorancia y burlarme de él, me miró a los ojos, y me dijo con un tono virulento: “Tú deberías saber esas cosas. ¡Tú eres la dueña de los cerros!”

### El Mundo Está Viejo

Varias personas, generalmente de cierta edad, me contestaron simplemente que ahora el mundo está viejo. *Mundu avansadunam*. (El mundo está avanzado ya...). Por eso, los glaciares están desapareciendo.



Figura 2. Glaciar gris y sucio con detritus, macizo de Huantsán, Huari. Foto: M. Anger.

<sup>4</sup> Cf. el estudio de Paeregaard (2013) en el valle del Colca, y el de Boillat y Berkes (2013) en la región de Cochabamba, Bolivia.

CF: *Awkisna kar, ushakan rahu.*

CF: Por lo que es viejo ya, se termina el glaciar.

Y un hombre añadió, como si se tratara de un signo obvio de vejez (Figura 2): “Más antes, este glaciar era completamente blanco. ¡Mira, ahora, como está gris y sucio!”

### *Modificaciones que Afectan al Sol*

La importancia del sol en el pensamiento andino es bien conocida, y a lo largo de los años, los campesinos de la Cordillera me han contado muchas creencias y rituales acerca de él. Tratándose de las causas atribuidas a los cambios climáticos, una gran mayoría de mis informantes –cualquiera que sea su edad o su procedencia– avanzaban explicaciones relacionadas con modificaciones relativas al astro solar, correspondientes a dos órdenes diferentes. Si en la primera serie de explicaciones podemos encontrar cierta relación con las creencias tradicionales, la segunda resulta evidentemente de interpretaciones transmitidas en los medios de comunicación (radio, televisión).

#### 1. El sol ha bajado en el cielo

Una causa muy alegada del cambio climático es que la posición del sol en el cielo se ha modificado: el sol ha bajado y se encuentra más cerca de la tierra. Por lo tanto, sus rayos son más ardientes.

MJ: *Intitsuraq bahamushqa, allaapa achachan.*

MJ: El sol quizás habrá bajado, hace mucho calor.

DC: *Rupaychi uraamushqa.*<sup>5</sup>

DC: El sol posiblemente ha bajado.

Pero algunos añadían que no habían realmente constatado ellos mismos este acercamiento del sol a la tierra. Reflexionando sobre este asunto, un señor me preguntó si en mi país tenemos el mismo sol que en el Perú o si es otro sol. Por medio de este comentario, encontramos nuevamente una visión muy local del mundo, ya que pocos son los campesinos que han viajado fuera de su región. Como lo veremos más

adelante, otras personas establecen una relación directa entre la bajada del sol en el cielo y una era mítica anterior a la nuestra, donde el sol había participado en aniquilar la humanidad, quemándola con sus rayos.

#### 2. El sol está enfermo

“El sol ya no es el mismo, ha cambiado.” “Está enfermo, nos va a quemar.” “¡Terminaremos como chicharrón!”

La explicación es la siguiente: “La capa del sol se ha hecho hueco”, “está usada”, “está desapareciendo.” Encontramos aquí un vínculo evidente con los huecos de la capa de ozono, información machacada por los medios de comunicación. Sin embargo, los campesinos no tienen una idea clara de lo que se trata. Para algunos, la “capa del sol” es como una piel o un pedazo de tela (“una mantita”); otros me hablaron de una suerte de malla que envuelve al sol, incluso algo semejante al papel. Esta piel, dicen, se ha debilitado, tiene huecos como un colador, y por lo tanto deja pasar el calor.

J.L. Hace más calor porque algo como malla que tiene el sol se ha desgastado. Y por allí pasa la calor.

Una profesora de primaria me confió que era precisamente en estos términos que ella explicaba el fenómeno del calentamiento climático a los niños.

¿De dónde provienen estos huecos en la “piel” del sol? Según los campesinos, es el humo de los incendios que sube en el cielo, y la malogra. Antes, existía la costumbre de hacer grandes fogatas para la fiesta de San Juan, que corresponde al solsticio del mes de junio. Por tradición, quemaban en esta fecha los pastizales, para que rebroten hierbas jóvenes y tiernas. En esta ocasión, los fuegos eran a menudo desmedidos. En Matacoto, un centro poblado en la Cordillera Negra (provincia de Yungay), decían que había que limpiarle su barba a San Juan, y a los niños les encantaba ir a quemar el cerro. Actualmente, está estrictamente prohibido. Según otra costumbre, para el Año Nuevo, se solía quemar todas las cosas viejas, especialmente las ropas usadas. Otros incendios tienen por objetivo preparar las chacras para la labranza,

<sup>5</sup> Señalamos de paso que en la región de Quitaraca, de donde proviene mi informante, no se usa la palabra *inti* para referirse al sol, sino la de *rupay*. El verbo *rupay* significa “arder”.

quemando en particular las plantas invasivas, tales como el *kikuyo* (*Pennisetum clandestinum*, Poaceae) o el *chili qura* (no identificado). Como me lo comentaron varios campesinos, “estas fogatas son buenas, porque sirven para hacer abono; en cambio, las fogatas malas son los incendios de gran tamaño, tanto como la quema de llantas usadas, botas de caucho y demás plásticos, porque contienen veneno”. También existe la costumbre de quemar las gramíneas (o *uqsha*<sup>6</sup>) para ahuyentar al zorro, o al borde de las chacras para proteger los cultivos del granizo. A pesar de las prohibiciones, se divisan todavía, en ciertas épocas del año, incendios de gran tamaño en las alturas. Como me lo comentó un grupo de campesinos, “la gente prende sus fogatas cuando les conviene, les da igual”. A eso, hay que añadir los incendios espontáneos, que impulsados por el viento destruyen a veces secciones enteras de la montaña.

### **El Recurso a los Mitos del Diluvio**

Otros afirman que si los cambios climáticos se acentúan, es porque “la hora del juicio final está cerca”. Nuestra humanidad será dentro de poco aniquilada, como fue el caso para los ancestros de la humanidad anterior a la nuestra. Pues, en la concepción andina del espacio y del tiempo, el mundo del pasado (que corresponde también al mundo de “adentro”) y el mundo actual (o sea el mundo de “encima”) se suceden por inversiones cíclicas. Así, el futuro corresponde al pasado, que será reemplazado por un retorno del presente, etc. Estos cambios de eras se materializan durante Cataclismos (*juicio* o *pachakuti*) de origen divino.

Según la historia mítica vigente en nuestra región de estudio, el castigo anterior se desarrolló en tres etapas. Primero, hubo una granizada de fuego (*nina runtu*). Algunos sobrevivieron, y Dios les mandó un diluvio que llenó el mundo hasta el cielo, como una olla gigante. Pero algunos antepasados lograron salvarse, cavando refugios adentro de la tierra. Entonces, el poder divino “soltó dos soles” en el cielo (*Diosnitsik ish kay intita kachaykamunay*). Bajo el efecto de este fuego celeste, la olla empezó a hervir y los últimos antepasados perecieron escaldados. Fue el final de la era pagana y el advenimiento de la era cristiana actual.

Aquí está un extracto de uno de estos mitos (Walter 2002:459):

MC: *¿Imanawparaq ushakaayashqa awilukuna?*  
MS: *Nina runtukush kanaq... syelu tinku yaku quchakaanaq. Despuésshi ish kay inti ullumunay rápido. Haywanshi awilukuna ushakayaanaq.*

MC: *¿Cómo se acabaron los antepasados?*  
MS: *Hubo el granizo de fuego... hasta el cielo se llenó el agua. Después, dicen, salieron dos soles, rápido. Con eso se terminaron los antepasados.*

Recordamos que el esquema del castigo mediante dos elementos, el fuego y el agua, es clásico en los Andes. En muchas regiones, el fuego aparece bajo la forma de luz solar que quema a los ancestros (Harris, 1987; Wachtel, 1990; Urbano, 1993).

Ahora bien, varios de mis informantes – cualquiera que sea su edad– establecían un paralelo sorprendente entre este castigo divino de antaño y lo que está pasando actualmente. Refiriéndose al cambio climático, un anciano de Marián (distrito de Independencia) pensaba seriamente que se trataba del inicio del castigo que dentro de poco nos aniquilará: “¿Quién sabe? Quizás pronto Dios soltará un segundo, o hasta un tercer sol en el cielo”.

Mientras que una mujer joven de Quitaracsa, asociando la situación actual con el mito del diluvio, se quedó pensativa: “¿Cómo será esta lluvia de fuego (*nina tamya*)? ¿Se encenderá en el cielo antes de caer?” Estas reflexiones dejan entrever que, en la mente de mis interlocutores, estos mitos son algo bien real: no solamente creen en ellos, sino que también les permiten interpretar mejor los fenómenos climáticos actuales.

### **Un Castigo de Dios**

Otros, ya sean católicos o miembros de congregaciones religiosas, argumentan a menudo que, si el clima ha cambiado y los glaciares están retrocediendo, es seguramente un castigo divino, porque hay muchos pecadores. Aquí están dos testimonios al respecto:

<sup>6</sup> En el quechua ancashino, la palabra *uqsha* se refiere a las gramíneas comúnmente conocidas como *ichu*.

<sup>7</sup> Si bien en la región de Huaraz los mitos hablan de una granizada de fuego (*nina runtu*), en Quitaracsa se trata de una lluvia de fuego (*nina tamya*).

PK: *Wakin rahu ushakaptin pensayan, Diosnintsikpa castigun. Nuqantsik hutsayuq kanstik. Diosnintiktsuraq allaapa piñatsishqa. Kitakamantsik rahunta.*

PK: Algunos piensan que si el glaciar desaparece, es un castigo de Dios. Nosotros somos culpables. Dios seguramente se enojó mucho. Nos está quitando su hielo.

DW: ¿Por qué hay menos lluvia ahora?

MM: Será un castigo de Dios.

DW: ¿Por qué?

MM: El papá convive con su hija, el hermano convive con su hermana, el compadre busca a su comadre... esas cosas.

Una mujer de Pampacocha (distrito de Yungay) estimaba simplemente que la recesión glaciar es un signo que el fin del mundo (*juicio*) está cerca. “Todo está escrito en la Biblia.” Estos argumentos de origen bíblico son clásicos y han sido registrados en muchas otras regiones de los Andes (Boillat y Berkes, 2013).

### **La Responsabilidad de los Andinistas**

En ciertas comunidades, son los andinistas quienes son directamente considerados como responsables

del retroceso glaciar. En Musho, donde transitan las expediciones que se dirigen al Huascarán, este argumento era netamente prevalente. Todos los habitantes de este pueblo que interrogué mencionaban a los andinistas como la causa principal. Aquí están las explicaciones que me proporcionaron.

Una mujer que estaba lavando su ropa en la acequia me dijo que más antes se veían pedazos de hielo en el agua. ¡Estaba fría! Después añadió que si el glaciar del Huascarán se está derritiendo, es por los gringos que pasean allí. “Son muchos. Algo echarán encima del hielo.” Otra mujer afirmaba que el simple hecho de caminar por el hielo es suficiente para hacer que se derrita. En cuanto a un guía de montaña, originario del pueblo, me dio las siguientes explicaciones: “Los andinistas traen tierra pegada encima de sus zapatos, y esta se deposita en el hielo: como esta tierra es oscura, hace derretirse el hielo. Y luego, con sus crampones, cavan huecos, como pequeñas cuevas; con el aire que entra, estos huecos se vuelven más profundos. Orinan y dejan sus excrementos en el glaciar, botan sus pilas usadas —que contienen un veneno— en las grietas. Todo esto contribuye a contaminar el glaciar y a hacer que se derrita” (Figura 3).

Argumentos similares fueron avanzados por un campesino de la Comunidad Campesina de Cátac.



**Figura 3. Andinistas atravesando el hielo glaciar, nevado Vallunaraju, Huaraz. Foto: M. Masconi.**



Figura 4. Avalancha de hielo de un glaciar al pie del nevado Hualcán, Carhuaz. Foto: M. Anger.

Afirmaba además que, si hoy en día el glaciar de Pastoruri prácticamente ha desaparecido, es la culpa de los esquiadores, que antes organizaban allí sus competencias.

En el mismo orden de ideas, me contaron que algunos glaciares, que se encuentran en los circuitos de trekking frecuentados por los extranjeros, se molestan porque estos últimos se pasan el tiempo mirándolos o fotografiándolos. Entonces, para manifestar su cólera, las entidades de la montaña hacen derrumbarse los seracs, participando así al encogimiento del glaciar (Figura 4).

*Huchumun hanka, chikikur.*

El glaciar se derrumba, porque está celoso.

Hemos visto anteriormente cómo el Huandoy había mandado bloques de hielo encima de los raspadilleros, porque estaba cansado de que vinieran a sacarle su hielo. Las entidades de la naturaleza que se molestan y mandan castigos para frenar los comportamientos humanos excesivos es algo corriente en el pensamiento andino (Paeregaard, 2014; Boillat y Berkes, 2013).

Por último, otro testimonio que yo había recogido en 1995 en el pueblo de Collón<sup>8</sup> –donde transitan los andinistas que van a escalar el nevado Urus (5420 msnm), Ishinca (5530 msnm) o Tocllaraju (6034 msnm)– merece ser mencionado. En esa época, un viejo campesino me había contado que los extranjeros eran responsables de ciertas perturbaciones climáticas, a saber, la sequía, que pone las cosechas en peligro; y que si ellos iban a escalar los nevados era para recoger flores de hielo. Cuando le pregunté la razón, me contestó que esas flores contenían las semillas de la lluvia.

En el mismo orden de ideas, en esa época, acusaciones habían sido proferidas contra unos topógrafos que aparentemente habían instalado aparatos en la cumbre del Hualcán (6125 msnm): los pobladores de Shilla<sup>9</sup> se quejaban de que las lluvias de esta montaña habían sido desviadas hacia la ciudad de Caraz, para favorecer ahí el cultivo de flores ornamentales por un alemán (Walter, 2003). Mencionamos también los acontecimientos ocurridos en el 2016, cuando el sistema de alarma, instalado por unos suizos en la Laguna 513 encima de Carhuaz, fue destruido por la comunidad campesina oriunda de la zona. La ausencia de lluvias que reinaba en la región era atribuida a la presencia de estos aparatos (Fraser, 2017).

<sup>8</sup> El pueblo de Collón se encuentra en el distrito de Taricá, provincia de Huaraz.

<sup>9</sup> Shilla es uno de los distritos de la provincia de Carhuaz.

De modo que, si la responsabilidad del cambio climático se le atribuye a los andinistas o los aficionados de trekking, es que son percibidos como elementos perturbadores nuevos, venidos desde afuera, tanto más que su cantidad ha aumentado ostensiblemente en las últimas décadas. La misma lógica, lo hemos visto, se aplica a los científicos.

### **Las Causas Inducidas por la Modernidad**

Cuando le pregunté a una mujer joven de Quitaracsa sobre las causas del retroceso glaciar, comenzó diciéndome que no sabía. Pero después de reflexionar un instante sobre el asunto, declaró que seguramente son los reflejos de las calaminas que cubren los techos de las casas: actuando como un espejo, malogran el glaciar. Especialmente las calaminas modernas, que brillan más fuerte en el sol. Lo mismo con los papeles de aluminio y los residuos de plástico. Tantos objetos y materiales modernos que han invadido los pueblos, y que no existían antes.

Otro amigo, originario de Unchus (distrito de Independencia) y que trabaja como auxiliar de montaña, agregó que también era la culpa del Parque Nacional Huascarán, porque deja entrar a los turistas sin controlar sus desechos. “No hay concientización; todo está lleno de plásticos y basuras.” Cuando le pregunté de qué manera estos residuos participaban en el derretimiento del glaciar, después de pensarlo un momento, siguió, diciendo que era seguramente por los reflejos de los plásticos, dejados al pie del glaciar. Ulteriormente, estas explicaciones me fueron confirmadas por muchas personas en distintos pueblos.

Por último, los campesinos que viven cerca de una ciudad, especialmente Huaraz, mencionaban como factor determinante la contaminación producida por las empresas mineras, las fábricas y los carros. Tanto más que la mina Pierina, muy cercana, es objeto de numerosas polémicas en el ámbito medioambiental. Con regularidad, nubes de tierra son propulsadas en el cielo por las explosiones mineras. “El aire lleva todo este polvo sobre los glaciares. Lo mismo con los plásticos que la gente quema. Como contienen veneno, este sube arriba con el humo y se pega al hielo.” A lo cual algunos campesinos mencionan también como fuente de contaminación el uso de abonos químicos y las fumigaciones.

En conclusión, estamos en presencia de diferentes explicaciones relativas a las causas del cambio climático y del retroceso glaciar. Algunas de ellas corresponden a creencias ancestrales –tales como la noción de *pachakuti* (cataclismo de origen divino)– o la falta de respeto por las entidades de la naturaleza; mientras que otras provienen de las influencias bíblicas de las congregaciones religiosas; de deformaciones o interpretaciones locales de los mensajes escuchados por la radio y la televisión; o también de elementos perturbadores “nuevos”, tales como la presencia de los andinistas y el estilo de vida moderno (plásticos, calaminas, contaminación). Mis informantes estaban a menudo indecisos, incluso poco convencidos, frente a las causas que adelantaban. En muchos casos, se les notaba una cierta despreocupación.

Por otro lado, lo que me parece interesante subrayar es el carácter muy local de las explicaciones: en efecto, la mayoría de la gente atribuye las causas de la desglaciación a factores directamente relacionados con su entorno inmediato. Así, para los que viven cerca de una ciudad, son los vehículos los responsables; si hay una mina cerca, es ella la causante de los problemas; y si por su territorio pasan expediciones de andinistas, son ellos los culpables. En cambio, en los sitios más aislados, es simplemente la naturaleza misma que está envejeciendo. Su visión es muy local y de ninguna manera ven los cambios climáticos como un fenómeno global.

### **Preocupaciones, Temores y Consecuencias para el Futuro**

En la Cordillera Blanca, los modelos científicos, que además no son siempre concordantes (Bury et al., 2013), pronostican una disminución alarmante de los suministros en agua de origen glaciar, fenómeno agravado por una demanda de agua creciente en los centros urbanos; cambios en la biodiversidad y los ecosistemas; así como repercusiones importantes sobre la vida de los pobladores rurales (Young y Lipton, 2006). Tratándose de los recursos hídricos, con el aumento de las temperaturas que provoca un retroceso acelerado de los glaciares, existe una aparente abundancia de agua, pero solo es temporal. En ciertas cuencas, el volumen de las aguas de deshielo ya empezó a disminuir, mientras que en otras, donde la cobertura glaciar es todavía importante, los caudales son abundantes (Mark et al., 2010; Zapata, 2011).



Figura 5. El río Chopicocha dentro de la quebrada Llanganuco. Foto: M. Masconi.

¿Qué dicen los campesinos? ¿Están preocupados por su futuro? Según las localidades, las respuestas que recibía no eran exactamente las mismas. Aquí están unos ejemplos.

En Humacchuco, donde fluye el río Chopicocha que baja de la quebrada Llanganuco, todas las personas entrevistadas contestaban que el agua es abundante, y que nunca falta (Figura 5). “Durante la temporada de lluvia, hay tanta agua que no sabemos qué hacer con ella. ¡Mucho peor, la desperdiciamos!” En cuanto al riego, su manejo es totalmente libre, sin turnos de agua: el que necesita agua, se sirve. Entonces, los habitantes –con la excepción quizás de los jóvenes– se preocupan apenas de la desglaciación. Según Luis, un campesino de 50 años, que trabaja también en turismo como porteador y arriero, “aquí, no prestamos atención al retroceso glaciar, es como antes. En la radio, se escucha que los glaciares desaparecerán en 20 o 30 años, pero no es cierto: el hielo aguantará todavía 100 o incluso 200 años.” Otros testimonios recogidos abundaban en ese sentido, el fin de los glaciares no es para mañana.

Es lo mismo en el poblado de Alpamayo en la quebrada de Los Cedros (Figura 6). “¿El agua? Hay cantidad. En el mes de marzo, su caudal dobla prácticamente de volumen. Aquí, no va a faltar, por lo menos mientras nosotros vivamos. De ningún modo estamos preocupados.”

En cambio, en Quitaracsá, las opiniones eran más mitigadas. A pesar de que el río que fluye por el pueblo esté por el momento bien abastecido en agua y que no haya conflictos al respecto, algunos comuneros estaban visiblemente preocupados:

*¿Imanawraq kashun?*

¿Cómo vamos a estar?

“Hay menos agua que antes. Una prueba de ello es que el riachuelo llamado Hanka Yaku, que baja del cerro Rocotuyuq, casi ha desaparecido. Se está construyendo un reservorio.” Ahora bien, es muy probable que si los miembros de esta comunidad han sido sensibilizados a una futura escasez de agua, la presencia de la empresa Enersur (Engie Energía Perú desde el 2016), que construyó una central hidroeléctrica en su territorio, tiene algo que ver con ello. Durante mi estadía en este pueblo en el año 2014, la empresa organizaba ahí numerosos talleres y reuniones, con el fin de intercambiar informaciones con los comuneros.

En el pueblo de Musho, aunque por el momento no falte el agua, el manejo de la irrigación genera ciertas tensiones entre los comuneros y los otros habitantes del pueblo. Según los testimonios, entre julio y setiembre, cuando el caudal del agua es el más bajo, la gente se insulta y a veces se pelea a puñetazos. Allí



Figura 6. El río Alpamayo en la quebrada de Los Cedros con el nevado Alpamayo al fondo. Foto: M. Masconi.

tampoco están reglamentados los turnos de agua, y cada cual desvía los canales a su antojo.

Por último, en Huaripampa (distrito de Yanama), un caserío ubicado en la vertiente oriental de la Cordillera, los campesinos no se sienten especialmente preocupados por el cambio climático y la desglaciación. Como me lo explicó Roberto, un joven padre de familia, “aquí la gente ni siquiera se da cuenta, no les importa para nada”. Desde el caserío donde vive, si bien los glaciares están relativamente cerca, no forman parte integrante del paisaje. ¿No deberíamos entonces preguntarnos si esta aparente despreocupación no provendría –por lo menos en parte– de su entorno inmediato, a saber, que los glaciares no son visibles en la vida cotidiana?

En cuanto a la flora y la fauna silvestres, mis informantes no mencionaron cambios particulares, salvo una reducción del tamaño de algunos bofedales (u oconales); una disminución de las poblaciones de sapos, o una proliferación de ciertos zancudos. Algunos indicaron que los árboles –entre otros los quenuales (*Polylepis* spp.)– sufren del calor, pero también de las heladas. Las consecuencias del cambio climático sobre los ecosistemas de la Cordillera

Blanca, especialmente los bofedales, han sido estudiadas por Polk et al. (2017), así como por Young y Lipton (2006).

En cambio, todos reconocen que el ciclo de las estaciones presenta muchas irregularidades: con la ausencia de lluvia, se vuelve difícil prever las fechas de los sembríos; el aumento del calor provoca la desecación de los cereales (trigo), tanto como de ciertas legumbres; las invasiones de los pulgones y otros insectos herbívoros se multiplican. Por otro lado, las heladas nocturnas y el granizo son más frecuentes. Tantos factores que contribuyen a aumentar el riesgo de malas cosechas.<sup>10</sup> El incremento de las temperaturas presenta no obstante algunas ventajas para ciertos agricultores: así, es posible ahora sembrar maíz en Llupa o en Olleros, dos centros poblados ubicados en la provincia de Huaraz, aproximadamente a 3400 msnm, mientras que anteriormente el límite altitudinal de las chacras de maíz se encontraba más abajo. Estos elementos han sido observados en otros lugares de los Andes. Señalamos de paso que, frente a las variaciones climáticas que siempre han existido, las poblaciones andinas supieron a lo largo de la historia desarrollar numerosas estrategias de adaptación para limitar los riesgos, tales como la

<sup>10</sup> Cf. las investigaciones de Bury et al. (2011) en la región de Cátac.

utilización complementaria de la máxima cantidad de pisos ecológicos y la diversificación de los productos agrícolas (Morlon, 1992; Bolin, 2009; Boillat y Berkes, 2013).

Así, la mayoría de mis interlocutores afirman que por el momento no hay cambios mayores, ni en su vida, ni en el ecosistema. Sobre este punto, mis observaciones son ligeramente diferentes de las que fueron recogidas en otros sectores de la Cordillera Blanca (en particular en las quebradas de Quillcayhuanca, Querococha y Yanamarey), donde las personas entrevistadas se dicen muy preocupadas por el futuro y ya afectadas de manera negativa por los cambios climáticos (Mark et al., 2010; Bury et al., 2011). Esto confirmaría la variabilidad de las situaciones entre las diferentes cuencas de la Cordillera. En efecto, en el norte de la Cordillera Blanca, donde llevé a cabo la mayoría de mis investigaciones, la cobertura glaciar es más importante que por el sur (Burns y Nolin, 2014).

### ¿Qué Soluciones Hay para Frenar los Cambios Climáticos?

Cuando preguntaba a los campesinos que podían hacer para frenar la desglaciación, la gran mayoría de ellos contestaban de la siguiente manera:

¿Soluciones? No hay. Moriremos todos, y se acabó.

*Wanukushun llapantsik.*

Cuando desaparecerán los glaciares, ya no habrá agua. ¿Cómo vivirá la gente?

*¿Imanawraq kawayanqa?*

Respuestas similares fueron recogidas por Dunbar (Jurt et al., 2015:99) en la Comunidad Campesina “Siete Imperios” (distrito de Marcará).

En Humacchuco, donde el fatídico aluvión del 31 de mayo de 1970, provocado por la caída de una sección del glaciar del Huascarán, ha marcado profundamente las memorias, me contestaban que “este glaciar ya está viejo, pronto se va a derrumbar y habrá un nuevo aluvión; moriremos todos”. Otros afirmaban simplemente que el único que sabe es Dios (*Diosshi musyan*).

Algunos adelantaban la idea que, si ellos mismos no podían hacer nada, quizás los científicos podrían hacer algo. “Ellos son los que saben, no nosotros.” Sobre este punto, dos de mis informantes (uno originario de Quitaraca, y el otro de Humacchuco) habían escuchado decir, por unos ingenieros, que la única solución consistía en plantar árboles. “Cualquier árbol. Donde hay árboles, hay humedad. Sus raíces la mantienen. Además, durante el día las hojas absorben todas las contaminaciones y enfermedades, mientras que durante la noche, botan en el aire todo lo que es bueno y que necesitamos para vivir.”

Siempre para contestar a mi pregunta de saber qué es lo que los campesinos podrían hacer para frenar la desglaciación, un joven me replicó de manera muy aguda: “¡Ustedes gringos deberían saber más que nosotros! Si los científicos no logran resolver el problema del retroceso glaciar, ¿cómo podemos nosotros encontrar una solución? ¿O quieren que devolvamos el agua que se pierde a la cima de los nevados?”. Al final de cuentas, y con raras excepciones, lo que se percibe es un sentimiento general de impotencia, una suerte de fatalismo y una resignación frente al destino.

### Conclusión

Como lo hemos visto a lo largo de este artículo, los habitantes de las comunidades rurales de la Cordillera Blanca perciben intensamente el cambio climático y el retroceso glaciar. Atribuyen la causa a un conjunto de factores, ya sean las distintas entidades de la naturaleza que se rebelan, el acercamiento del fin del mundo, los comportamientos humanos irrespetuosos (entre ellos, los de los andinistas), las empresas mineras o incluso el modo de vivir moderno. Esto viene a demostrar que su visión de la naturaleza y del mundo está impregnada al mismo tiempo por las creencias tradicionales y por los discursos mediáticos de las instituciones públicas o privadas. Sin embargo, como lo muestran mis investigaciones y otros estudios realizados en los Andes (Paeregaard, 2013; Boillat y Berkes, 2013), la comprensión del discurso mediático global por los pobladores rurales es muy limitada y su visión del cambio climático es sumamente local.

De manera general, mis informantes se declaran por el momento poco afectados en su vida cotidiana por estos cambios climáticos. En cuanto al porvenir (que entrevén sin agua, pero en un futuro bastante lejano), se muestran muy fatalistas, sin encontrar

soluciones para enfrentarlo. ¿Cómo explicar estas actitudes? Por cierto, los mitos tradicionales que narran los cataclismos cíclicos de aniquilamiento del mundo contribuyen a este fatalismo omnipresente. Pero también resulta de su impotencia frente a los desastres naturales que han azotado fuertemente la región durante la historia reciente (sismos, huaycos, avalanchas, desbordamientos de lagunas glaciares), dejando miles de muertos (Carey, 2010): un sentimiento quizás reforzado por la frecuencia de los discursos actuales por parte de los científicos y de las autoridades locales acerca de los peligros naturales inminentes en la Cordillera (Carey et al., 2016: 65-67).

Bajo la influencia de estos discursos relativos a los cambios climáticos, tanto como de las mutaciones recientes de la sociedad, la visión que los campesinos tienen de la naturaleza –y más ampliamente del mundo– está transformándose. Estamos, evidentemente, en un período de transición

en las ideas y las maneras de vivir, como lo confirman las numerosas investigaciones realizadas sobre los pueblos indígenas en todo el mundo. En los Andes, las visiones de la naturaleza se basan tradicionalmente en un vínculo estrecho de reciprocidad entre los hombres y las entidades de la naturaleza. Ahora bien, actualmente este vínculo se ha distendido. Como lo indicó Paeregaard (2013) en el valle del Colca (departamento de Arequipa), las prácticas rituales relativas al riego –anteriormente primordiales para las comunidades de esa región– ya no revisten la misma importancia que hace unos 30 años. Si todavía se practican estos rituales, ya no es con la misma convicción, y la cohesión social se encuentra afectada por ello. Mis investigaciones en la Cordillera Blanca confirman esta clara evolución de las creencias en las últimas décadas. Así, en todas las localidades donde he llevado a cabo mis investigaciones, los habitantes me han descrito numerosas prácticas que unen los hombres a las entidades de la naturaleza, tales como

Provincia	Distrito	Comunidad	Centros Poblados	Caseríos
Recuay	Cátac	Cátac		
Huaraz	Olleros		Olleros	
	Independencia		Llupa, Unchus, Marián	
Taricá		Collón		
Carhuaz	Marcará	Siete Imperios		
Shilla		Shilla		
Yungay	Yungay	Unidos Venceremos (Sector Humacchuco)		
Matacoto		Matacoto		
Musho		Musho		
Yanama			Huaripampa	
Huaylas	Yuracmarca		Quitaracsa	Alpamayo

**Cuadro 1. Lista de las localidades citadas.**

los rituales de ofrendas a las lagunas, para llamar a la lluvia; o a los puquiales, con el fin de mantener su abastecimiento en agua en la época de sequía; o también otros destinados a ahuyentar la lluvia cuando está demasiado abundante, o para calmar el viento. Ahora bien, si casi todos mis informantes conocen estos rituales y me los describieron en detalle, ya sea por haberlos practicado ellos mismos o por haber escuchado a sus padres hablar de ellos, hoy en día pocos siguen practicándolos. Sin embargo, hablan de ellos con mucho respeto, y sin poner en duda

fundamentalmente su eficacia. A menudo, después de haberlos descrito, añadían: “Y funcionaba”. Pero como me lo comentó un campesino, “para que funcione, hay que tener fe.” ¿Estaría desapareciendo esta fe en la naturaleza?

## Referencias

Baraër, M., McKenzie, J.M., B.G., Mark, Bury J. y Knox, S. (2009). Characterizing contributions of glacier melt and groundwater during the dry season in the

- Cordillera Blanca, Peru. *Advances in Geosciences*, 22, 41-49.
- Boillat, S. y Berkes, F. (2013). Perception and interpretation of climate change among Quechua farmers of Bolivia: Indigenous knowledge as a resource for adaptive capacity. *Ecology and Society* 18(4), 21.
- Bolin, I. (2009). The glaciers of the Andes are melting. Indigenous and anthropological knowledge merge in restoring water resources. En Crate, S. and Nuttall, M. (Eds.). *Anthropology & climate change. From encounters to actions*, 228–39. Walnut Creek, California, Left Coast Press.
- Burns, P. y Nolin, A. (2014). Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. *Remote Sensing of Environment*, 140, 165-178.
- Bury, J. T., Mark, B. G., McKenzie, J. M., French, A., Baraër, M., Huh, K. I., Zapata Luyo, M. A. y Gómez López, R. J. (2011). Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 105, 179-206.
- Bury, J. T., Mark, B. G., Carey, M., Young, K. R., McKenzie, J. M., Baraër, M., French, A. y Polk, M. H. (2013). New geographies of water and climate change in Peru: Coupled natural and social transformations in the Santa River watershed. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 363-374.
- Carey, M. (2010). *In the shadow of melting glaciers: Climate change and Andean society*. Nueva York, Oxford University Press.
- Carey, M., Garrard, A., Cecale, C., Buytaert, W., Huggel, C. y Vuille, M. (2016). Climbing for science and ice: From Hans Kinzl and mountaineering-glaciology to citizen science in the Cordillera Blanca. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1(1), 59-72. Huaraz, Perú.
- Dunbar, K. W. y Medina Marcos, K. D. (2012). Singing for shaved ice: Glacial loss and *raspadilla* in the Peruvian Andes. En Sinclair, J. y Pertierra A. C. (Eds.). *Consumer culture in Latin America*, 195-205. Nueva York, Palgrave Macmillan.
- Fraser, B. (2017). Learning from a flood-alarm system's fate. *EcoAmericas*, 19(6), 1-12.
- Harris, O. (1987). De la fin du monde. Notes depuis le nord-Potosi. *IHEAL, Cahiers des Amériques Latines*, 6, 93-117.
- INAIGEM. (2017). *Expedición científica Huascarán INAIGEM 2017*. Nota Técnica 1. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- INAIGEM. (en prensa). *Inventario Nacional de Glaciares del Perú 2016*. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- Jurt, C., Brugger, J., Dunbar, K. W., Milch, K., y Orlove, B. (2015). The cultural values of glaciers. En Huggel, C., Carey, M., Clague, J. J. y Kääh, A. (Eds.). *The high-mountain cryosphere: Environmental changes and human risks*, 90-106. Cambridge, Cambridge University Press.
- Marin, A. y Berkes, F. (2013). Local people's accounts of climate change: to what extent are they influenced by the media? *WIREs Clim Change* 2013, 4:1-8. doi: 10.1002/wcc.199
- Mark, B. G., Bury, J., McKenzie, J. M., French, A. y Baraër, M. (2010). Climate change and tropical Andean glacier recession: Evaluating hydrologic changes and livelihood vulnerability in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 794-805.
- Morlon, P. (1992). *Comprendre l'agriculture paysanne dans les Andes centrales (Pérou-Bolivie)* [Comprender la agricultura campesina en los Andes centrales (Perú-Bolivia)]. París, INRA Editions.
- Paeregaard, K. (2013). Bare rocks and fallen angels: Environmental change, climate perceptions and ritual practice in the Peruvian Andes. *Religions*, 4, 290–305.
- Polk, M. H., Young, K. R., Baraër, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J. y Carey, M. (2017). Exploring hydrologic connections between tropical

- mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Elsevier, Applied Geography* 78, 94-103.
- Spetale Hernández, R. (2015). *Antología de mitos, leyendas y relatos ancashinos*. Huaraz, Killa Editorial.
- Stensrud, A. (2016). Climate change, water practices and relational worlds in the Andes. *Ethnos*, 81(1), 75-98.
- Urbano, H. (1993). Las tres edades del mundo. La idea de utopía y de historia en los Andes. En Urbano, H. (Ed.). *Mito y simbolismo en los Andes: La figura y la palabra*, 283-304. Estudios y debates regionales andinos, 84. Cusco, Centro de Estudios Regionales Andinos 'Bartolomé de Las Casas'.
- Valdivia, C. y Quiroz, R. (2003). Coping and adapting to increased climate variability in the Andes. Paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Montreal, Canada, July 27-30, 2003.
- Valdivia, C., Seth A., Gilles, J. L., García, M., Jiménez, E., Cusicanqui, J., Navia, F. y Yucra, E. (2010). Adapting to climate change in Andean ecosystems: Landscapes, capitals, and perceptions shaping rural livelihood strategies and linking knowledge systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 818-834.
- Wachtel, N. (1990). *Le retour des ancêtres* [El retorno de los ancestros]. *Les Indiens Urus de Bolivie XX<sup>e</sup> – XVI<sup>e</sup> siècles. Essai d'histoire régressive*. París, Éditions Gallimard.
- Walter, D. (2002). *L'alpiniste, le paysan et le Parc National du Huascarán: La domestication de la nature sauvage dans les Andes péruviennes* [El alpinista, el campesino y el Parque Nacional Huascarán: La domesticación de la naturaleza salvaje en los Andes peruanos]. Tesis doctoral. París, IHEAL, Université de Paris III.
- Walter, D. (2003). *La domestication de la nature dans les Andes péruviennes: L'alpiniste, le paysan et le Parc National du Huascarán* [La domesticación de la naturaleza en los Andes peruanos: El alpinista, el campesino y el Parque Nacional Huascarán]. París, Éditions L'Harmattan.
- Yauri Montero, M. (1990). *Leyendas ancashinas: plantas alimenticias y literatura oral andina*. Lima, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Young, K. y J. Lipton (2006). Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic Change*, 78, 63-102
- Zapata Luyo, M. (2011). Efectos del calentamiento global en Ancash. *Ancash, Anuario Cultural*, 28-35. Huaraz, Asociación Ancash.

---

# Ice Core Records of Climate and Environmental Variability in the Tropical Andes of Peru: Past, Present and Future

Registros en Núcleos de Hielo de la Variabilidad Climática y Ambiental en los Andes Tropicales del Perú: Pasado, Presente y Futuro

Lonnie G. Thompson<sup>1,2</sup>, Ellen Mosley-Thompson<sup>1,3</sup>, Mary E. Davis<sup>1</sup> and Stacy E. Porter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Byrd Polar and Climate Research Center, The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210, USA

<sup>2</sup>School of Earth Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210, USA

<sup>3</sup>Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210, USA

## Abstract

In the Peruvian Andes mid-tropospheric warming, enhanced by recent strong El Niños, is destroying the climate signals preserved in the ice fields and accelerating glacier retreat. Nowhere is the loss of tropical glaciers better documented and more important than in the Andes of Peru. The longest record of glacier retreat comes from a 44-year study conducted on the Quelccaya ice cap in southern Andes, which substantiates the loss of a very important climate archive as well as the accelerating loss of a water resource that feeds the Amazon River and Lake Titicaca. In the Cordillera Blanca the glaciers below 5400 masl are undergoing both seasonal melting and the movement of melt water through the porous upper layers. Because of its high elevation Nevado Huascarán is one of a few tropical sites where a largely unaltered climate history, which extends back to the Last Glacial Stage, is still being preserved. However all the Cordillera Blanca glaciers are documented by INAIGEM (in press) to be retreating. Given the current rates of warming throughout the tropical Andes, it is only a matter of time before climate records from Huascarán ice will also be lost. The glacier retreat throughout the Peruvian Andes is contributing to emerging water resource crises and environmental hazards for both urban and rural populations. Although currently the dry season discharge is increasing, it will not be sustained in the longer term. Most of Peru's population lives in the west coast desert, which relies on glacier fed streams for agriculture and livelihoods. Melting glaciers also exacerbate geohazards in this earthquake-prone region by forming ice and moraine-dammed glacial lakes, which can result in lake outbursts and flooding and debris flows. Understanding the impact of this acceleration of glacier loss on future water resources requires information about past changes in high elevation glacier mass balance.

**Keywords:** Peruvian glaciers, climate, El Niño, warming, glacier retreat

## Resumen

En los Andes peruanos, el calentamiento de la troposfera media, potenciado por el reciente fuerte El Niño, está destruyendo las señales climáticas preservadas en los campos de hielo y acelerando la retirada de los glaciares. En ninguna parte está mejor documentada la pérdida de los glaciares tropicales y es más importante que en los Andes del Perú. El registro más largo de retirada de glaciares proviene de un estudio de 44 años realizado en el casquete de hielo Quelccaya en el sur de los Andes, que prueba la pérdida de un archivo climático muy importante y la pérdida acelerada de un recurso hídrico que alimenta el río Amazonas y el lago Titicaca. En la Cordillera Blanca, los glaciares por debajo de los 5400 msnm sufren tanto un deshielo estacional como el movimiento del agua de deshielo a través de las capas superiores porosas. Debido a su gran altitud, el nevado Huascarán es uno de los pocos sitios tropicales donde aún se conserva una historia climática prácticamente inalterada, que se extiende hasta la última etapa glacial. Sin embargo, todos los glaciares de Cordillera Blanca documentados por INAIGEM (en prensa) están en retroceso. Dadas las tasas actuales de calentamiento en los Andes tropicales, solo es cuestión de tiempo para que los registros climáticos del hielo del Huascarán también se pierdan. El retroceso de los glaciares a lo largo de los Andes peruanos está contribuyendo a las crisis emergentes de los recursos hídricos y los peligros ambientales tanto para las poblaciones urbanas como rurales. Aunque actualmente la descarga de la estación seca está aumentando, no se mantendrá así a largo plazo. La mayoría de la población del Perú vive en el desierto de la costa oeste, que depende de los ríos alimentados por los glaciares para la agricultura y los medios de subsistencia. El derretimiento de los glaciares también agrava los peligros geológicos en

esta región propensa a terremotos, formando lagunas glaciares con represas de hielo o morrenas, lo que puede dar como resultado estallidos de lagunas e inundaciones y flujos de escombros. Comprender el impacto de esta aceleración de la pérdida de glaciares en los recursos hídricos futuros requiere información sobre los cambios del pasado en el balance de masas de los glaciares de alta elevación.

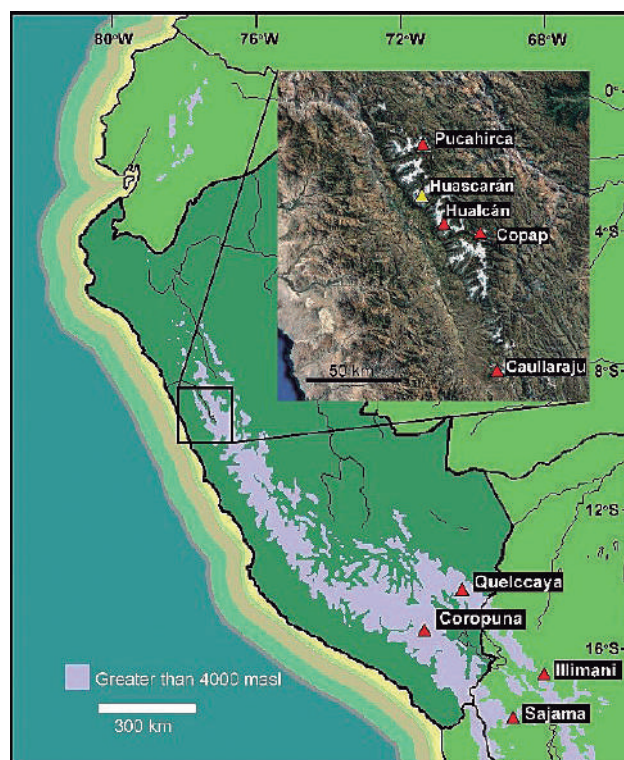
**Palabras clave:** *Glaciares peruanos, clima, El Niño, calentamiento, retiro de glaciares*

## Introduction

Scientific evidence of variations in the atmosphere-ocean-climate system verifies that Earth's globally averaged surface temperature is increasing, and a recent international assessment (Vaughan et al., 2013) indicates that human activities are contributing to these observed changes in the Earth system. Low-latitude paleoclimate histories are critical for the acquisition of a global array of ice cores that provide high-resolution climatic and environmental histories essential for understanding the complex interactions within Earth's coupled climate system. Improved predictive capability requires better quantification of the system's physical and chemical linkages along with the complex feedbacks that may dampen or accelerate the initial forcings. Ice core records from Africa, Alaska, Alps, Antarctica, Bolivia, China, Greenland, Peru, Papua (Indonesia) and Russia have made it possible to study processes linking the Polar Regions to the lower latitudes where human activities are most concentrated. The diverse and frequently detailed information obtained from ice cores contributes prominently to Earth's paleoclimate record, the ultimate yardstick against which the significance of present and projected anthropogenic effects will be assessed.

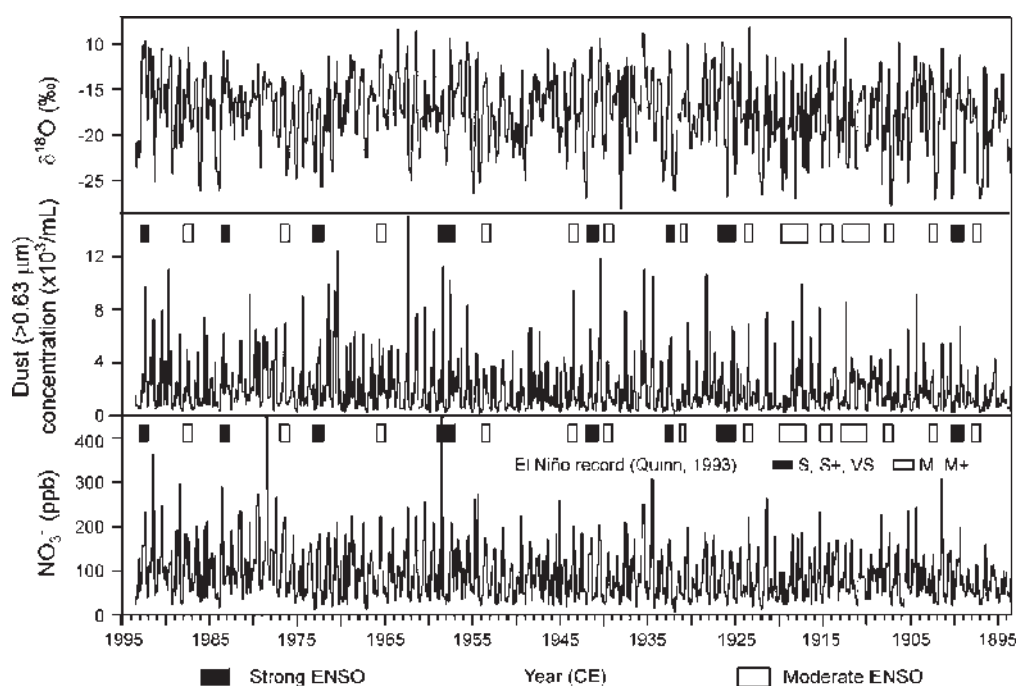
It is imperative to understand Earth's climate regime, both past and present. Fifty percent of Earth's surface lies between 30°N and 30°S, where 70% of the world's inhabitants live and conduct their activities. Temperate and tropical ice cores offer long-term perspectives of variability in precipitation, temperature, aridity and atmospheric circulation that are unavailable from other proxy sources. Ice core data allow detailed reconstruction of both climate variability and climate forcings (e.g., volcanic and solar activity) as well as the timing of the most recent glaciation at different latitudes and altitudes. The results from these analyses, as well as from glacier

area and volume measurements, will undoubtedly have meaningful social and economic implications for understanding climate change and the potential impacts on water resources. It is of paramount importance to attain a better grasp of the climatic factors that control the recent low-latitude glacier responses. Moreover, the continued loss of glaciers and ice caps will increasingly compromise and eventually obliterate most of the non-polar, ice core-derived climate histories. This is a particular concern in the Peruvian Andes, where mid-tropospheric warming, enhanced by recent strong El Niños, is now destroying the climate signals preserved in the ice fields and accelerating glacier retreat.



**Figure 1.** Map of Peru and northwest Bolivia showing locations of high elevation ice fields mentioned in text from which ice cores have been recovered. Inset: Google Earth image of Cordillera Blanca (corresponding to black box in map) showing locations of the mountains from which shallow and deep ice cores have been recovered. HS is emphasized by the yellow triangle.

Nevado Huascarán (HS, 9.1°S; 77.6°W; 6757 masl at the highest point, the South Peak summit; INAIGEM, 2017) in the Cordillera Blanca of central Peru is located ~200 km from the western edge of the Amazon Basin (Figure 1). Two ice cores that were drilled in the col by the Byrd Polar and Climate Research Center at The Ohio State University (OSU-BPCRC) in 1993 provided a paleoclimatic history extending well into the Last Glacial Stage (LGS), which includes evidence of the Younger Dryas cool phase in the Tropics (Thompson et al., 1995).



**Figure 2.** Top 100 years of HS record from the 1993 Core 2 showing the seasonal variations in  $\delta^{18}\text{O}$  and concentrations of dust and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). El Niño events (Quinn, 1983) are noted by white (M=moderate, M+=moderate plus) and black (S=strong, S+= strong plus, VS=very strong) boxes (from Thompson, 2000).

### Results of Past Research on Huascarán Ice Cores

HS receives abundant snow accumulation ( $\sim 2$  to 3 meters/year) and contains distinct seasonal variability in  $\delta^{18}\text{O}$  and concentrations of dust and certain ions (Figure 2). The majority of the precipitation in the Peruvian Andes falls during the austral summer (December to February, DJF) (Garreaud et al., 2003; Mantas et al., 2015) in association with the South American summer monsoon (SASM). Although 70% of Earth's tropical glaciers are located in Peru, only HS situated just above the Amazon Basin is documented to contain a  $\sim 20,000$  history of tropical climate variability. LGS conditions at high elevations in the Tropics appear to have been as much as 8 to 12 °C cooler than today, the atmosphere contained about 200 times as much dust (Figure 3), and the Amazon Basin forest cover may have been much less extensive (Thompson et al., 1995) (Figure 4). Differences observed in both the  $\delta^{18}\text{O}$  (8‰) and the deuterium excess (4.5‰) from the Late Glacial Stage to the Holocene are comparable with those observed in other low latitude cores from Bolivia and Tibet as well as those from polar ice core records. These data imply that the tropical Atlantic was possibly 5 to 6 °C cooler during the LGS, that the Holocene climate was warmest from 8400 to 5200 years before present (yrs BP) then cooled gradually, culminating in the Little Ice Age (200 to 500 CE). Because of the rapid thinning in the HS cores below 120 m, annual

resolution was limited to the top 270 years. The timescale was originally based on a combination of ice flow modeling and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{ice}}$  matching with a North Atlantic marine core (Bard et al., 1987). A strong warming has dominated the last two centuries at the HS site.

Since the initial publication the Holocene timescale has been fine-tuned using  $\delta^{18}\text{O}$  measurements of air from bubbles in the ice (Thompson, 2000; Davis and Thompson, 2006). A middle-Holocene dust event (MHDE), originally dated at  $\sim 2000$  yrs BP, was determined to have occurred  $\sim 4500$  yrs BP, which is contemporaneous with a mid-Holocene drought documented in many paleoclimate records throughout the world (Figure 3). The refinement of the Holocene timescale also allowed us to determine that the last time that the HS isotope record was as enriched as it is today was  $\sim 6$  thousand years ago (ka), when wetland plants were exposed in the last decade along the margin of the retreating Quelccaya ice cap (Thompson et al., 2013). This was determined by radiocarbon dating of the plants that had grown by the margin of the ice cap and then were buried as the margin advanced during the middle to late Holocene cooling (Figure 3). This supports a temperature-linked interpretation of  $\delta^{18}\text{O}$  in the HS climate record, at least on centennial to millennial timescales.

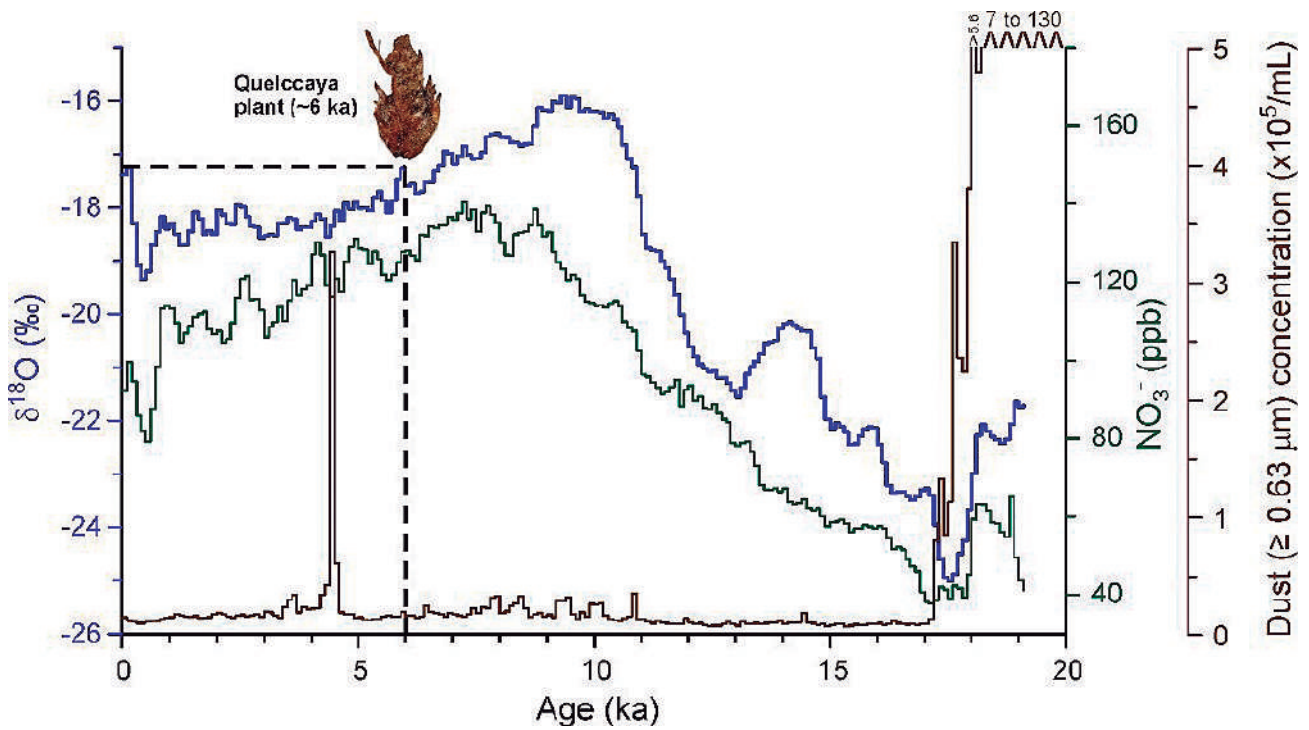


Figure 3. The ~19 thousand year record (100-year averages) of climate and environmental variations from the 1993 HS Core 2. A plant found by the margin of the retreating Quelccaya ice cap in southern Peru is <sup>14</sup>C dated at ~6 ka and shows the climate conditions on HS at the time the margin of Quelccaya was growing (Thompson et al., 2013). The Mid-Holocene Dust Event (MHDE) is shown by the dust concentration spike ~4.5 ka.

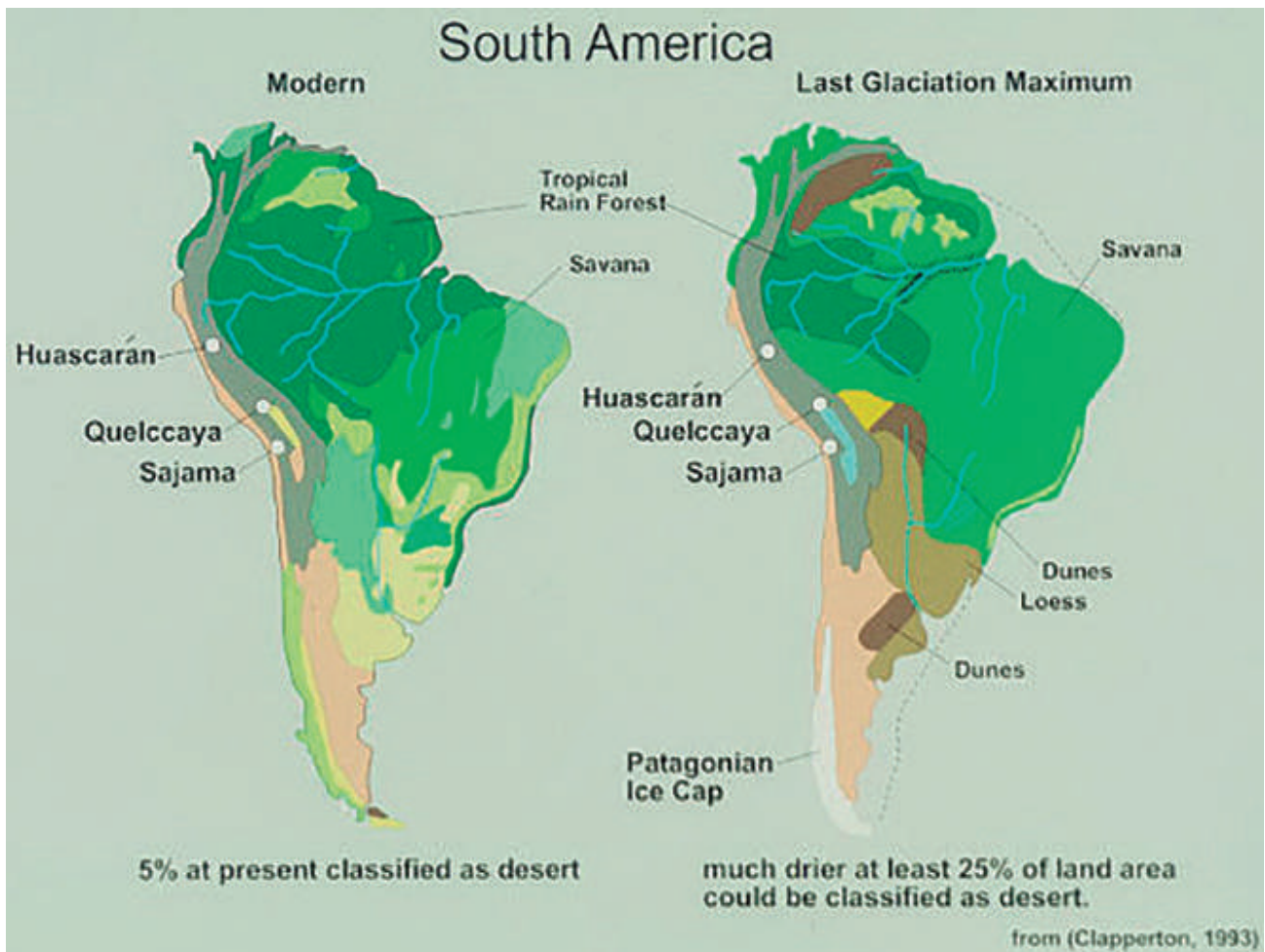


Figure 4. Illustration of changes in major vegetation types at the Last Glacial Maximum compared to those today as inferred by Clapperton (1993).

## Atmospheric and Oceanic Influences on Ice Fields of the Cordillera Blanca

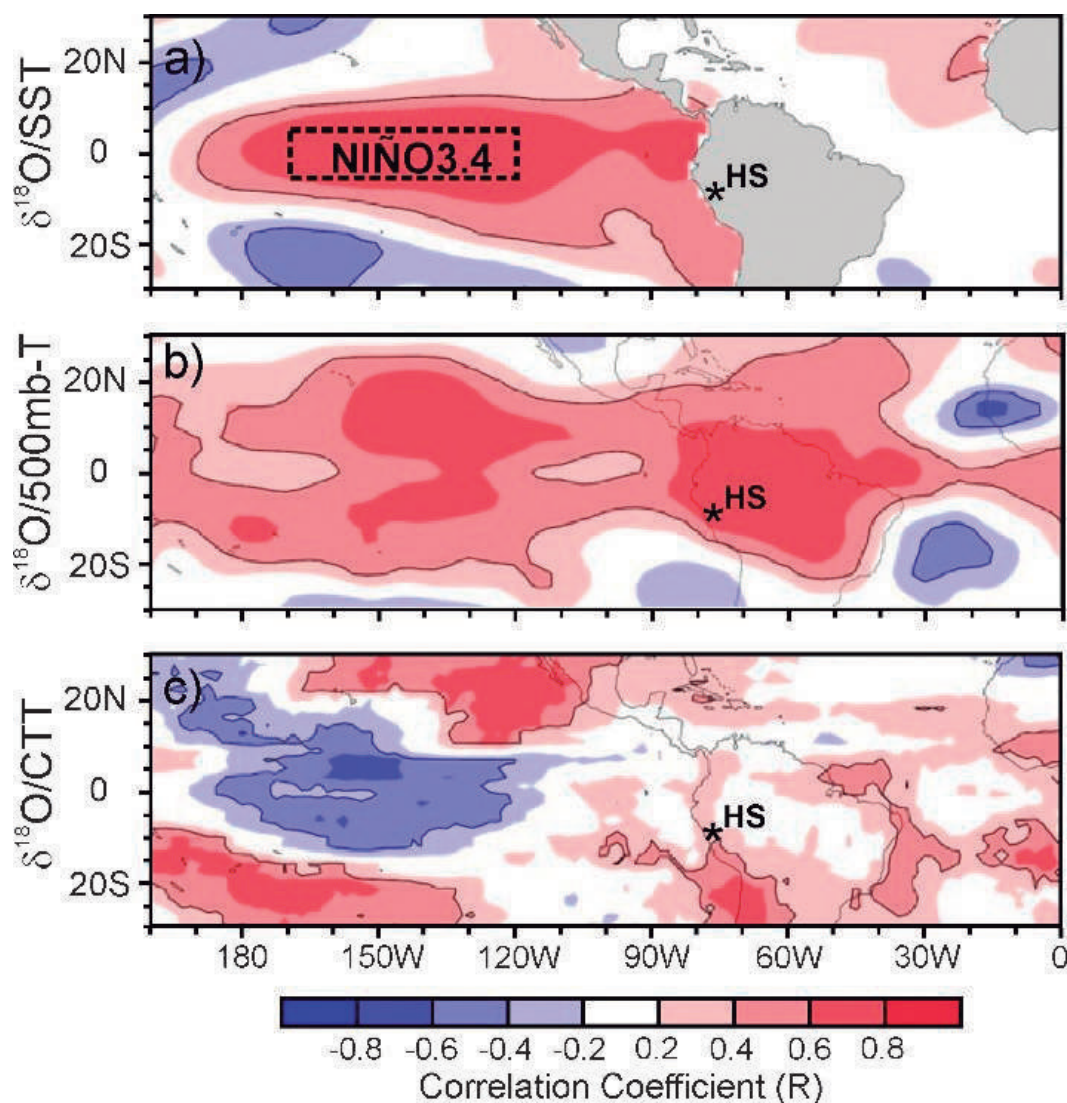
The intensity of the SASM is influenced by convection enhanced by a deep low-pressure system that forms in the summer over the Chaco region (eastern Bolivia, western Paraguay and northern Argentina). The latent heat from the convection contributes to the formation of the Bolivian High, a persistent upper level high pressure system over the Bolivian Altiplano and southeastern Amazon Basin (Lenters and Cook, 1997). Anticyclonic circulation associated with the Bolivian High results in upper and mid-level easterly to northerly transport of moist air to the Andes which strengthens deep convection over this region (Garreaud et al., 2003, 2009). The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) has a strong influence on moisture transport from the Amazon to the central Andes, partly through variations in westerly airflow over the central Andes which affects low and mid-level easterly flow from the northern Amazon Basin during the austral summer (Vuille et al., 2000; Garreaud and Aceituno, 2001). Strong El Niños are responsible for anomalous warming of up to 4 °C in the middle troposphere in the Tropics, which has significant impacts on freezing level heights (Diaz et al., 2014).

Snow layers deposited on tropical Andean glaciers during austral summer are isotopically depleted relative to winter layers (June to August, or JJA) (Thompson, 1980; Hurley et al., 2015). In their analysis of automatic weather station and snowpit data on the summit of the Quelccaya ice cap in southern Peru, Hurley et al. (2015) found that sublimation and water vapor diffusion through the surface snow promote  $^{18}\text{O}$  enrichment during the dry season when little fresh snow is deposited. In addition, snowfall amounts on seasonal to decadal timescales can be influenced by tropical atmospheric and oceanic processes (Vuille et al., 2000; Garreaud et al., 2003; Thompson et al., 2013; Hurley et al., 2015). However, the interpretation of stable isotopic ratios of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) and hydrogen ( $\delta\text{D}$ ) in tropical precipitation has been controversial, especially with regard to the influence of air temperature versus precipitation amount. Early studies (Dansgaard, 1964; Rozanski et al., 1993) indicate that for tropical rainfall, precipitation amount is the more important influence on stable isotope chemistry. However, other atmospheric and oceanic processes undoubtedly affect isotopic ratios to varying degrees. In the tropical Andes these include air mass stability over

the Amazon (Grootes et al., 1989), tropical Pacific sea surface temperatures (Bradley et al., 2003; Thompson et al., 2011, 2013), ENSO-related atmospheric circulation (Henderson et al., 1999; Bradley et al., 2003; Vuille et al., 2000, 2003) and SASM dynamics (Hurley et al., 2015). Recent studies of tropical precipitation, however, conclude that convection-associated condensation temperature exerts a major influence (Scholl et al., 2009; Cai and Tian, 2016; Permana et al., 2016).

Henderson et al. (1999) analyzed the top 68 years of the 1993 HS  $\delta^{18}\text{O}$  record and found that spatial distributions of temperature anomalies in the western tropical Atlantic influence the 500 mb zonal circulation, which affects the isotopic fractionation of moisture over the Amazon Basin. During El Niño, warm and dry conditions occur over northeastern Brazil due to a northward shift of moisture convergence over the Atlantic, which often results in  $^{18}\text{O}$  enrichment in Cordillera Blanca snow.

Using  $\delta^{18}\text{O}$  from pit and shallow core samples on HS and Quelccaya in the Cordillera Vilcanota, Thompson et al. (2017) demonstrated the influence of tropical atmospheric and eastern Pacific oceanic processes on the stable isotopic values of snow deposited in the Peruvian Andes. Isotopic fractionation of moisture for both ice fields is linked to eastern equatorial Pacific sea surface and high cloud top temperatures (SSTs and CTTs, respectively) and tropical western hemisphere mid-tropospheric temperatures (Figure 5). For HS in particular, austral summer snow that is characterized by overall high, or  $^{18}\text{O}$  enriched (low, or  $^{18}\text{O}$  depleted)  $\delta^{18}\text{O}$  values is significantly correlated with high (low) SSTs in the NIÑO3.4 region and high (low) 500 mb temperatures over the tropical eastern Pacific and northern South America. CTTs in the tropical Pacific over the NINO3.4 region are negatively correlated with  $\delta^{18}\text{O}$ , indicating deep convection during these warm austral summers. All these relationships are symptomatic of ENSO events. However, the fact that the relationship between  $\delta^{18}\text{O}$  on HS and the tropical Pacific climate variables remains stable during non-ENSO events suggests that HS may capture tropical variability that is not necessarily affiliated with individual ENSO events (e.g., underlying trends, multi-decadal variability). This is contrary to Quelccaya, where strong ENSO events have major impacts on snow isotope chemistry (Thompson et al., 2017). However, impacts of El Niño on HS may have been differentially stronger before



**Figure 5.** Pearson 2-tailed correlation (R) fields between HS thermal year  $\delta^{18}\text{O}$  (1973/74 to 1992/93, 2012/13 to 2015/16) and (a) DJF SSTs (Huang et al., 2015; Liu et al., 2015), (b) DJF 500mb-T (Kalnay et al., 1996), and (c) DJF CTTs (Kalnay et al., 1996). Red shading indicates positive R, blue shading indicates negative R, and black contours denote R values with significance levels  $(p) < 0.05$ . Adapted from Thompson et al. (2017).

the middle 1970s, since the correlation between equatorial eastern Pacific SSTs in the NIÑO3.4 region and mass balance of Cordillera Blanca glaciers changed from significant to insignificant after this time, perhaps because of multi-decadal Pacific Ocean temperature reorganization (Vuille et al., 2008). These relationships add to earlier research indicating that the isotope chemistry in Andean precipitation is strongly influenced not only from the east (Groottes et al., 1989; Henderson et al., 1999; Hurley et al., 2015), but also by perturbations in the Walker circulation during ENSO events that in turn are affected by oceanic processes (Vuille et al., 2003; Vuille and Werner, 2005; Thompson et al., 2013).

The effects of strong El Niños are seen not only in the chemistry of the climate record from Andean glaciers but also in the ice coverage. Glaciological observations of the Quelccaya ice cap since the 1970s

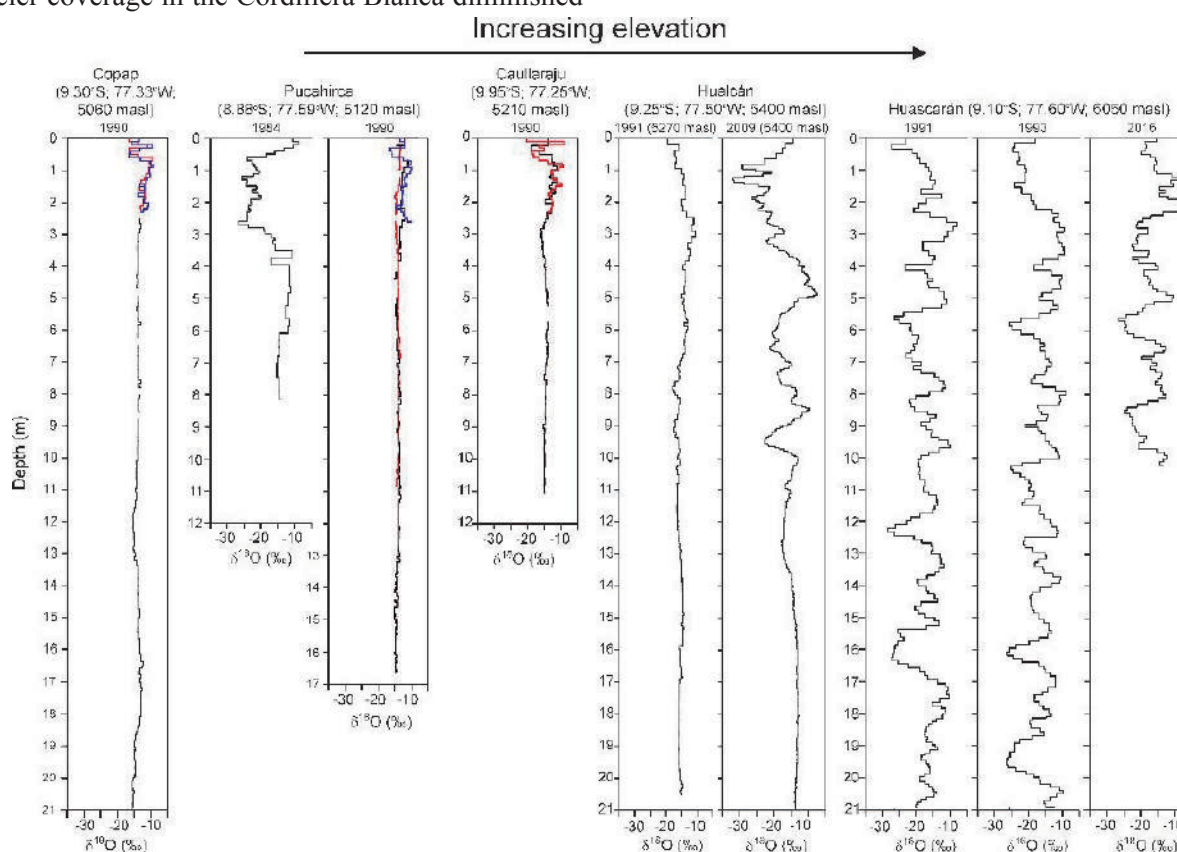
provide evidence that it has been retreating along its margins (Brecher and Thompson, 1993; Thompson et al., 1982, 2006, 2013; Albert et al., 2014; Hanshaw and Bookhagen, 2014). This long-range retreat is overprinted by variations in temperature and precipitation during El Niños, the most recent of which (2015/16) was associated with a dramatically higher rate of ice wastage compared with that of the previous 15 years (Thompson et al., 2017). In the Cordillera Blanca, the relationship between El Niño and mass balance is generally consistent, with many investigators noting negative correlations between tropical Pacific SSTs and glacier mass balance (Kaser et al., 2003; Vuille et al., 2008; Maussion et al., 2015). This suggests that warming from future El Niños may accelerate the ongoing mass loss trends on Peruvian glaciers.

## Glacier Status in the Andes

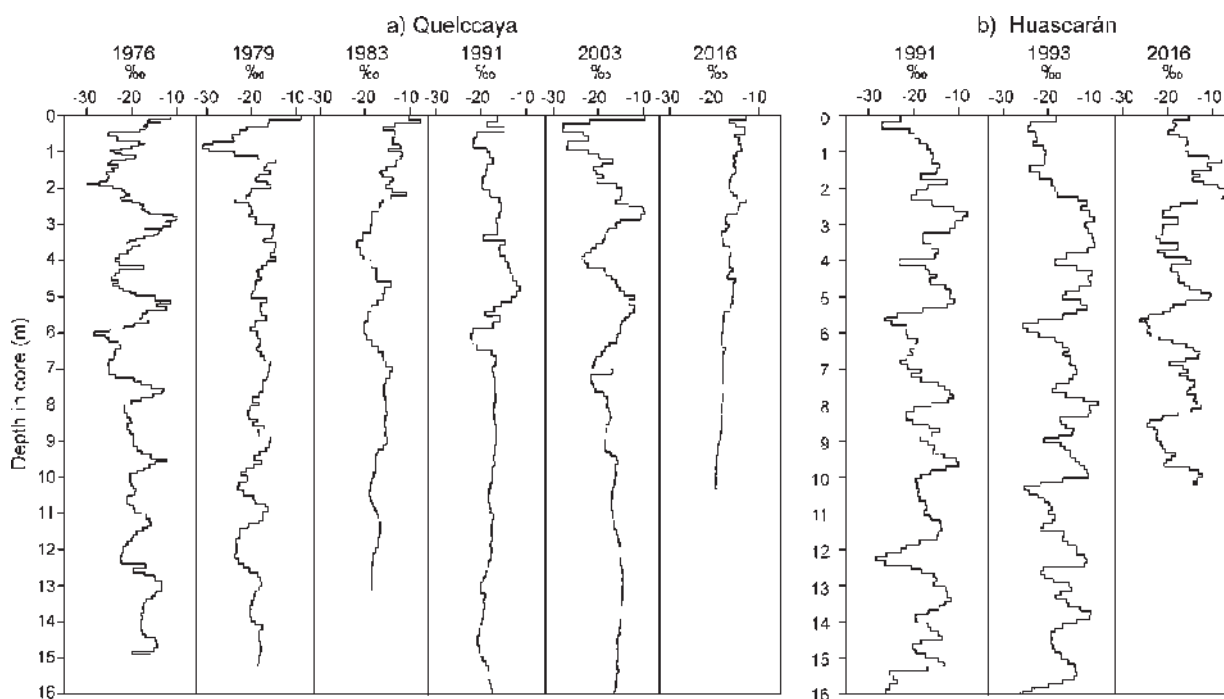
Evidence is mounting that the rate of tropospheric warming is increasing with elevation due to factors such as latent heat release, atmospheric aerosol loading, and feedbacks involving albedo, water vapor, and radiation fluxes (Pepin et al., 2015). The current warming has had detrimental effects on the mass balances of many tropical ice caps and glaciers. Many glaciers in the tropical Andes are diminishing at faster rates than at any time since the middle of the Little Ice Age (Thompson et al., 1993, 2013; Francou et al., 2003) and slightly faster than glacier retreat on a global scale (Rabatel et al., 2013). The most rapid rate of retreat has occurred in the last 50 years (Rabatel et al., 2013), and many small, low-elevation glaciers in the tropical Andes are projected to disappear within a few decades (Vuille et al., 2008; Rabatel et al., 2013; Schauwecker et al., 2014). During the 20<sup>th</sup> century, temperature has shown a more consistent upward trend while precipitation has shown little consistent trend, thus precipitation is not considered to be the primary factor driving the ice retreat (Rabatel et al., 2013). The national glacier inventories in Peru have cataloged a 40% total loss of glacier-covered areas between 1970 and 2003–2010 (UGRH, 2014). Between 1970 and 1996 the glacier coverage in the Cordillera Blanca diminished

by 15%, from ~721 km<sup>2</sup> to 600±61 km<sup>2</sup> (Silverio and Jaquet, 2005). Schauwecker et al. (2014) found that although the temperature rise in the Cordillera Blanca has slowed while precipitation has increased from 1983 to 2012, the rate of glacier retreat has continued unabated, perhaps due to an imbalance between the meteorological forcing and the slower glacier response before 1980. However, they suggest that small and low-elevation glaciers may disappear in the near future. Glacier area on Nevado Pastoruri/Caullaraju (Figure 1, insert) has decreased 58% between 1975 and 2010 (Durán-Alarcón et al., 2015), and glacier area in the Yanamarey catchment has decreased to one third of its 1975 extent while mean annual temperature has increased by 0.21 °C/decade (López-Moreno et al., 2017).

The isotopic data from HS and other glaciers in the Cordillera Blanca demonstrate how the recent warming over the tropical Andes has affected the preservation of the climate records in the upper layers of these ice fields (Figure 6). Over 25 years ago a number of ice fields (< 6000 masl) considered to be potential drill sites in the Cordillera Blanca were sampled and found to already be experiencing smoothing of their seasonal  $\delta^{18}\text{O}$  variations. On the



**Figure 6.** Ice core  $\delta^{18}\text{O}$  records from Cordillera Blanca ice fields (locations in Figure 1) arranged by increasing elevation. The drilling year of each ice core is indicated above its respective profile (modified from Davis et al., 1995, Figure 6).



**Figure 7.** (a)  $\delta^{18}\text{O}$  profiles from selected Quelccaya summit cores drilled over the last four decades. (b)  $\delta^{18}\text{O}$  profiles from the tops of the HS 1991 shallow core, the HS 1993 deep core, and the entire HS 2016 shallow core. Adapted from Thompson et al. (2017).

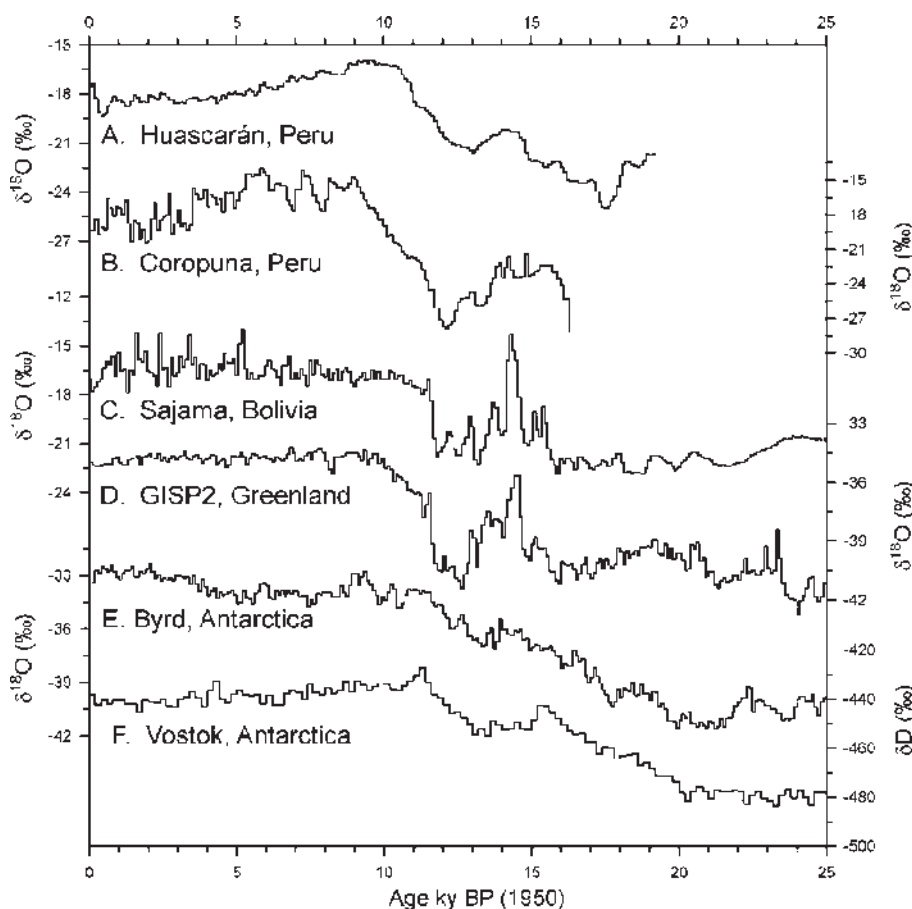
col of HS the firn and ice have retained the seasonal isotopic variations both at the surface and at depth (Figure 6) due to the higher elevation (6050 masl). As the 0 °C isotherm is approaching the summit of the Quelccaya ice cap (5670 masl) the distinctive seasonal  $\delta^{18}\text{O}$  oscillations in the fresh snow deposited within each thermal year are attenuated at depth (Figure 7) due to melting and percolation through the firn (Thompson et al., 2017). With continued warming the HS climate record will likely become similarly compromised in the future.

### Ice Core-derived Climate Records from the Andes and Existing Information from Huascarán

Ice core-derived climate records from the Andes of Peru and Bolivia span several timescales, from relatively short (e.g., Quelccaya, 1800 years) to several millennia (HS, Coropuna, Sajama, Illimani). The Quelccaya ice cap appears to be melting at its base (Thompson et al., 1985, 2013), thus removing time from the bottom. The HS record extends ~19 ka (Thompson et al., 1995), Coropuna (15.5°S; 72.7°W; 6410 masl) covers ~16 ka (Buffen, 2008), Sajama (18.1°S; 68.9°W; 6542 masl) extends back ~25 ka (Thompson et al., 1998) and Illimani (16.6°S; 67.75°W; 6350 masl) covers ~18 ka (Ramirez et al., 2003). Note that these longer records were recovered from above 6000 masl. HS and Coropuna  $\delta^{18}\text{O}$  show

increasing  $^{18}\text{O}$  depletion throughout the Holocene (as does Illimani, not shown), while the Sajama isotopic trend is more constant. All the Andes cores contain a warm period ~14 to 15 ka corresponding to the Allerød warming in the GISP2 record, followed by a climatic reversal that is concomitant with the Younger Dryas in Greenland. The HS record extends to the end of the last glacial cycle, while Sajama extends further into the LGS. Isotopic changes from the Last Glacial Maximum (LGM) to the Holocene are similar (5.1 to 6.5‰) for all the cores shown in Figure 8, from Antarctica through the tropical Andes to Greenland. The broad similarities between the Cordillera Blanca and Bolivian Altiplano ice core  $\delta^{18}\text{O}$  records provide evidence that the Amazon Basin is the dominant source of moisture for the tropical Andes. However, moisture/aridity balances in these two areas exhibit opposite trends. During the LGS the climate at 18°S was cool and wet and was marked by local lake expansion (Thompson et al., 1998), while climate in the Cordillera Blanca was cool and dry (Thompson et al., 1995). This is suggested to result from a reduction in Hadley cell intensity due to weakening of the tropical meridional temperature gradient during the LGS (Rind et al., 1998).

The Holocene climate on HS is dominated by gradual  $^{18}\text{O}$  depletion from ~9 ka to the Little Ice Age (Figure 3) (Thompson et al. 1995; Thompson 2000). The most dramatic event during the Holocene is a



**Figure 8.**  $\delta^{18}\text{O}$  records from (A) HS at 9°S, (B) Coropuna in southern Peru at 15.5°S, and (C) Sajama on the Bolivian Altiplano at 18°S compared with polar records from (D) GISP2, Greenland, and (E, F) two records from Antarctica over the most recent 25 ka showing regional and hemispheric similarities and differences.

large dust peak, the MHDE, which occurs at  $\sim 4.5$  ka, and has been linked to a global-scale mid-Holocene arid period. Evidence for this has been found in many locations at middle and low latitudes, including lake levels in northern Africa (Gasse, 1977, 2000; Gillespie et al., 1983; Servant and Servant-Vildary, 1980), the Sea of Oman (Cullen et al., 2000), and the Indus delta (Staubwasser et al., 2003), the largest Kilimanjaro ice field (Thompson et al., 2002), and northwest India (Dixit et al., 2014). This event may have been associated with a protracted African/Asian/Indian monsoon weakening which may have been associated with a shift toward stronger and/or more frequent ENSO events (Conroy et al., 2008). The MHDE appears as an abrupt 15-fold increase in submicron mineral dust thought to have originated in the Bodélé region of North Africa and to have been transported by trade winds across the Atlantic and incorporated in the moisture that was advected over the Amazon (Davis and Thompson, 2006). The presence in HS ice of unusually large dust particles ( $>40$   $\mu\text{m}$  diameter) of similar mineralogy to the mountain indicates that the aridity occurred in the Cordillera Blanca and that more native rock was exposed as the ice cover receded upslope from the col.

## Discussion

Tropospheric warming over the highest elevations of the tropical Andes has been well documented in recent decades (Vuille et al., 2015). Model results of elevation dependent warming show that temperature increases will be maximized in the high Andes (Bradley et al., 2006). A warming trend of  $\sim 0.10$   $^{\circ}\text{C}/\text{decade}$  has been observed in the central Andes over the last half century (Bradley et al., 2009), and future warming is projected to increase with altitude, potentially by 4  $^{\circ}\text{C}$  by the end of the 21<sup>st</sup> century (Bradley et al., 2006; Urrutia and Vuille, 2009), with much of the warming occurring in the winter. There is extensive evidence that this warming has been responsible for the dramatic retreat of many Peruvian glaciers, including the Quelccaya ice cap, along with the eradication of their recent climate signals (Davis et al., 1995; Thompson et al., 2006, 2013) (Figures 6 and 7). Two decades ago a number of ice fields ( $<6000$  masl) in the Cordillera Blanca investigated as potential drill sites were sampled and found to be undergoing smoothing of their seasonal  $\delta^{18}\text{O}$  variations (Davis et al., 1995, see Figure 6). There is evidence that the melting and percolation through the firn have been exacerbated in

southern Peru by the effects of major El Niños, and the most recent event (2015/16) has had particularly devastating effects on Quelccaya (Thompson et al., 2017). Evidence indicates that this most recent event has, at least temporarily, accelerated the rate of retreat of Quelccaya and enhanced the obliteration of the climate record stored in the ice.

While the oxygen isotopic record from the firn core recovered from the col of HS in 2016 at 6050 meters still preserves a largely unaltered seasonal depositional signal it is only a matter of time before this higher elevation record will be similarly compromised by the ongoing warming. In fact, ice area has already been reduced on HS and its neighbor Nevado Chopicalqui by ~28% (from 65.6 km<sup>2</sup> to 46.9 km<sup>2</sup>) between 1962 and 2016 (INAIGEM, in press). It is possible that the warming trend of the regional climate is near or at a threshold beyond which additional warming from very strong El Niños like the 2015/16 event, along with elevated freezing levels and feedbacks such as reduced snow cover, will augment the ice loss on even the highest-elevation Peruvian glaciers in the coming decades.

Valuable tropical ice archives are rapidly disappearing so new methods of investigation are needed to extract and analyze the ice, both in the field and in the lab, with the maximum achievable temporal resolution. Recovery and research should focus on ice cores from glaciers at risk of disappearing, using new and fast methods of glaciological investigation to retrieve the cores quickly and to understand climatic and environmental processes that might help guide mitigation and adaptation approaches to climate change. Many key areas containing these icy archives are experiencing geopolitical as well as climatic risks, but the competition for water in Peru is already growing and promises to worsen (see “A flood of problems, Peru’s glaciers have made it a laboratory for adapting to climate change. It’s not going well.” - Miroff, 2017).

Data from the HS ice cores address three important research areas. The first involves filling the information gap on how the climate and environment have changed over the past 24 years. The second is to provide high elevation mass balance data. Estimates of snowfall totals in the accumulation zone of Andean glaciers have large uncertainties (Vuille et al., in press) and the HS ice cores will provide important point-estimates of mass balance at the highest elevations

in the Cordillera Blanca. The changes in the dust composition and concentrations can reflect changes in potential source areas and/or atmospheric circulation at decadal, centennial, millennial, and glacial-interglacial timescales. HS lies under the influence of easterly winds and a change in the sources of the above parameters in Amazonia, and possibly in North Africa, may be reflected in variations in the elemental composition of aerosols entrained in the atmosphere and ultimately deposited on HS. For instance, the Sahara was subjected to large environmental changes during the mid-Holocene, including a major transition from a green wet phase (African Humid Period) to dry desert conditions (Kröpelin et al., 2008). Amazonia might have experienced large environmental changes from rainforest to savanna-type vegetation and savanna forest from 22 to 13 ka. Figure 4 illustrates the vegetation and surface cover inferred for both modern and glacial stage conditions (Clapperton, 1993). The Amazon forest may have split into a major western Amazon and several other medium size forests (van der Hammen and Absy, 1994). Others advance a scenario of long-term continuous forest occupation based on available palynological data from the Amazon Basin (Colinvaux and De Oliveira, 2000). The initial interpretation of the dust and nitrate data from the 1993 HS core (Thompson et al., 1995; Urrego et al., 2016) was consistent with drier, dustier conditions in Amazonia during the LGS.

## Conclusions

Ice can be considered to be Nature’s best thermometer, perhaps the most sensitive and unambiguous indicator of climate change (Pollack, 2009), and glaciers serve both as recorders and indicators of climate change. Ice cores recovered from Peruvian glaciers contain climate histories that can be reconstructed from stable isotopes and aerosols, and they also hold the potential of a history of biological parameters (microbial populations, pollen and even methane concentrations) at the highest elevation sites. The recent warming in the Tropics is observed not only in ice core chemistry, but in the retreat of the ice fields. Glaciers and ice caps in the tropical Andes of Peru serve as first responders to climate change as they expand when it is colder and/or wetter and retreat when it is warmer and/or dryer much faster than large polar ice sheets. Numerous high altitude glaciers throughout the world are monitored by ground observations, aerial photography, and satellite-borne sensors. From

all these analyses there is a consensus that almost without exception these ice fields are retreating at an accelerating rate (Coudrain et al., 2005; Thompson et al., 2006, 2011, 2013). Nowhere is the loss of tropical glaciers better documented and more important than in the Andes of Peru. The longest documented record of tropical glacier retreat comes from a 44-year study conducted on the Quelccaya ice cap (the largest of the tropical ice caps) in the southern Andes of Peru. Ice core archives, as well as the detailed retreat of the Quelccaya's largest outlet glacier (Qori Kalis), register the loss of a very important climate archive as well as the accelerating loss of a water resource that feeds not only the Amazon River to the east but also Lake Titicaca to the south. In the Cordillera Blanca all the shallow ice cores from elevations below 5400 masl document the alteration of the ice core record due to both seasonal melting and the movement of melt water through the porous upper firn layers. Because of its high elevation, only Huascarán appears to still preserve a largely unaltered ice core record. As in southern Peru, the Cordillera Blanca glaciers, including Huascarán, are documented by INAIGEM (in press) to be retreating. Given the current rates of warming throughout the tropical Andes, it is only a matter of time before ice core-derived climate records from Huascarán will also be compromised and permanently lost.

Peru's population is particularly vulnerable to climate change. The current glacier retreat throughout the Peruvian Andes is contributing to emerging water resource crises and environmental hazards for both urban and rural populations. Currently, this retreat is creating an enhanced dry season discharge that will not be sustained in the longer term. Most of Peru's population lives in the west coast desert, which relies on glacier streams for agriculture, hydroelectricity, municipal water supplies, ecosystems, tourism and recreation. Retreating glaciers also exacerbate geohazards by forming ice and moraine-dammed glacial lakes, which can result in lake outbursts that often cause flooding and debris flows. These outbursts are even more likely in this earthquake prone region. Understanding the impact of this acceleration of glacier loss on future water resources requires information about past changes in high elevation glacier mass balance. This information is sparse, with the exception of a few point-estimates based on ice core studies such as those from the Cordillera Blanca, and especially on its highest ice field on Nevado Huascarán. Such data are urgently needed

by policymakers, governmental agencies, and public resource administrators to help guide mitigation and adaptation strategies.

## References

- Albert, T., Klein, A., Kincaid, J. L., Huggel, C., Racoviteanu, A. E., Arnaud, Y.,... Ceballos, J. L. (2014). Remote sensing of rapidly diminishing tropical glaciers in the northern Andes. *In* Kargel, J. S., Leonard, G. J., Bishop, M. P., Kääb, A. and Raup, B. H. (Eds.). *Global Land Ice Measurements from Space*, 609-638. Berlin Heidelberg, Springer.
- Bard, E., Arnold, M., Maurice, P., Duprat, J., Moyes, J. and Duplessy, J.-C. (1987). Retreat velocity of the North Atlantic polar front during the last deglaciation determined by  $^{14}\text{C}$  accelerator mass spectrometry. *Nature*, 328, 791-794. <https://doi.org/10.1038/328791a0>
- Bradley, R. S., Vuille, M., Hardy, D. and Thompson, L. G. (2003). Low latitude ice cores record Pacific sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 30(4), 1174. <https://doi.org/10.1029/2002GL016546>
- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F. and Vergara, W. (2006). Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, 312, 1755-1756. <https://doi.org/10.1126/science.1128087>
- Bradley, R. S., Keimig, F. T., Diaz, H. F. and Hardy, D. R. (2009). Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophysical Research Letters*, 36, L17701. <https://doi.org/10.1029/2009GL037712>
- Brecher, H. H. and Thompson, L. G. (1993). Measurement of the retreat of Qori Kalis glacier in the tropical Andes of Peru by terrestrial photogrammetry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59, 1017-1022.
- Buffen, A. (2008). Abrupt Holocene climate change: Evidence from a new suite of ice cores from Nevado Coropuna, southwestern Peru and recently exposed vegetation from the Quelccaya ice cap, southeastern Peru. Masters thesis, The Ohio State University, 128 pp.

- Cai, Z. and Tian, L. (2016). Atmospheric controls on seasonal and interannual variations in the precipitation isotope in the East Asian Monsoon region. *Journal of Climate*, 29, 1339-1352. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0363.1>
- Clapperton, C. M. (1993). Nature of environmental changes in South America at the Last Glacial Maximum. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101, 189-208. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(93\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0031-0182(93)90012-8)
- Colinvaux, P. A. and De Oliveira, P. E. (2000). Palaeoecology and climate of the Amazon basin during the last glacial cycle. *Journal of Quaternary Science*, 15, 347-356. [https://doi.org/10.1002/1099-1417\(200005\)15:4<347::AID-JQS537>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1099-1417(200005)15:4<347::AID-JQS537>3.0.CO;2-A)
- Conroy, J. L., Overpeck, J. T., Cole, J. E., Shanahan, T. M. and Steinitz-Kannan, M. (2008). Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galápagos lake sediment record. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1166-1180. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.02.015>
- Coudrain, A., Francou, B. and Kundzewicz, Z. W. (2005). Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources. *Hydrological Sciences Journal*, 50, 925-932.
- Cullen, H. M., deMenocal, P. B., Hemming, S. and Hemming, G. (2000). Climate change and the collapse of the Akkadian empire: evidence from the deep sea. *Geology*, 28(4), 379-382. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)28<379:CCATCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<379:CCATCO>2.0.CO;2)
- Dansgaard, W. (1964). Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436-468. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v16i4.8993>
- Davis, M. E. and Thompson, L. G. (2006). Andean ice core record of a Middle Holocene megadrought in North Africa and the Middle East. *Annals of Glaciology*, 43, 34-41. <https://doi.org/10.3189/172756406781812456>
- Davis, M. E., Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Lin, P.-N., Mikhalenko, V. N. and Dai, J. (1995). Recent ice-core climate records from the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology*, 21, 225-230. <https://doi.org/10.3189/S026030550001586X>
- Diaz, H. F., Bradley, R. S. and Ning, L. (2014). Climatic changes in mountain regions of the American Cordillera and the Tropics: Historical changes and future outlook. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 46(4), 735-743. doi: 10.1657/1938-4246-46.4.735
- Dixit, Y., Hodell, D. A. and Petrie, C. A. (2014). Abrupt weakening of the summer monsoon in northwest India ~4100 yr ago. *Geology*, 42, 339-342. <https://doi.org/10.1130/G35236.1>
- Durán-Alarcón, C., Gevaert, C. M., Jiménez-Munoz, J. C., Pasapera-Gonzales, J. J., Sobrino, J. A., Silvia-Vidal, Y.,... Santillán-Portilla, N. (2015). Recent trends on glacier area retreat over the group of Nevados Caullaraju-Pastoruri (Cordillera Blanca, Peru) using Landsat imagery. *Journal of South American Earth Science*, 59, 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.01.006>
- Francou, B., Vuille, M., Wagnon, P., Mendoza, J. and Sicart, J.-E. (2003). Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia 16°S. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 108, 4154. <https://doi.org/10.1029/2002JD002959>
- Garreaud, R. D. and Aceituno, P. (2001). Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*, 14, 2779-2789. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<2779:IRVOTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<2779:IRVOTS>2.0.CO;2)
- Garreaud, R. D., Vuille, M. and Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, 5-22. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00269-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00269-4)
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R. and Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 281, 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>
- Gasse, F. (1977). Evolution of Lake Abhé (Ethiopia and T.F.A.I.) from 70,000 B.P. *Nature*, 265, 42-45. <https://doi.org/10.1038/265042a0>
- Gasse, F. (2000). Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum.

- Quaternary Science Reviews*, 19, 189–211. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00061-X)
- Gillespie, R., Street-Perrott, F. A. and Switsur, R. (1983). Post-glacial arid episodes in Ethiopia have implications for climate prediction. *Nature*, 306, 680–683 <https://doi.org/10.1038/306680a0>
- Grootes, P. M., Stuvier, M., Thompson, L. G. and Mosley-Thompson, E. (1989). Oxygen isotope changes in tropical ice, Quelccaya, Peru. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 94(D1), 1187–1194. <https://doi.org/10.1029/JD094iD01p01187>
- Hanshaw, M. N. and 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, 359–376. <https://doi.org/10.5194/tc-8-359-2014>
- Henderson, K. A., Thompson, L. G. and Lin, P.-N. (1999). Recording of El Niño in ice core  $\delta^{18}\text{O}$  records from Nevado Huascarán, Peru. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 104(D24), 31053–31065 <https://doi.org/10.1029/1999JD900966>
- Huang, B., Banzon, V. F., Freeman, E., Lawrimore, J., Liu, W., Peterson, T. C.,... Zhang, H.-M. (2015). Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate*, 28, 911–930. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00006.1>
- Hurley, J. V., Vuille, M., Hardy, D. R., Burns, S. J. and Thompson, L. G. (2015). Cold air incursions,  $\delta^{18}\text{O}$  variability, and monsoon dynamics associated with snow days at Quelccaya Ice Cap, Peru. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 120, 7467–7487. <https://doi.org/10.1002/2015JD023323>
- INAIGEM. (2017). *Expedición científica Huascarán INAIGEM 2017*. Nota Técnica 1. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- INAIGEM. (in press). *Inventario Nacional de Glaciares del Perú 2016*. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L.,... Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437–471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Kaser, G., Juen, I., Georges, C., Gómez, J. and Tamayo, W. (2003). The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Hydrology*, 282, 130–144 [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00259-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00259-2)
- Kröpelin, S., Vershuren, D., Lézine, A.-M., Eggermont, H., Cocquyt, C., Francus, P.,... Engstrom, D. R. (2008). Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: The past 6000 years. *Science*, 320, 765–768. <https://doi.org/10.1126/science.1154913>
- Lenters, J. D. and Cook, K. H. (1997). On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American climate. *Journal of Atmospheric Science*, 54, 656–677. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<0656:OTOOTB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<0656:OTOOTB>2.0.CO;2)
- Liu, W., Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Zhang, H.-M., Freeman, E.,... Woodruff, S. (2015). Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4): Part II. Parametric and structural uncertainty estimations. *Journal of Climate*, 28, 931–951, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00007.1
- López-Moreno, J. I., Valero-Garcés, B., Mark, B., Condom, T., Revuelto, J., Azorín-Molina, C.,... Cochachin, J. A. (2017). Hydrological and depositional processes associated with recent glacier recession in Yanamarey catchment, Cordillera Blanca (Peru). *Science of the Total Environment*, 579, 272–282. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.107
- Mantas, V.M., Liu, Z., Caro, C. and Pereira, A.J.S.C. (2015). Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes. *Atmospheric Research*, 163, 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.11.012>
- Maussion, F., Gurgiser, W., Großhauser, M., Kaser, G. and Marzeion, B. (2015). ENSO influence on surface energy and mass balance at Shallap Glacier, Cordillera Blanca, Peru. *The Cryosphere*, 9, 1663–1683. <https://doi.org/10.5194/tc-9-1663-2015>

- Miroff, N. (2017). A flood of problems, Peru's glaciers have made it a laboratory for adapting to climate change. It's not going well. *The Washington Post*. [http://www.washingtonpost.com/sf/world/2017/08/07/perus-glaciers-have-made-it-a-laboratory-for-adapting-to-climate-change-its-not-going-well/?utm\\_term=.998a32476813](http://www.washingtonpost.com/sf/world/2017/08/07/perus-glaciers-have-made-it-a-laboratory-for-adapting-to-climate-change-its-not-going-well/?utm_term=.998a32476813)
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N.,... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5, 424-430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>
- Permana, D. S., Thompson, L. G. and Setyadi, G. (2016). Tropical West Pacific moisture dynamics and climate controls on rainfall isotopic ratios in southern Papua, Indonesia. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 121, 2222–2245. <https://doi.org/10.1002/2015JD023893>
- Pollack, H. (2009). *A world without ice*. New York, Avery.
- Quinn, W. H. (1983). The large-scale ENSO event, the El Niño and other important regional features. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 22, 13-34.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L.,... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7(1), 81–102 <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>
- Ramirez, E., Hoffman, G., Taupin, J. D., Francou, B., Ribstein, P., Caillon, N.,... Stievenard, M. (2003). A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6350 m), Bolivia. *Earth and Planetary Science Letters*, 212, 337-350. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00240-1](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00240-1)
- Rind, D. (1998). Latitudinal temperature gradients and climate change. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 103, 5943-5971. <https://doi.org/10.1029/97JD03649>
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L. and Gonfiantini, R. (1993). Isotopic patterns in modern global precipitation. In Swart, P. K., Lohmann, K. C., Mckenzie, J. and Savin, S. (Eds.). *Climate change in continental isotopic records*. Geophysics Monograph Series, Vol. 78, 1-36. Washington, D.C., American Geophysical Union.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H.,... Vuille, M. (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Global and Planetary Change*, 119, 85-97 <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.05.005>
- Scholl, M. A., Shanley, J. B., Zegarra, J. P. and Coplen, T. B. (2009). The stable isotope amount effect: New insights from NEXRAD echo tops, Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Water Resources Research*, 45, W12407. <https://doi.org/10.1029/2008WR007515>
- Servant, M. and Servant-Vildary, S. (1980). L'environnement quaternaire du bassin du Tchad. In Williams, M. A. J. and Faure, H. (Eds.). *The Sahara and the Nile. Quaternary environments and prehistoric occupation in northern Africa*, 133–162. Rotterdam, A. A. Balkema.
- Silverio, W. and Jaquet, J.-M. (2005). Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 95, 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.012>
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P. M. and Segl, M. (2003). Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus Valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophysical Research Letters*, 30(8), 1425. <https://doi.org/10.1029/2002GL016822>
- Thompson, L. G. (1980). Glaciological investigations of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Journal of Glaciology*, 25(91), 69-84. <https://doi.org/10.3189/S0022143000010297>
- Thompson, L. G. (2000). Ice core evidence for climate change in the Tropics: Implications for our future. *Quaternary Science Reviews*, 19, 19-35. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00052-9)
- Thompson, L. G., Bolzan, J. F., Brecher, H. H., Kruss, P. D., Mosley-Thompson, E. and Jezek, K. C. (1982). Geophysical investigations of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Journal of Glaciology*, 28(98), 57-69. <https://doi.org/10.1017/S0022143000011795>

- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Bolzan, J. F. and Koci, B. R. (1985). A 1500-year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 229, 971–973. <https://doi.org/10.1126/science.229.4717.971>
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M., Lin, P.-N., Yao, T., Dyurgerov, M. and Dai, J. (1993). “Recent warming”: ice core evidence from tropical ice cores with emphasis on Central Asia. *Global and Planetary Change*, 7, 145-156. [https://doi.org/10.1016/0921-8181\(93\)90046-Q](https://doi.org/10.1016/0921-8181(93)90046-Q)
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Lin, P.-N., Henderson, K. A., Cole-Dai, J.,... Liu, K.-B. (1995). Late Glacial Stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269, 46-50. <https://doi.org/10.1126/science.269.5220.46>
- Thompson, L. G., Davis, M. E., Mosley-Thompson, E., Sowers, T. A., Henderson, K. A., Zagorodnov, V. S.,... Francou, B. (1998). A 25,000 year tropical climate history from Bolivian ice cores. *Science*, 282(5295), 1858-1864.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Henderson, K. A., Brecher, H. H., Zagorodnov, V. S.,... Beer, J. (2002). Kilimanjaro ice core records: Evidence of Holocene climate change in tropical Africa. *Science*, 298, 589-593. <https://doi.org/10.1126/science.1073198>
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Brecher, H., Davis, M., León, B., Les, D.,... Mountain, K. R. (2006). Abrupt tropical climate change: Past and present. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 103(28), 10,536–10,543. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603900103>
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E. and Brecher, H. H. (2011). Tropical glaciers, recorders and indicators of climate change, are disappearing globally. *Annals of Glaciology*, 52(59), 23-34, doi: 10.3189/172756411799096231
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Zagorodnov, V. S., Howat, I. M., Mikhalevko, V. N. and Lin, P.-N. (2013). Annually resolved ice core records of tropical climate variability over the past ~1800 years. *Science*, 340, 945–950. <https://doi.org/10.1126/science.1234210>
- Thompson, L. G., Davis, M. E., Mosley-Thompson, E., Beaudon, E., Porter, S. E., Kutuzov, S.,... Mountain, K. R. (2017). Impacts of recent warming and the 2015/16 El Niño on tropical Peruvian ice fields. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 122. <https://doi.org/10.1002/2017JD026592>
- UGRH. (2014). *Inventario de glaciares del Perú*. Huaraz, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH), Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Urrego, D. H., Hooghiemstra, H., Rama-Corredor, O., Martrat, B., Grimalt, J. O., Thompson, L. G.,... Velásquez-Ruiz, C. (2016). Millennial-scale vegetation changes in the tropical Andes using ecological grouping and ordination methods. *Climate of the Past*, 12, 697-711. <https://doi.org/10.5194/cp-12-697-2016>
- Urrutia, R. and Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21<sup>st</sup> century. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 114, D02108. <https://doi.org/10.1029/2008JD011021>
- van der Hammen, T. and Absy, M. L. (1994). Amazonia during the last glacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109, 247-261. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(94\)90178-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90178-3)
- Vaughan, D. G., Comiso, J. C., Allison, I., Carrasco, J., Kaser, G., Kwok, R.,... Zhang, T. (2013). Observations: Cryosphere. In Stocker, T. F., et al. (Eds.). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- Vuille, M. and Werner, M. (2005). Stable isotopes in precipitation recording South American summer monsoon and ENSO variability: Observations and model results. *Climate Dynamics*, 25, 401-413. <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0049-9>
- Vuille, M., Bradley, R. S. and Keimig, F. (2000). Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 105(D10), 12,447-12,460. <https://doi.org/10.1029/2000JD900134>

- Vuille, M., Bradley, R. S., Werner, M., Healy, R. and Keimig, F. (2003). Modeling  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation over the tropical Americas: 1. Interannual variability and climatic controls. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 108(D6). <https://doi.org/10.1029/2001JD002038>
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G. and Bradley R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89, 79-96. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>
- Vuille, M., Franquist, E., Garreaud, R., Lavado Casimiro, W. S. and Cáceres, B. (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 120, 3745-3757. <https://doi.org/10.1002/2015JD023126>
- Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D.,... Sicart, J.-E. (in press). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019>

---

# Exploring Patterns and Controls on the Hydrochemistry of Proglacial Streams in the Upper Santa River, Peru

Explorando Patrones y Controles en la Hidroquímica de las Corrientes Proglaciales en el Alto Río Santa, Perú

Alex M. Eddy<sup>1,2</sup>, Bryan G. Mark<sup>2,3</sup>, Michel Baraër<sup>4</sup>, Jeffrey McKenzie<sup>5</sup>, Alfonso Fernández<sup>6</sup>, Susan Welch<sup>3,7</sup> and Sarah Fortner<sup>8</sup>

<sup>1</sup>US National Park Service, Sierra Nevada Inventory and Monitoring Network, Three Rivers, CA, USA\*

<sup>2</sup>Department of Geography, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

<sup>3</sup>Byrd Polar and Climate Research Center, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

<sup>4</sup>ETS, University of Quebec, Montreal, Quebec, Canada

<sup>5</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, McGill University, Montréal, Québec, Canada

<sup>6</sup>Department of Geography, University of Concepción, Concepción, Chile

<sup>7</sup>School of Earth Sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

<sup>8</sup>Geology, Wittenberg University, Springfield, Ohio, USA

\*Present address

## Abstract

Dramatic glacier loss in the upper Santa River watershed in Ancash, Peru has significant impact on proglacial hydrologic systems, with implications for downstream stressors on human water use activities. This study integrates hydrochemical analysis and spatial exploration across multiple scales with the aim of exploring patterns and controls of inorganic water quality within the region. The chemistry of proglacial surface waters is primarily determined by weathering in rock-water contact areas, and glacial meltwater inherits the chemical properties of the surficial lithology along a flow path. Hydrochemical analysis methods identify elemental characteristics that are unique to the study region. Dominant hydrochemical processes include silicate weathering, coupled pyrite oxidation with silicate weathering, and to a lesser extent, carbonate weathering. The sulfate constituent is unusually high for portions of the study region and is attributed to highly acidified waters immediately downstream from glacial point sources. Geovisualization extends the results of the hydrochemical analysis by showing temporal change and suggesting connections between areas of freshly exposed surficial lithologies, high rates of erosion and weathering, and elevated sulfate concentrations.

**Keywords:** *Climate change, water chemistry, geovisualización, weathering processes, tropical glaciers*

## Resumen

La dramática pérdida de glaciares en la cuenca alta del río Santa en Ancash, Perú, tiene un impacto significativo en los sistemas hidrológicos proglaciales, con implicaciones para los factores

estresantes aguas abajo en las actividades de uso humano del agua. Este estudio integra el análisis hidroquímico y la exploración espacial en múltiples escalas con el objetivo de explorar patrones y controles de la calidad del agua inorgánica en la región. La química de las aguas superficiales proglaciales está determinada principalmente por la intemperie en las áreas de contacto agua-roca, y el agua de deshielo glacial hereda las propiedades químicas de la litología superficial a lo largo de un camino de flujo. Los métodos de análisis hidroquímico identifican características elementales que son exclusivas de la región de estudio. Los procesos hidroquímicos dominantes incluyen la meteorización del silicato, la oxidación de pirita acoplada con el desgaste del silicato y, en menor medida, la meteorización del carbonato. El constituyente de sulfato es inusualmente alto para partes de la región de estudio y se atribuye a aguas altamente acidificadas inmediatamente aguas abajo de fuentes puntuales glaciales. La geovisualización amplía los resultados del análisis hidroquímico al mostrar cambios temporales y sugerir conexiones entre áreas de litologías superficiales recién expuestas, altas tasas de erosión y meteorización, y concentraciones elevadas de sulfato.

**Palabras clave:** *Cambio climático, química del agua, geovisualización, procesos de meteorización, glaciares tropicales*

## Introduction

Rapid and widespread retreat of Andean glaciers raises acute concerns for water resources and sustainable use of downstream water resources (Mark et al., 2015). Glaciers function as a hydrologic buffer mitigating the tropical seasonality of precipitation that

deprives western slopes of the Andes of regular water sources throughout the year (Mark and Seltzer, 2003; Silverio and Jaquet, 2005; Casassa et al., 2007; Vuille et al., 2008; Baraër et al., 2009; Mark et al., 2010). The Santa River watershed in north-central Peru provides a study region in which glacial water resources support a variety of human activities, including hydroelectric generation, mining, and agricultural irrigation (Chevallier et al., 2010). Multidisciplinary approaches are needed to address the complex relationships between population and economic growth, changing land use patterns, glacial recession, and hydrologic transformations (Higa Eda and Chen, 2010; Baraër et al., 2012; Mark et al., 2017). Recent assessments apply integrated models to test linkages between climate-driven fluctuations in glacial resources – including the timing, amount, and quality of available surface water – and changing policies, economics, and social structure. Intensification of competing land and water resource uses, particularly mining and large-scale coastal agriculture, underscores a need for accurate characterization of surface water health using indicators of water quality (Bury et al., 2013; Carey et al., 2014).

This analysis expands current understanding of the dominant factors affecting inorganic surface water chemistry in the Santa River watershed, contributing to the body of interdisciplinary work whose overarching goal is to model watershed processes and improve projections of resource impact and human vulnerability in a rapidly changing environment. Previous hydrologic research in the Santa River watershed has focused on the impacts of glacial retreat on water quantity and seasonal availability (Hegglin and Huggel, 2008; Mark et al., 2010; Baraër et al., 2012), but fewer studies have assessed changes in water chemistry (Mark, McKenzie and Gómez, 2005; Mark and McKenzie, 2007; Guittard et al., in review). Recent assessments have quantified elemental concentrations in specific catchments, describing poor water quality driven by natural conditions in the headwaters of the Cordillera Blanca (Fortner et al., 2011). We extend these efforts by providing an analytical characterization of the spatiotemporal variability in the dissolved loads of major ions at multiple scales and we describe determinant weathering processes within the region.

Current understanding of hydrochemical processes in proglacial systems supports a general operational hypothesis that guides the analysis. Glacial meltwater

at its source point is considered essentially “pristine,” containing low concentrations of total dissolved solids (TDS) (Tranter, 2003). The inorganic chemical composition of downstream water is largely a function of chemical weathering and depends on: (1) existing ionic concentrations of precipitation input; (2) rock-water contact area; (3) length of time over which water is in contact with a rock surface; and (4) composition and reactivity of rocks in the catchment area. Glacial fluctuations expose fresh weathering surfaces and generate an abundance of fine-grained materials, creating large rock-water contact areas in proglacial systems and increasing the rate at which solids dissolve in meltwater (Brown, 2002; Oliva, Viers and Dupre, 2003; Fortner et al., 2011). Concentrations of dissolved ions can be used as natural tracers, or indicator species, to identify water sources (Elango and Kannan, 2007; Bove, Walton-Day and Kimball, 2009; Baraër et al., 2012), and natural acidification, or low pH, can indicate the presence of chemically resistant rock types (Drever, 1988; Hemond and Benoit, 1988). We hypothesize that rock reactivity and weathering in rock-water contact areas are the determinant processes controlling water geochemistry in the Santa River watershed, and glacial meltwater inherits the geochemistry of surface lithology along the drainage path.

Political and economic constraints and logistical difficulties in performing observational research in high-elevation tropical environments limit long-term monitoring and data collection in highland Peru (Heggelin and Huggel, 2008; Baraër et al., 2012). Building robust and usable datasets can be a challenge in data-sparse regions, where lack of data availability, quality, and continuity impedes quantitative methods for hydrologic characterization (Thieme et al., 2007). The current study features a unique dataset that we have gathered over time as a small collaboration of academic researchers. The data are spatially-enabled and comprise a water chemistry database for the region that has unprecedented spatial extent and temporal range. Digital mapping using Geographic Information Systems (GIS) provides a powerful platform for evaluating the concentrations of dissolved ions relative to environmental characteristics, such as geology, glacial coverage, and hydrography.

This paper reports on measures of hydrochemistry as observed in water samples taken from the watershed over many years, with the aim of exploring patterns and geological controls. The research objectives are

to: (1) explore the relationships between dissolved ion concentrations in the surface waters of the Santa River watershed; (2) relate ionic concentrations to potential geologic sources; (3) quantify changes in dissolved ion concentrations over approximately the

past decade; and (4) visualize and interpret spatial patterns in ionic chemistry. We apply these research objectives across scales through a watershed-level analysis and a case study within the Yanayacu drainage basin, or catchment (Figure 1).

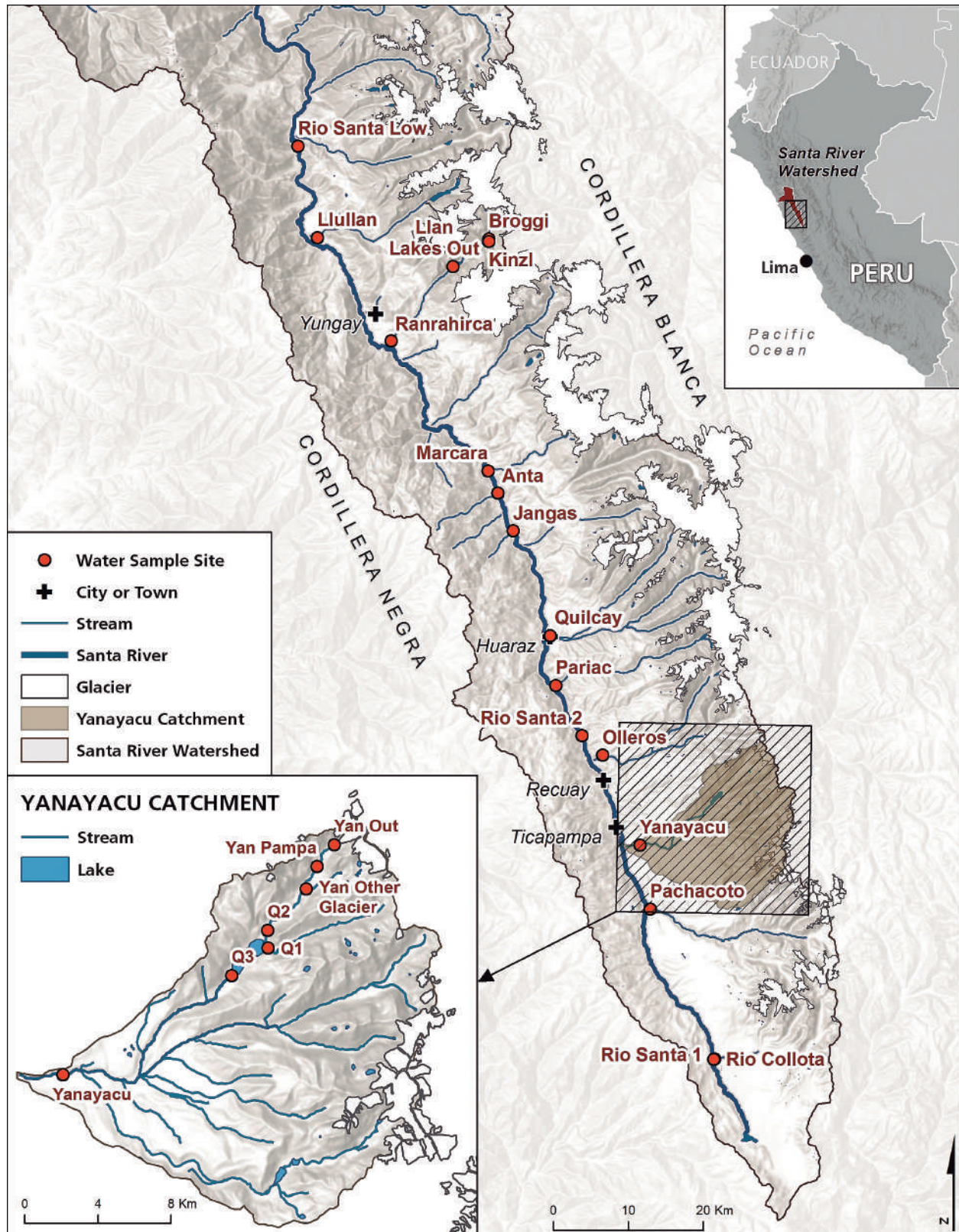
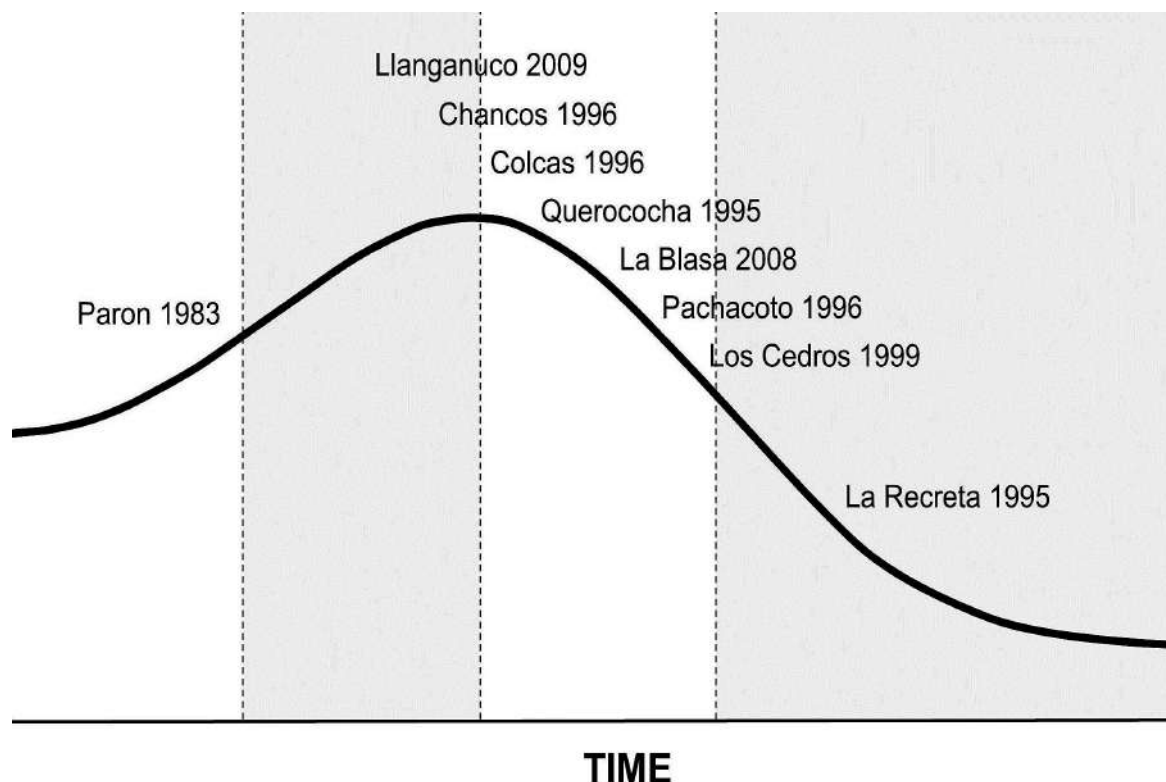


Figure 1. Map of Santa River watershed with water sample site locations, rivers, glacial coverage, glacial lakes, and selected cities or towns; with inset map of Yanayacu catchment, with water sample site locations, glaciers, lakes, and rivers.

## Study Area

The Santa River flows northwest over 300 km, draining a total watershed of 12,200 km<sup>2</sup> to the Pacific coast in the Department of Ancash, approximately 400 km north of Lima, Peru (Figure 1). The Santa River watershed drains two major mountain systems, the non-glacierized Cordillera Negra to the west and the heavily glacierized Cordillera Blanca to the east (Baraër et al., 2012). In this study, we report on data from water samples taken along the Santa River in the upper part of the watershed featuring glacierized tributaries joining the main river as depicted in Figure 1. The inset map depicts the Yanayacu watershed that features sample sites along a transect from the Yanamarey Glacier through a lake and down to the main Santa River below the Yanayacu sample site. The Cordillera Blanca contains approximately 600 glaciers, the largest concentration of tropical glaciers in the world. Meltwater from these glaciers buffers stream flow through the drainage basin, contributing between 10 and 20 percent of the upper Santa River's total annual discharge and providing over 40 percent of the river's dry season base flow. The Cordillera Negra has a minimal impact in the Santa River base flow (Mark, McKenzie and Gómez, 2005).

Glaciers that feed the Santa River have been receding since the Little Ice Age with an increased rate of reduction and wasting within the past 50 to 60 years (Vuille et al., 2008; Schauwecker et al., 2013). Large-scale wasting of these freshwater reservoirs has significant impact on dry season stream discharge (Mark, McKenzie and Gómez, 2005). A series of conceptual hydrologic impact phases characterize the fluctuations over time. Meltwater discharge first increases as glaciers lose volume, then decreases and reaches a plateau in which glaciers no longer contribute to stream discharge (Jansson, Hock and Schneider, 2003). Figure 2 shows that many glacier-fed catchments in the Santa River watershed have already surpassed the initial phases of hydrologic impact; they are described by the declining phases of the conceptual hydrograph (Baraër et al., 2012). The development of an accurate model of Santa River water resources has become increasingly relevant as the region continues to grow economically. The sustainability of high water use activities depends on understanding the fluctuations in seasonal and annual discharge of the Santa River, as well as organic and inorganic water quality across the watershed.



**Figure 2. Conceptual hydrograph that describes glacial retreat impact phases in the Santa River watershed. Phases include: (1) increase of annual and dry-season discharge; (2) increase of annual and dry-season discharge slows and the glacier water resource reaches peak contribution to the watershed; (3) decrease in annual and dry-season discharge and higher variability, based on primary on precipitation and groundwater storage; and (4) glaciers no longer contribute to stream discharge and equilibrium is lowered (Baraër, 2012; Bury et al., 2013).**

Temperature in the tropical Andean Santa River watershed varies little across the year. Rainfall, and hence snow accumulation, presents a persistent seasonality: the wet season occurs during the austral summer (JFM) while dry conditions prevail during the winter (JJA). Orography plays an important role in the vertical and horizontal of precipitation; it creates a rain shadow effect – or area of low precipitation – along the western side of the Andean ridge that is in the lee of the prevailing eastern winds traveling across the Amazon basin. The air then descends the western leeward side of the mountain chain, warms, and creates the dry desert climate along the Pacific coast (Aguado and Burt, 2007).

The geology of the drainage basin is a product of a variety of tectonic and erosional process, with some of Peru's highest mountain peaks located along the active detachment fault of the Cordillera Blanca (McNulty et al., 1998; Garver et al., 2005). The core and highest peaks of the Cordillera Blanca are part of a granodiorite batholith intruded into a metamorphic unit that includes hornfel, gneiss, and sulfide-rich lithologies, such as pyrite schist, phyllite, and pyrite-bearing quartzite (Giovanni et al., 2010). Granodiorite materials outcrop predominantly in the northern portion of the range, while the southern portion is dominated by various metasediments, including quartzites and carbonates (Garver et al., 2005). The main trunk valley of the Santa River watershed is covered by recent sediment deposits,

including alluvium, landslide deposits, and glacial-fluvial deposits, while tributary valleys contain glacial-fluvial fill. The effective impact of past and present glacier extent in the topography of the area is observed in a number of geomorphic features, including steep walled U-shaped valleys, moraines, and proglacial lakes (Egeler and de Booy, 1955; Wilson, Reyes and Garayar, 1967; Mark and Seltzer, 2005; Mark, 2008).

## Data and Methods:

### *Water Quality Database*

The production, assimilation, editing, and integration of various spatial data are important for addressing to our research goals: exploring patterns and controls of the hydrochemistry of the Santa River watershed. We have developed a unique geospatial database from water samples collected at 23 localities, taken predominantly during the austral winter months of June, July, and August 2004-2009 and 2011. Four sample sites are located along the Santa River, while the remaining samples are located at tributaries within different catchments. Table 1 lists all sample sites, years in which the samples were taken, and Strahler stream order for each sample location (Strahler, 1957). For tributary samples, Table 1 also identifies the catchment in which each sample site is located and describes the catchments' surficial lithology at a 1:10000 scale (INGEMMET, 1996).

**Table 1. List of all sample sites, years in which the samples were taken, and Strahler stream order at the sample location (Strahler, 1957). For tributary sample sites, this table identifies the catchment in which each sample site is located and a description of each catchment's mapped surficial lithology at a 1:10000 scale (INGEMMET, 1996).**

Sample Site	Sample Years	Stream Order	Catchment	Catchment Lithology Description
Río Santa 1	2004-2009, 2011	4	N/A	N/A: Samples collected at the Santa River.
Río Santa 2	2004-2009	4		
Jangas	2005-2007, 2009	5		
Río Santa Low	2004, 2007-2009	5		
Río Collota	2006-2007, 2009, 2011	2	Shiqui	breccia, agglomerates, volcanics, glacial fluvial deposits
Pachacoto	2004-2007, 2009, 2011	3	Pachacoto	breccia, agglomerates, volcanics, glacial fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite, limestone, shale, marl
Yan Out	2004-2009, 2011	1	Yanayacu	glacial fluvial deposits, breccia, agglomerates, volcanics, limestone, shale, marl, granodiorite, diorite, granite
Yan Pampa	2004-2009, 2011	1		
Yan Other Glacier	2005-2009, 2011	1		
Q1	2004-2009, 2011	1		
Q2	2004-2009, 2011	2		
Q3	2004-2009, 2011	2		
Yanayacu	2004-2007, 2009, 2011	3		

Sample Site	Sample Years	Stream Order	Catchment	Catchment Lithology Description
Olleros	2004-2005, 2007 2009, 2011	3	Negro	alluvial and fluvial deposits, breccia, agglomerates, volcanics, granodiorite, diorite, granite, limestone, shale, marl, sandstone, quartzite
Pariac	2005-2009	3	Pariac	breccia, agglomerates, volcanics, glacial deposits, glacial fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite
Quillcay	2005-2009, 2011	3	Quillcayhuanca	breccia, agglomerates, volcanics, glacial deposits, glacial fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite
Anta	2004-2009	2	Anta	breccia, agglomerates, volcanics, limestone, shale, marl
Marcará	2004-2007, 2009, 2011	3	Marcará	glacial deposits, glacial fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite, limestone, shale, marl, sandstone, quartzite
Kinzl	2004-2009, 2011	1	Ranrahirca	alluvial and fluvial deposits, glacial fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite, limestone, shale, marl, pyroclastics, white tuff, dacite, rhyolite
Broggi	2004-2009, 2011	2		
Llan Lakes Out	2004-2009	2		
Ranrahirca	2004-2009, 2011	3		
Llullán	2004-2009, 2011	3	Llullán	alluvial and fluvial deposits, granodiorite, diorite, granite, pyroclastics, white tuff, dacite, rhyolite

Sample sites were located either in situ using handheld GPS devices, or retrospectively using satellite imagery. The pH value of each sample was measured in situ using hand-held probes [YSI and Thermo Orion®], and samples for major ions were collected in Nalgene bottles, using standard dilution and storage procedures (Mark, McKenzie and Gómez, 2005; Fortner et al., 2011). Samples were analyzed in two different labs for calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ), Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), and silicon (Si) using either plasma spectroscopy

and ion chromatography [Beckman SpectraSpan-V; Optima 3000 DV Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer; Dionex DX500]; and for sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and chloride ( $\text{Cl}^-$ ) using ion chromatography [Dionex DX500]. Precision and accuracy values were greater than 5% for all reported constituents. Detailed quality assurance methods are reported in Fortner et al. (2011). Table 2 summarizes the average pH values and average measured major cation and anion concentrations at each sample location.

**Table 2. Average pH values and average measured major ion concentrations (meq/L) at each sample location.**

Sample Site	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	Si	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Río Santa 1	7.43	1.3941	0.3574	0.2213	0.0458	0.1526	0.2889	0.1711
Río Santa 2	7.67	1.3258	0.6660	0.4495	0.0743	0.1517	1.2759	0.5093
Jangas	7.34	1.1849	0.5826	0.4031	0.0755	0.1216	0.8516	0.3369
Río Santa Low	8.22	1.8685	0.6318	0.5383	0.0723	0.1884	1.3049	0.4353
Río Collota	7.55	1.0488	0.1846	0.0908	0.0235	0.1681	0.3563	0.0306
Pachocoto	7.54	1.0188	0.1826	0.4016	0.0378	0.0297	1.1145	0.1529
Yan Out	4.91	0.9367	0.0326	0.1912	0.0148	0.0875	1.4879	0.0057
Yan Pampa	5.64	0.5548	0.0407	0.1166	0.0111	0.1109	0.8345	0.0087
Yan Other Glacier	6.90	0.6393	0.0532	0.1423	0.0127	0.1022	0.7580	0.0085
Q1	7.71	0.4225	0.0614	0.0611	0.0134	0.1040	0.1249	0.0091
Q2	7.31	0.4536	0.0543	0.0972	0.0129	0.1060	0.5568	0.0079

Sample Site	pH	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Si	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Q3	7.55	0.3155	0.0454	0.0626	0.0143	0.0902	0.2618	0.0114
Yanayacu	7.53	0.2670	0.0910	0.0855	0.0171	0.1228	0.1964	0.0136
Olleros	4.41	0.7578	0.3547	0.7481	0.0472	0.1560	2.0124	0.1969
Pariac	7.30	0.5084	0.0870	0.1450	0.0176	0.0831	0.3278	0.0106
Quillcay	5.09	0.6795	0.0850	0.4050	0.0184	0.1344	1.6165	0.0204
Anta	8.40	2.5305	0.6324	1.5613	0.0639	0.1616	0.6410	0.1161
Marcará	7.88	0.6952	0.3795	0.2564	0.0548	0.1195	0.8854	0.2594
Kinzl	7.36	0.1829	0.0307	0.0321	0.0183	0.0549	0.1294	0.0075
Broggi	7.67	0.3698	0.0451	0.0366	0.0126	0.0719	0.2503	0.0324
Llan Lakes Out	6.92	0.2590	0.0461	0.0301	0.0156	0.0666	0.1481	0.0254
Ranrahirca	7.53	0.4578	0.1315	0.1035	0.0235	0.1441	0.3744	0.0256
Llullán	7.62	0.3984	0.1690	0.0644	0.0190	0.1130	0.1799	0.0304

Additional calculations are required as a prerequisite to the analysis methods. Alkalinity samples were not collected in the field; therefore, alkalinity is calculated based on the difference between cations and anions. The calculated cation and anion sums are used to determine calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>), which is then applied to calculate bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>):

$$CaCO_3 = \sum cations - \sum anions \quad (1)$$

$$\zeta_{HCO_3^-} = (\zeta_{CaCO_3} / \omega_{CaCO_2}) \times \omega_H \quad (2)$$

where  $\zeta$  represents concentration and  $\omega$  equivalent weight. Concentrations of zero HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> are used when actual calculated values are negative. The reported silicon (Si) concentration values are then used to calculate silica in mg/L:

$$\zeta_{SiO_2} = (\zeta_{Si} / M_{Si}) \times M_{SiO_2} \quad (3)$$

where M corresponds to molar weight.

The water samples that inform this study were collected at point locations across time by several different researchers, such that records of the water samples present inconsistent notation, formatting, and locational standards. In order to spatially-enable the information, these heterogeneous tabular datasets are first standardized into a consistent format, cleaned for errors and duplicates, and redesigned for use in a GIS database. A subset dataset is extracted from the water sample points to represent repeated measurements at specific locations over time. Temporal analysis requires a sample subset that represents repeated measurements at the same location over a given time

span. Three time ranges are established to represent a distribution of measurements across time and to capture the maximum possible number of water sample points: 2004-2006; 2007-2008; and 2009-2011. The resulting dataset contains approximately 184 points, or approximately 60 water samples per time range, with a minimum of three samples per sample site. Subset catchments are extracted based on spatial correlation with the subset water sample point dataset, and ancillary geospatial data, such as hydrologic features and surficial geology or lithology, are compiled and synthesized using editing and geoprocessing techniques in GIS software (ESRI, 2010). The Yanayacu catchment contains a distribution of sample points from the glacial headwaters its confluence with the Santa River. The subbasin provides a case study area for exploring the change of inorganic chemistry along a flow path from high elevation to low elevation.

### Water Quality Evaluation

Standard water quality analysis techniques are applied to explore relationships between anion and cation concentrations and to connect ionic concentrations to potential geologic sources and processes in the surface waters of the Santa River watershed and the Yanayacu catchment. Interpretation of results is performed in a step-by-step process, where preliminary steps lay the foundation for source rock inference, and more advance analyses help refine interpretation, as additional ionic ratio indicators are calculated and observed. The following methods summarize the step-by-step process, and the results describe the discovery and/or elimination of potential interpretations (Hounslow, 1995).

Charge relationships are used to determine dataset accuracy, calculate unmeasured constituents, and aid in the interpretation of water chemistry characteristics and processes. Charge relationships are analyzed by plotting the cation sum against the anion sum in a scatterplot, based on the principle that the sum of the cations in milliequivalents per liter (meq/L) should be equal to the sum of the anions in meq/L in an electrically neutral solution (Hounslow, 1995). The sum of the cations and the sum of the anions may not be equal in several situations: (1) the data are inaccurate due to errors created through sampling, recording, or calculation – in which case, the data cannot be used for the study; (2) the calculation excludes minor constituents that may be present; (3) the solution is highly acidic and the calculation has not accounted for H<sup>+</sup> ions; or (4) the analysis does not account for the presence of a large concentration of organic material (Hounslow, 1995).

Comparison of commonly-observed ionic ratios is used to identify relationships between water constituents and inform source-rock identification. Additionally, certain ratios may indicate different chemical reactions when they are examined simultaneously with other ratios, i.e. deductions based on calcium/sulfate ratios also depend on the relationship between silica and bicarbonate. Two ionic ratio parameters are applied to the dataset for

interpretation of source-rock types (Hounslow, 1995). The parameters include:

$$Mg^{2+}/(Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (4)$$

$$Ca^{2+}/(Ca^{2+} + SO_4^{2-}) \quad (5)$$

Source-rock interpretations are summarized based on the range of values that result from the calculation of each parameter (Hounslow, 1995), allowing each site to be categorized by source-rock interpretation (Table 3). Piper plots further assist in deriving source characteristics and determinant hydrochemical processes, or chemical weathering, affecting ionic chemistry within watersheds (Piper, 1944; Drever, 1988; Hounslow, 1995).

### Geovisualization

Geovisualization establishes geographic context and reveals patterns in spatial data. Interpretation of cartographic products can serve as the basis for future formal hypotheses and provide an empirical foundation for higher-level analytical tests, such as multivariate regression models (Haining, Wise and Ma, 1998; MacEachren et al., 1999). We apply geovisualization methods by integrating hydrochemical relationships with lithology coverage to inform the interpretation of hydrochemical analysis, and we visualize temporal

Parameter	Value	Interpretation	Sample Site
$\frac{Mg^{2+}}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$	<0.5 where $(HCO_3^- / SiO_2) > 10$	carbonate weathering: limestone-dolomite weathering	Anta, Olleros, Pachacoto
	<0.5 where $(HCO_3^- / SiO_2) < 5$	silicate weathering: granitic weathering	Broggi, Jangas, Kinzl, Llan Lakes Out, Llullán, Marcará, Pariac, Q1, Q2, Q3, Ranrahirca, Río Santa 2, Yan Other Glacier, Yan Out, Yan Pampa Down, Yanayacu
	= 0.5 (+/- .05)	gypsum dissolution	Pachacoto, Pariac, Q3, Ranrahirca, Río Santa 2
$\frac{Ca^{2+}}{(Ca^{2+} + SO_4^{2-})}$	>0.5	calcium source other than gypsum (carbonates or silicates)	Anta, Broggi, Kinzl, Llan Lakes Out, Llullán, Q1, Río Collota, Río Santa 1, Río Santa Low, Yanayacu
	<0.5 where neutral	calcium removal through ion exchange or calcite precipitation	Marcará, Q2, Yan Other Glacier
	<0.5 where pH <5.5	pyrite oxidation	Quillcay, Yan Out, Yan Pampa

**Table 3: Two ionic ratio parameters that are applied to the hydrochemistry dataset for interpretation of source-rock types, possible conclusions based on value ranges, and resulting samples sites that fell within those value ranges (Hounslow, 1995).**

changes within the last decade. Thematic maps are used to emphasize patterns of one or more variables across space (Slocum et al., 2004). The maps permit the exploration of changes in ionic concentrations across the study region over time and a comparison of average ionic ratios for specific ionic relationships and catchment lithology.

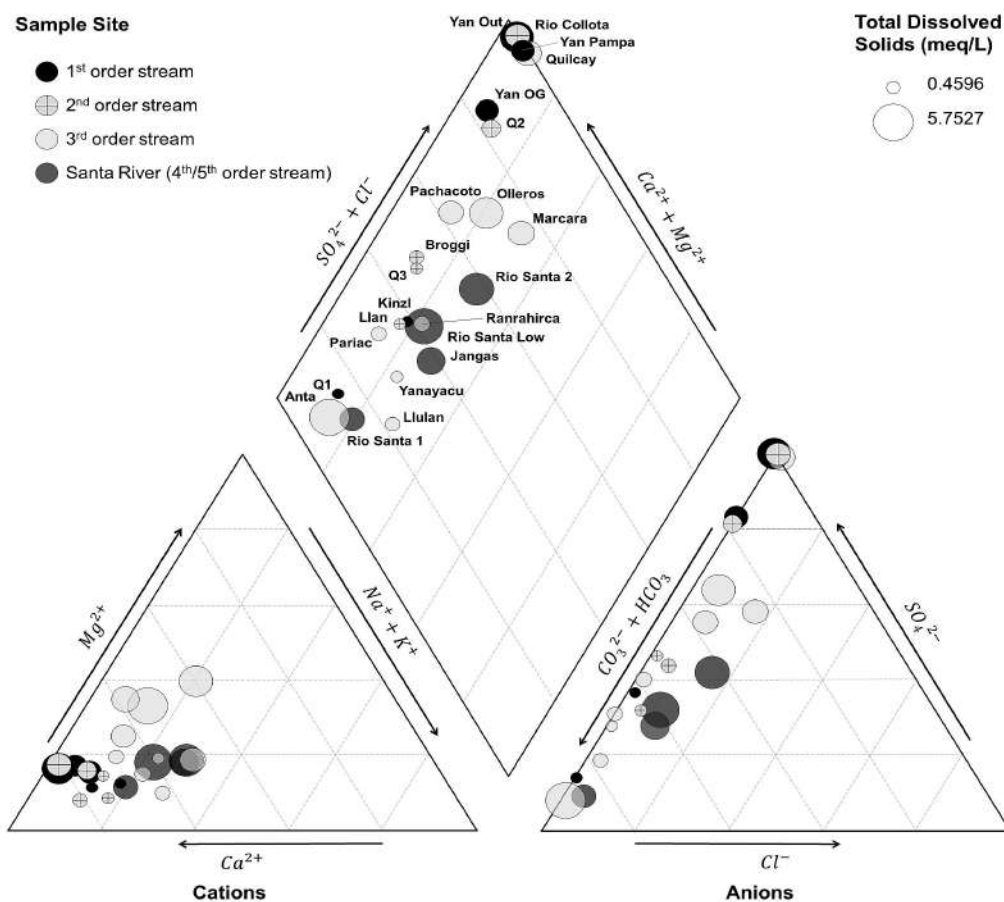
## Results

Waters in the Santa River have a wide range of compositions, as shown by pH values ranging from very strongly acidic (~4.4) to moderately alkaline (~8.4); and ionic concentrations varying across samples and sample sites. Most ionic relationships demonstrate expected major ion concentrations (meq/L) at sample locations.

Most ionic relationships demonstrate common characteristics with very few exceptions, but the ratio between calcium and sulfate demonstrates largely inconsistent relationships, i.e. sulfate is sometimes found at higher concentrations than calcium. Sulfate concentration may be greater in environments

containing highly acidified water due to pyrite oxidation (Elango and Kannan, 2007). Table 3 shows the two ionic ratio parameters applied to the dataset for interpretation of source-rock types (Hounslow, 1995), and samples sites are grouped based on the resulting value and its corresponding interpretation. This first test suggests that a majority of the sample sites exhibit granitic (silicate) weathering, while four sample sites exhibit limestone-dolomite (carbonate) weathering. The results for the majority of sample sites suggest a calcium source other than gypsum, supporting the interpretation of carbonate or silicate weathering. Finally, two sample sites in the upper part of the Yanayacu catchment and one site in the Quillcayhuanca catchment indicate weathering or oxidation of pyrite.

Piper plots inform the interpretation of water type, showing that the majority of sample sites fall within temporary hardness, suggesting source rock types of calcite, dolomite, rhyolite, or basalt. Several other sample sites fall within permanent hardness, indicating source rock type containing gypsum (Figure 3).



**Figure 3.** Piper plot for all water sample sites within the upper Santa River watershed, showing sample site details, including total dissolved solids ranging from 0.4596 to 5.7527 meq/L and the Strahler stream order for each sample site location. Note that the label for Llan Lakes Out is shortened to “Llan” and the label for Yan Other Glacier is shortened to “Yan OG”.

Yanayacu catchment contains several water samples with high sulfate to calcium ratios and low pH levels, and relationships between ion ratios suggest silicate weathering and oxidation of pyrite within an acidic environment. A Piper plot (Figure 4) shows that several sample sites at high elevation streams (first- and second- order streams), demonstrate permanent hardness – these samples represent streamflow within the catchment that is most proximal to its glacial origin and therefore has the highest contact area with freshly weathered high-sulfide metamorphic bedrock. The remaining Yanayacu catchment sample sites demonstrate temporary hardness and lower TDS than the samples found near the glacial source. The anion ternary diagram within the Piper plot suggests a lithology-driven mixing model for the catchment. Sample sites at Yan Out, Yan Pampa, and Yan Other Glacier show very high concentrations of sulfate, yielding a similarly high downstream sulfate composition at Q2. The sample site at Q1, which has no glacial source, demonstrates low sulfate composition, and the Q1 first-order stream mixes with

the Q2 second-order stream to yield the intermediate sulfate composition at Q3. Further dilution yields the lower sulfate composition found at the lowest-elevation third-order Yanayacu sample site (anion ternary diagram in Figure 4).

Ionic concentrations vary by location (Figure 5) and across time (Figure 6). Exploratory geographic visualization was used to integrate hydrochemical relationships with several spatial environmental characteristics and to visualize temporal change within the last decade. Thematic maps are used to visually compare the geology with a specific ionic relationship identified in the hydrochemical analysis: the ratio between sulfate and calcium. This ratio is explored at length because of its variability across the watershed. Surface waters commonly demonstrate ionic ratios where the concentration of calcium exceeds the concentration of sulfate, because calcium is typically more abundant in source rocks in most environments. However, sulfate to calcium

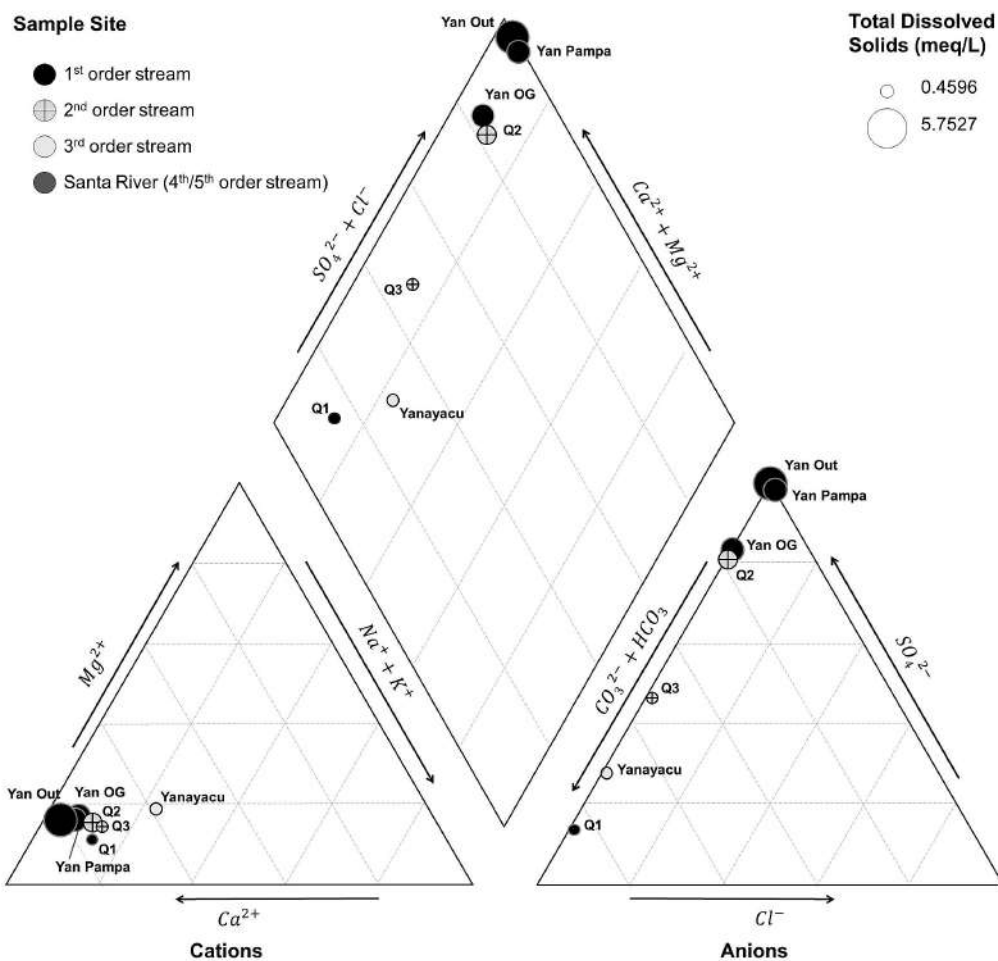


Figure 4. Piper plot for water samples with the Yanayacu catchment, showing sample site details, including total dissolved solids and the Strahler stream order for each sample site location. Note the label for Yan Other Glacier is shortened to “Yan OG”.

ratios are highly variable across the region, with sulfate concentration exceeding calcium concentration in several areas. The thematic map shows surface lithology across the upper basin and uses graduated symbols to show the average ionic ratios for sulfate and calcium for each site (Figure 5). The spatial distribution of sulfate to calcium ratio is variable across the Santa River watershed: sulfate exceeds calcium for eight sites, and calcium exceeds sulfate for fifteen sites.

Sites that demonstrate high sulfate to calcium ratios are generally found in the southern portion of the catchment, closer to the headwaters. The Yanayacu catchment again potentially demonstrates a lithology-driven mixing model: sulfate to calcium ratios are highest for the acidic waters in high-sulfide metamorphic rock contact areas near glaciers, and they are lowest for the non-glacier fed stream (at Q1) and the lower-elevation streams (at Q3 and Yanayacu).

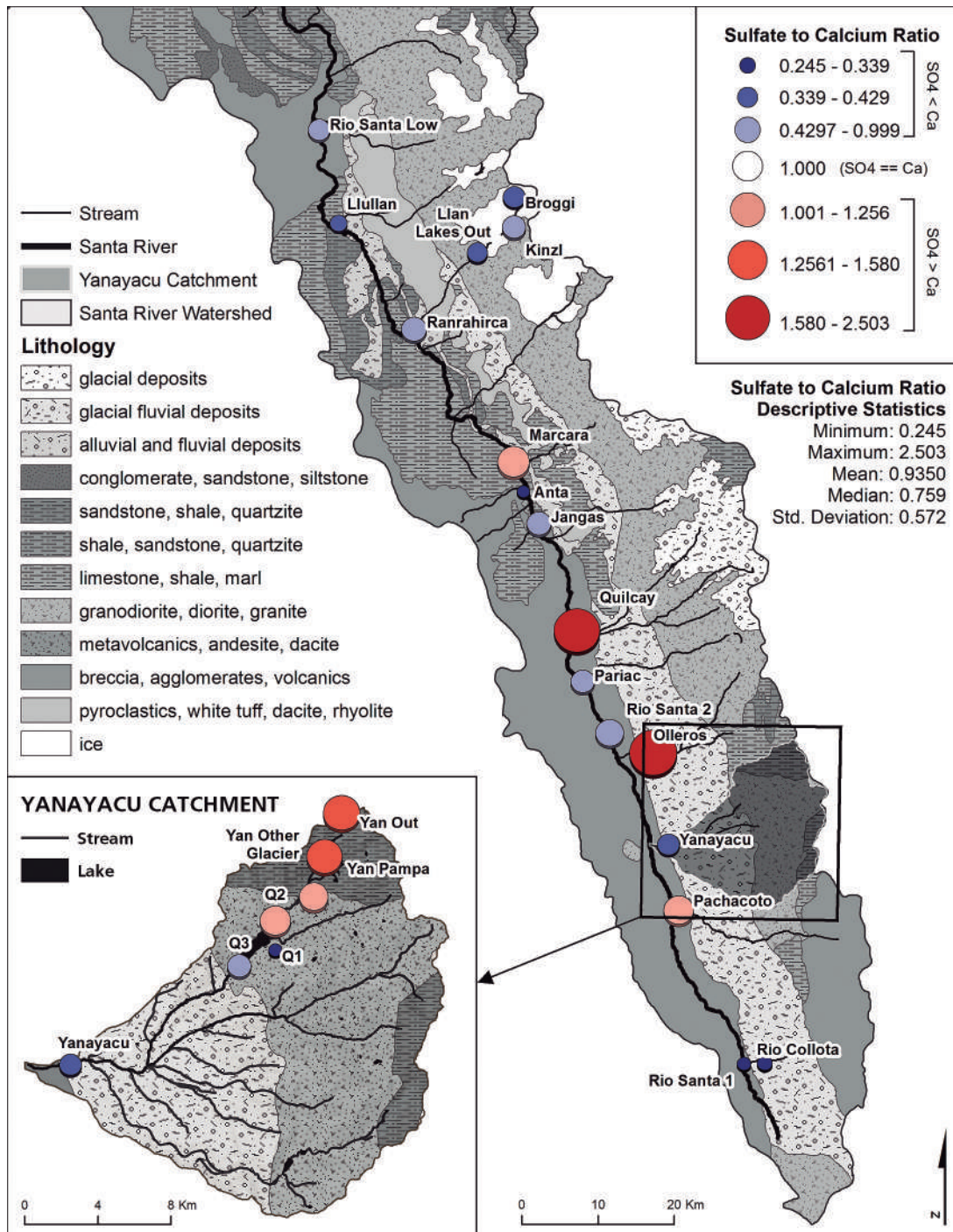


Figure 5. Thematic map showing surface lithology across the study region with graduated symbols that show the average ionic ratios for sulfate and calcium for each site; inset showing average ionic ratios for sulfate and calcium within the Yanayacu catchment during the past decade.

The last decade has been a period of rapid environmental change and glacier loss with the upper Santa River watershed (Baraër et al., 2012). The links between glacial recession and variation in water chemistry cannot be rigorously tested in the present study. However, changes in ionic chemistry are quantified for approximately the same time period as recent glacier loss. The data are not sufficiently complete to generate a more continuous time series, and temporal change is approached using a calculation of percentage change for each major measured anion

and cation. A second thematic map represents the percentage change (based on the earliest observation and the most recent observation) in sulfate to calcium ratios for each sample site (Figure 6). Sulfate to calcium ratios have increased for thirteen sites and decreased for eight sites across the Santa River watershed. Sulfate to calcium ratios increase for five samples sites and decrease for two sample sites in the Yanayacu catchment. The highest positive change in sulfate to calcium ratio is found at the third-order outlet stream at the Yanayacu sample site.

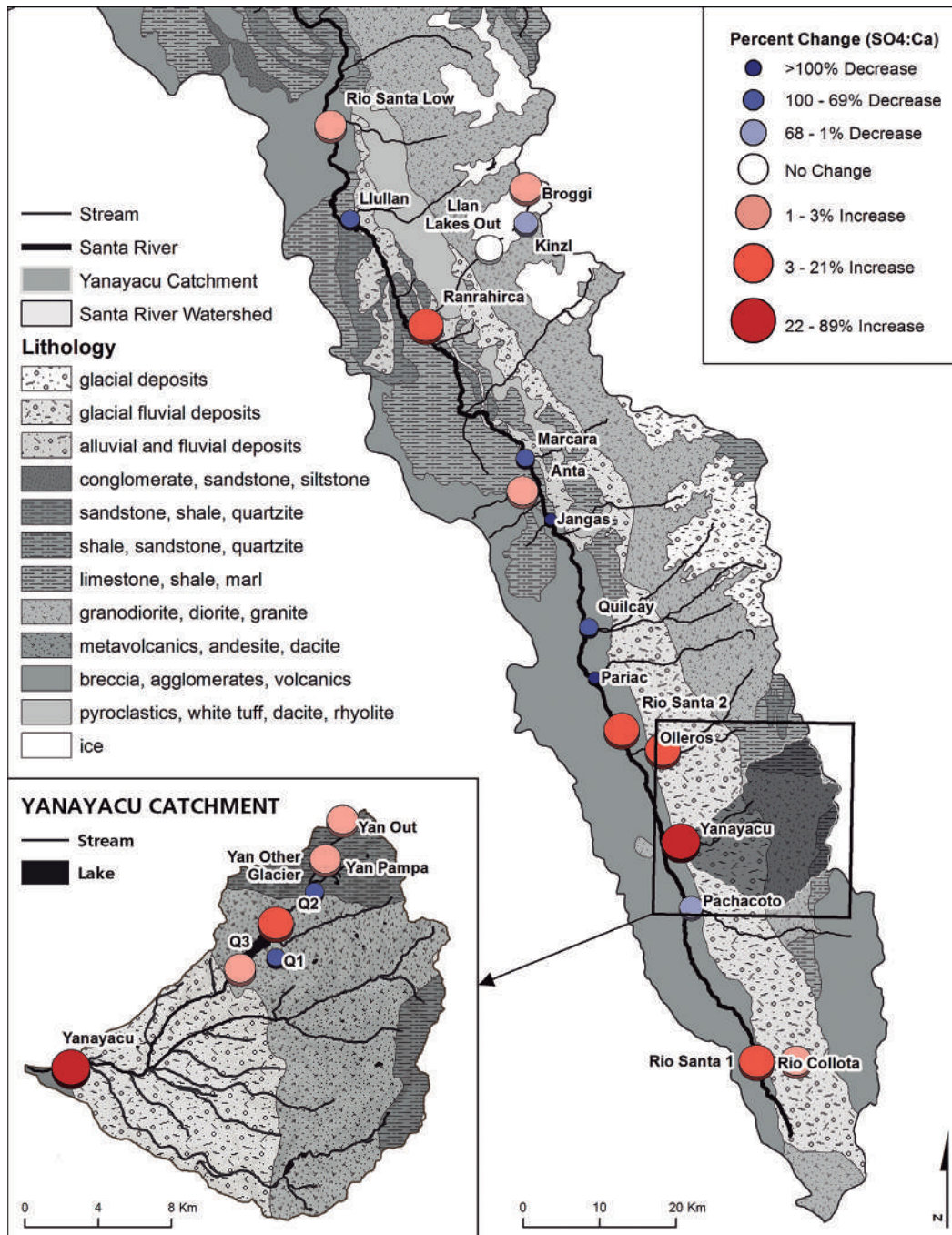
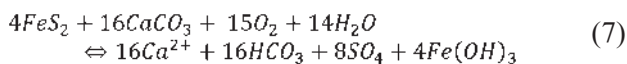
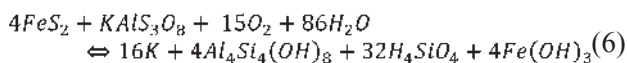


Figure 6. Thematic map showing surface lithology across the study region with graduated symbols showing percentage change in sulfate/calcium concentration ratios during the past decade; inset showing percentage change in sulfate/calcium concentration ratios within the Yanayacu catchment during the past decade.

## Discussion:

### Determinant Processes

The hydrochemical analysis allows us to relate ionic concentrations to potential geologic sources on a watershed scale. The exposure of granitic materials in glacierized catchments supports an interpretation of silicate weathering, which is consistent with interpretations from previous studies that explore Andean water quality on a larger landscape scale (Mortatti and Probst, 2003). The inorganic chemical relationships and the local geology reflect an environment driven primarily by rock composition and reactivity, specifically oxidation of pyrite through coupled sulfide-oxidation and silicate dissolution (SO-SD, Equation 6, example involving potassium feldspar), and to a lesser extent, coupled sulfide-oxidation and carbonate dissolution (Equation 7) (Tranter, 2003).



Unusually high sulfate concentrations, high sulfate to calcium ratios, and low pH in the Yanayacu and Quillcayhuanca catchments suggest weathering of granitic rock types and oxidation of local sulfide-rich lithologies, including pyrite schist, phyllite, and pyrite-bearing quartzite intruded by granodiorite and tonalite. These results are consistent with previous studies, which describe the hydrochemistry of these areas as the natural analog to acid mine drainage (Mark and Seltzer, 2005; Fortner et al., 2011).

Glaciers play a significant role in increasing the weathering rate and rock-contact area time within glacierized catchments (Oliva, Viers and Dupré, 2003), and SO-SD is considered common in glacierized catchments (Tranter et al., 2002; Tranter, 2003). The Yanayacu catchment demonstrates a relationship between the position of the sample location in the catchment and its inorganic water chemistry. Sample points receiving the most direct influence from glacial meltwater show high acidity, lower TDS, and permanent hardness, with two samples exhibiting SO-SD where high-sulfide pyrite-bearing metamorphic rock types exist. The sample sites located further downstream or within non-glaciated tributaries are characterized by lower acidity, lower TDS, temporary hardness, and silicate weathering. The precise mechanism of dissolution and

neutralization is unknown. The ionic concentrations are likely diluted from mixing with other waters and/or may be exposed to reducing environments – such as wetlands and peat bogs – that neutralize acidic waters and retain dissolved ions (Kaser et al., 2003; Fortner et al., 2011).

### Regional Patterns and Implications

Exploratory geographic visualization permits preliminary examination of potential relationships between ionic concentrations, position of water sample in a catchment or watershed, and lithology. Visual interpretation does not allow us to differentiate between the complex effects of multiple environmental parameters, but rather serve as a starting point for future multivariate analyses. The juxtaposition between surface lithology and average ionic ratios of sulfate and calcium shows that sulfate concentrations exceed calcium concentrations for most of southern deglaciated catchments, characterized by granodiorite, diorite, and granite, glacial fluvial deposits, and a smaller proportion of metamorphics and mixed volcanic materials. High weathering rates are suggested for sample sites closer to the Santa River headwaters and to the southern catchments, due to the abundance of sulfate and the surficial evidence of glacial erosion within high-silica granitic and metamorphic rock types.

The thematic map used to represent the percentage change in sulfate to calcium ratios (Figure 6) shows that hydrochemical temporal change is variable, reflecting a highly dynamic hydrologic regime in this region. Increases in sulfate to calcium ratios are observed across the entire upper watershed, particularly within tributaries that receive the most direct contribution of glacial meltwaters. In the Yanayacu catchment, the highest positive changes in sulfate to calcium ratio are found at sites closest to glacial sources and at the third-order outlet stream at the Yanayacu sample site. While we did not measure rock reactivity along a flow path in this study, we suggest that exposure of new rock by receding glaciers influences changes in sulfate contributions in various parts of the watershed.

Recent social and political changes compound concerns for the quantity and quality of water resources in the Santa River watershed. In the past two decades, Peru has transformed into a mineral-based and export-oriented economy as part of a sociopolitical reform that integrates neoliberal

policies and privatization in many sectors. New landscape-scale patterns result from shifting resource use, access, and policy. Rapid expansion of areas claimed for mineral extraction or coastal irrigation is concurrent with the decline of rural smallholder agriculture and restructuring of Andean livelihoods (Bury, 2005; Bury et al., 2011). Extreme verticality in the Andes provides an opportunity space for high levels of biological and cultural diversity but also increases the vulnerability of climatically sensitive populations. Social adaptive capacity, which allows populations to overcome or recover from stressors that impact welfare and livelihoods, can be directly linked to availability of water resources in the region (Kelly and Adger, 2000; Adger et al., 2003; Füssel, 2007). Human vulnerability in the Santa River watershed is thus markedly high due to the large number of economic and social activities that depend on glaciers or glacial hydrologic systems (Bury et al., 2008; Higa Eda and Chen, 2010).

The most intensive water use for human activities involves urban potable water consumption, mineral extraction, hydroelectric power generation, and large-scale irrigated agriculture in the dry coastal desert areas (Carey, 2010; Chevallier et al., 2010; Mark et al., 2017). Even as glaciers recede, these high-water use activities continue to intensify and play a significant role in hydrologic transformation. Since 1990, over 90 percent of recorded mining claims were established in the Santa River watershed, placing unprecedented pressure on surface and subsurface water supplies. Mining activities have historically introduced high levels of contamination within the watershed, often exceeding current Peruvian water quality standards for acceptable levels of several toxic heavy metals (Bury et al., 2013). Water withdrawal for urban consumption has increased along with population growth, and millions of people in the Santa River watershed rely on energy generated by hydroelectric stations - notably the 264-megawatt potential Cañón del Pato. The construction of two large canal systems, Chavimochic and Chincas, has facilitated a dramatic increase in Santa River water use for intensive industrial-scale agricultural along the arid coastline (Carey et al., 2014). This study contributes to future studies that may permit more extensive characterization of watershed health from the Santa River headwaters to the areas of most intensive downstream use.

## Limitations

This study serves as a synthesis and characterization of patterns and processes that contribute to the understanding of hydrochemistry of the upper Santa River watershed. The exploratory, foundational nature of this study is necessarily limited in scope. Constraints to research in data-poor regions exist due to social, logistical, and environmental challenges. Prior studies have examined these water quality data in subsets, focusing on a single year of data or on one catchment within the study region, while this study compiles and analyzes a dataset that is more extensive than those used previously. Further monitoring should increase sample size and spatial extent, as more robust data would support a rigorous quantitative assessment that applies statistical methods to assess surface water quality and variability across time and space. The current study does not account for seasonality in water chemistry, which is expected to vary between the summer wet season and the winter dry season. The volume and distribution of sampling at the present does not permit rigorous statistical analysis to test whether the interannual variability is process-driven or random. Future studies should also incorporate additional water quality indicators, including nutrient data and trace metal analysis, and detailed soil and vegetation data to support a multivariable spatial assessment of contributing factors in water composition.

## Conclusion

The results of hydrochemical methods identify elemental characteristics that are unique to the upper Santa River watershed. Dominant hydrochemical processes are identified as silicate weathering, coupled pyrite oxidation with silicate weathering, and to a lesser extent, carbonate weathering. Sulfate constituent is unusually high for portions of the study region and is attributed to highly acidified waters immediately downstream from a glacial point source and pyrite-bearing metamorphic rock types. These findings build on previous studies and lend themselves to informing future studies that will more explicitly relate glacial erosion to chemical weathering. This exploration enhances understanding of dominant factors affecting water chemistry, contributing to a body of work whose overarching goal is to model the dynamic processes in the Santa River watershed and to improve projections of human impact and resource vulnerability in a rapidly changing environment.

## References

- Adger, W. N., Huq, S., Brown, K., Conway, D. and Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies*, 3(3), 179–195.
- Aguado, E. and Burt, J. E. (2007). *Understanding weather and climate* (4th ed.). Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- Baraër, M., McKenzie, J. M., Mark, B. G., Bury, J. and Knox, S. (2009). Characterizing contributions of glacier melt and groundwater during the dry season in a poorly gauged catchment of the Cordillera Blanca (Peru). *Advances in Geosciences*, 22, 41-49.
- Baraër, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Condom, T., Bury, J., Huh, K.-I.,... Rathay, S. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207), 134-150.
- Bove, D. J., Walton-Day, K. and Kimball, B. A. (2009). The use of fluoride as a natural tracer in water and the relationship to geological features: examples from the Animas River Watershed, San Juan Mountains, Silverton, Colorado. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 9(2), 125-138.
- Brown, G. H. (2002). Glacier meltwater hydrochemistry. *Applied Geochemistry*, 17(7), 855-883.
- Bury, J. (2005). Mining mountains: Neoliberalism, land tenure, livelihoods, and the new Peruvian mining industry in Cajamarca. *Environment and Planning A*, 37(2), 221-239.
- Bury, J., French, A., McKenzie, J. and Mark, B. G. (2008). Adapting to uncertain futures: A report on new glacier recession and livelihood vulnerability research in the Peruvian Andes. *Mountain Research and Development*, 28(3/4), pp. 332-333.
- Bury, J. T., Mark, B. G., McKenzie, J. M., French, A., Baraër, M., Huh, K.-I.,... Gómez López, R. J. (2011). Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climate Change*, 105(1-2), 179-206.
- Bury, J., Mark, B. G., Carey, M., Young, K. R., McKenzie, J. M., Baraër, M.,... Polk, M. H. (2013). New geographies of water and climate change in Peru: Coupled natural and social transformations in the Santa River watershed. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 363-374.
- Carey, M. (2010). *In the shadow of melting glaciers: Climate change and Andean society*. New York, Oxford University Press.
- Carey, M., Baraër, M., Mark, B. G., French, A., Bury, J., Young, K. R. and McKenzie, J. M. (2014). Toward hydro-social modeling: Merging human variables and the social sciences with climate-glacier runoff models (Santa River, Peru). *Journal of Hydrology*, 518(A), 60-70.
- Casassa, G., Haeberli, W., Jones, G., Kaser, G., Ribstein, P., Rivera, A. and Schneider, C. (2007). Current status of Andean glaciers. *Global and Planetary Change*, 59(1-4), 1-9. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.013
- Chevallier, P., Pouyaud, B., Suarez, W. and Condom, T. (2010). Climate change threats to environment in the tropical Andes: Glaciers and water resources. *Regional Environmental Change*, 11(suppl. 1), 179-187. doi:10.1007/s10113-010-0177-6
- Drever, J. I. (1988). *The geochemistry of natural waters*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- Egeler, C. G. and de Booy, T. (1955). *Challenges of the Andes: The conquest of Mount Huantsán*. Translated from the Dutch by W. E. James. New York, David McKay Company.
- Elango, L. and Kannan, R. (2007). Rock-water interaction and its control on chemical composition of groundwater. In Sarkar, D., Datta, R. and Hannigan, R. (Eds.). *Concepts and applications in environmental geochemistry* [Developments in Environmental Science 5], chap. 11, 229-243. Amsterdam and Oxford, Elsevier.
- ESRI (2010). Help Library. ArcGIS: Release 10. Redlands, California, Environmental Systems Research Institute.
- Fortner, S. K., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J., Trierweiler, A., Baraër, M.,... Munk, L. (2011). Elevated stream trace and minor element concentrations in the foreland of receding tropical glaciers. *Applied Geochemistry*, 26(11), 1792-1801. doi:10.1016/j.apgeochem.2011.06.003

- Füssel, H.-M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002
- Garver, J. I., Reiners, P. W., Walker, L. J., Ramage, J. M. and Perry, S. E. (2005). Implications for timing of Andean uplift from thermal resetting of radiation-damaged zircon in the Cordillera Huayhuash, northern Peru. *Journal of Geology*, 113(2), 117-138.
- Giovanni, M. K., Horton, B. K., Garziona, C. N., McNulty, B. and Grove, M. (2010). Extensional basin evolution in the Cordillera Blanca, Peru: Stratigraphic and isotopic records of detachment faulting and orogenic collapse in the Andean hinterland. *Tectonics*, 29(6), TC6007. doi:10.1029/2010TC002666.
- Guittard, A., Baraër, M., McKenzie, J. M., Mark, B. G., Wigmore, O., Fernández, A.,... Young, K. R. (2017). Trace-metal contamination in the glacierized Rio Santa watershed, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189:649. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6353-0>
- Haining, R., Wise, S. and Ma, J. (1998). Exploratory spatial data analysis in a geographic information system environment. *Journal of Royal Statistical Society; Series D. (The Statistician)*, 47(3), 457-469.
- Heggin, E. and Huggel, C. (2008). An integrated assessment of vulnerability to glacial hazards: A case study in the Cordillera Blanca, Peru. *Mountain Research and Development*, 28(3/4), 299-309.
- Hemond, H. F. and Benoit, J. (1988). Cumulative impacts on water quality functions of wetlands. *Environmental Management*, 12(5), 639-653.
- Higa Eda, L. E. and Chen, W. (2010). Integrated water resources management in Peru. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 340-348.
- Hounslow, A. W. (1995). *Water quality data: Analysis and interpretation*. New York, CRC Press.
- INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico). (1996). Mapa geológico del cuadrángulo de Recuay (hoja 20-i), Departamento de Ancash. 1:100000. INGEMMET, Lima.
- Jansson, P., Hock, R. and Schneider, T. (2003). The concept of glacier storage: a review. *Journal of Hydrology*, 282, 116-129.
- Kaser, G., Juen, I., Georges, C., Gómez, J. and Tamayo, W. (2003). The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Hydrology*, 282, 130-144.
- Kelly, P. M. and Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, 47(4), 325-352.
- MacEachren, A. M., Wachowicz, M., Edsall, R., Haug, D. and Masters, R. (1999). Constructing knowledge from multivariate spatiotemporal data: Integrating geographical visualization and knowledge discovery in database methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(4), 311-334.
- Mark, B. G. (2008). Tracing tropical Andean glaciers over space and time: Some lessons and transdisciplinary implications. *Global and Planetary Change*, 60(1-2), 101-114. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.07.032
- Mark, B. G. and Seltzer, G. O. (2003). Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: A case study in the Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Glaciology*, 49(165), 271-281.
- Mark, B. G. and Seltzer, G. O. (2005). Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962–1999): Spatial distribution of mass loss and climatic forcing. *Quaternary Science Reviews*, 24(20-21), 2265-2280.
- Mark, B., McKenzie, J. M. and Gómez, J. (2005). Hydrochemical evaluation of changing glacier meltwater contribution to stream discharge: Callejon de Huaylas, Peru. *Hydrological Sciences*, 50(6), 987. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.6.975>
- Mark, B. G. and McKenzie, J. M. (2007). Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in water. *Environmental Science and Technology*, 41(20), 6955-6960.

- Mark, B. G., Bury, J., McKenzie, J. M., French, A. and Baraër, M. (2010). Climate change and tropical Andean glacier recession: Evaluating hydrologic changes and livelihood vulnerability in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 794-895.
- Mark, B. G., Baraër, M., Fernández, A., Immerzeel, W., Moore, R. D. and Weingartner, R. (2015). Glaciers as water resources. In Huggel, C., Carey, M. Clague, J. and Kääb, A. (Eds.). *The high-mountain cryosphere: Environmental changes and human risks*, chap. 11, 184-203. Cambridge University Press.
- Mark, B. G., French, A., Baraër, M., Carey, M., Bury, J., Young, K. R.,... Lautz, L. (2017). Glacier loss and hydro-social risks in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 159, 61-76. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.003>
- McNulty, B. A., Farber, D. L., Wallace, G. S., Lopez, R. and Palacios, O. (1998). Role of plate kinematics and plate-slip-vector partitioning in continental magmatic arcs: Evidence from the Cordillera Blanca, Peru. *Geology*, 26(9), 827-830.
- Mortatti, J. and Probst, J.-L. (2003). Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO<sub>2</sub> uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry seasonal and spatial variations. *Chemical Geology*, 197(1-4), 177-196.
- Oliva, P., Viers, J. and Dupré, B. (2003). Chemical weathering in granitic environments. *Chemical Geology*, 202(3-4), 225-256.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H.,... Vuille, M. (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Global and Planetary Change*, 119, 85-97.
- Silverio, W. and Jaquet, J.-M. (2005). Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 95(3), 342-350. doi:10.1016/j.rse.2004.12.012
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. and Howard, H. H. (2004). *Thematic cartography and geographic visualization* (2<sup>nd</sup> ed.). Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Education/Prentice Hall.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Thieme, M., Lehner, B., Abell, R., Hamilton, S. K., Kellndorfer, J., Powell, G. and Riveros, J. C. (2007). Freshwater conservation planning in data-poor areas: An example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). *Biological Conservation*, 135(4), 484-501.
- Tranter, M. (2003). Geochemical weathering in glacial and proglacial environments. In Drever, J. I. (Ed.). *Treatise on Geochemistry*, 5, 189-205. Elsevier.
- Tranter, M., Sharp, M. J., Lamb, H. R., Brown, G. H., Hubbard, B. P. and Willis, I. C. (2002). Geochemical weathering at the bed of Huat Glacier d'Arolla, Switzerland: A new model. *Hydrological Processes*, 16(5), 959 - 993.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G. and Bradley, R. S. (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present, and future. *Earth-Science Reviews*, 89, 79-96.
- Wilson, J., Reyes, L. and Garayar, J. (1967). *Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari*. Servicio de Geología y Minería, Boletín, 16. Lima.



---

# Función de Regresión Polinomial para la Estimación del Volumen de la Laguna Palcacocha (Huaraz, Ancash) en Sus Diferentes Niveles de Cota

Polynomial Regression Function for Estimation of the Volume of Lake Palcacocha (Huaraz, Ancash) at Different Surface Heights

Hernán R. Vega Mejía<sup>1</sup> (hvega@inaigem.gob.pe)

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz, Ancash

## Resumen

El artículo corresponde a un proyecto de investigación desarrollado en la Dirección de Información y Gestión del Conocimiento del INAIGEM, dirigido a fortalecer la utilización de los métodos inferenciales de regresión lineal, no lineal y múltiple en la ejecución de procesos de toma de decisión, a través de la construcción de materiales didácticos para estudiantes, docentes e investigadores. Este artículo muestra las bondades del modelo de regresión polinómica de tercer orden y su aplicación en la administración y la ciencia, mediante el desarrollo de un caso real aplicado en el comportamiento del volumen de la laguna Palcacocha (Huaraz, Ancash), en el que se estima el volumen del recurso hídrico en función al nivel de cota de la laguna correspondiente.

La importancia de poder estimar cambios en el volumen del agua de la laguna radica en la prevención, ya sea para hacer frente a posibles eventos de desbordes hasta niveles de aluvión, así como para estimar la oferta hídrica para el consumo de la población, la agricultura y la minería, entre otros usuarios.

**Palabras clave:** *Estimación, volumen de agua, cota, laguna*

## Abstract

The article corresponds to a research project developed in the Information and Knowledge Management Directorate of INAIGEM, aimed at strengthening the use of inferential methods of linear, non-linear and multiple regression in the execution of decision-making processes, through of the construction of didactic materials for students, teachers and researchers. This article shows the benefits of the third order polynomial regression model and its application in administration and science, through the development of a real case applied in the behavior of

the volume of Lake Palcacocha, in which the volume of water resources as a function of the height of the lake's surface.

The importance of being able to estimate these changes in the water volume of the lake lies in prevention, either to deal with possible flooding events up to levels of disaster, as well as to estimate the water supply for consumption by the surrounding population, agriculture and mining, among other users.

**Keywords:** *Estimation, water volume, height, lake*

## Introducción

El presente artículo detalla los resultados obtenidos al definir la función de regresión que más se ajuste a los datos de volumen de agua de la laguna Palcacocha en función al nivel de cota correspondiente.

Con la información obtenida en los trabajos de batimetría realizados por la ANA y con el uso de sistemas de información georreferenciado se obtuvo los volúmenes de agua a diferentes niveles de cota. Luego, se prosiguió a graficar en un eje de coordenadas obteniendo como resultado la gráfica de puntos, mostrando el comportamiento que tiene la variable respuesta (volumen) para cada valor predictor (cota), identificando el comportamiento que muestran la gráfica de puntos, la cual se encuentra definido por una función polinomial de orden  $K \geq 2$  (Ecuación 1).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_K x^K + \varepsilon \dots (1)$$

En este modelo, el componente error explica la variabilidad en que no se puede explicar con la relación polinomial. A este término se le asocian los siguientes supuestos (Anderson, Sweeney and Williams, 2001): 1) la homocedasticidad, implica un valor esperado del error  $E(\varepsilon) = 0$ ; 2) distribución normal del error ( $\varepsilon$ ).

Los valores de los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  no se conocen y deben estimarse a partir de los datos de la muestra. Estos coeficientes que se calculan de la muestra son conocidos como regresores ( $b_1, b_2, \dots, b_k$ ). La ecuación (Ecuación 2) estimada de regresión es:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k + e \dots (2)$$

Para calcular los regresores, se emplea el método de mínimos cuadrados. Este método emplea los datos de la muestra para determinar las características de la recta que hacen mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones:

$$\min \sum (Y_i - \hat{Y})^2$$

Siendo:

$Y_i$  = valor observado de la variable dependiente para la  $i$ -ésima observación.

$\hat{Y}_i$  = valor estimado de la variable dependiente para la  $i$ -ésima observación.

$$\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum [Y_i - (b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k)] (3)$$

Minimizar el lado derecho de la Ecuación 3 implica calcular las derivadas parciales de la expresión con respecto a los coeficientes de regresión  $b_0, b_1, \dots, b_k$  e igualar a cero las dos derivadas. Al finalizar este procedimiento se llega a las siguientes ecuaciones, conocidas como ecuaciones normales (Walpole y Myers, 1999).

Ecuaciones normales:

$$\sum Y_i = nb_0 + b_1 \sum X_i + b_2 \sum X_i^2 + \dots + b_k \sum X_i^k$$

$$\sum x_i Y_i = b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + \dots + b_k \sum x_i^k$$

Donde el valor  $n$  es el número de observaciones. Al seguir el procedimiento anterior para  $b_0, b_1, b_2$  y  $b_3$ , se generó el siguiente sistema de ecuaciones lineales para un polinomio de tercer grado:

$$\sum Y_i = nb_0 + b_1 \sum X_i + b_2 \sum X_i^2 + b_3 \sum X_i^3$$

$$\sum x_i Y_i = b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 + b_2 \sum x_i^3 + b_3 \sum x_i^4$$

$$\sum x_i Y_i^2 = b_0 \sum x_i^2 + b_1 \sum x_i^3 + b_2 \sum x_i^4 + b_3 \sum x_i^5$$

$$\sum x_i Y_i^3 = b_0 \sum x_i^3 + b_1 \sum x_i^4 + b_2 \sum x_i^5 + b_3 \sum x_i^6$$

Al resolver algebraicamente el sistema de ecuaciones anterior se obtienen las soluciones para  $b_0, b_1, b_2$  y  $b_3$ . Haciendo uso de software estadístico

para los desarrollos algebraicos y aritméticos, para un polinomio de tercer orden se obtiene la siguiente información:

$$b_0 = -120112489637.16800$$

$$b_1 = 193922079.03162$$

$$b_2 = -23963.90574$$

$$b_3 = 2.00529$$

Reemplazando en la Ecuación 2 se tiene:

$$\hat{Y} = -120112489637.16800 + 193922079.03162X - 23963.90574X^2 + 2.00529X^3 \dots (4)$$

Dentro de las aplicaciones que se modelan con funciones polinómicas cúbicas, se pueden mencionar fenómenos de la física y la ingeniería relativos a la medición de flujos o caudales, el llenado o vaciado de tanques o cualquier tipo de recipientes, y situaciones en las cuales el volumen varía en función del tiempo y de la geometría del recipiente (De Mendiburu, 2006).

Lo antes mencionado fue corroborado experimentalmente, haciendo uso de la función cuadrática y cúbica. En ambos casos el coeficiente de determinación  $R^2$  presenta valores altos, indicando el buen ajuste del modelo. Para definir el mejor modelo, evaluamos los valores obtenidos para el error estándar, siendo de menor magnitud el error estándar obtenido por el modelo cúbico, por consiguiente, demostrando el mejor ajuste de la función polinomial de tercer orden.

En el presente artículo, se describe el análisis estadístico para definir la función matemática que más se ajuste a los datos de volumen como variable dependiente y la cota como variable independiente de la laguna Palcacocha, relación que se aproxima por medio de una función polinomial de tercer orden o cúbica según la Ecuación 4.

## Metodología

Para realizar el análisis de regresión e identificar la función que más se ajuste a los datos de volumen y cota de la laguna Palcacocha, primero se tiene que realizar una gráfica de puntos a partir de los datos de volumen y cota, para observar la clase de curva que describen los puntos y por tanto tener una idea del modelo matemático a usar; en segundo, encontrar la ecuación particular que mejor se ajuste a los datos y demostrar que la ecuación particular encontrada

cumple con ciertos aspectos referentes a los méritos de esta para hacer pronósticos (Muñoz, 2006).

Puesta en práctica, esta metodología hace uso de información real del volumen por cada nivel de la cota de la laguna Palcacocha (Tabla 1).

Se procede a realizar la gráfica de dispersión para observar si existe una posible relación y de qué tipo es (Figura 1).

Figura 1 nos sugiere que existe una relación curvilínea entre las variables. Se utiliza primero el modelo de regresión cuadrática, dado por (Ecuación 5).

**Tabla 1. Cota y volumen de la laguna Palcacocha.**

N°	Cota	Volumen	N°	Cota	Volumen	N°	Cota	Volumen
1	4562.00	17403353.00	25	4538.00	7469732.58	49	4514.00	801341.83
2	4561.00	16467959.70	26	4537.00	7169001.41	50	4513.00	1635821.58
3	4560.00	15962805.69	27	4536.00	6884175.61	51	4512.00	1481612.45
4	4559.00	15464485.49	28	4535.00	6590721.17	52	4511.00	1330011.72
5	4558.00	15001789.94	29	4534.00	6311237.41	53	4510.00	1191860.34
6	4557.00	14528430.41	30	4533.00	6020747.90	54	4509.00	1050937.02
7	4556.00	14085600.97	31	4532.00	5747892.99	55	4508.00	925482.31
8	4555.00	13651837.26	32	4531.00	5486858.65	56	4507.00	796797.95
9	4554.00	13214613.36	33	4530.00	5220550.27	57	4506.00	682155.10
10	4553.00	13189980.26	34	4529.00	4970089.58	58	4505.00	572458.76
11	4552.00	12365826.94	35	4528.00	4701236.63	59	4504.00	477750.42
12	4551.00	11964941.42	36	4527.00	4476170.22	60	4503.00	387118.40
13	4550.00	11573710.44	37	4526.00	4222919.53	61	4502.00	306812.10
14	4549.00	11186049.45	38	4525.00	4001057.66	62	4501.00	250437.55
15	4548.00	10813570.75	39	4524.00	3766053.25	63	4500.00	200899.49
16	4547.00	10453056.51	40	4523.00	3533383.88	64	4499.00	152218.29
17	4546.00	10101273.63	41	4522.00	3328733.98	65	4498.00	107983.22
18	4545.00	9751582.68	42	4521.00	3117260.46	66	4497.00	103094.60
19	4544.00	9407743.93	43	4520.00	2901135.39	67	4496.00	94354.04
20	4543.00	9062104.76	44	4519.00	2700612.84	68	4495.00	20445.21
21	4542.00	8737901.29	45	4518.00	2509880.18	69	4494.00	2788.44
22	4541.00	8407159.51	46	4517.00	2326621.72	70	4493.00	428.57
23	4540.00	8086133.60	47	4516.00	2144091.94	71	4492.00	0.01
24	4539.00	7788091.97	48	4515.00	1968412.51			

Fuente: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

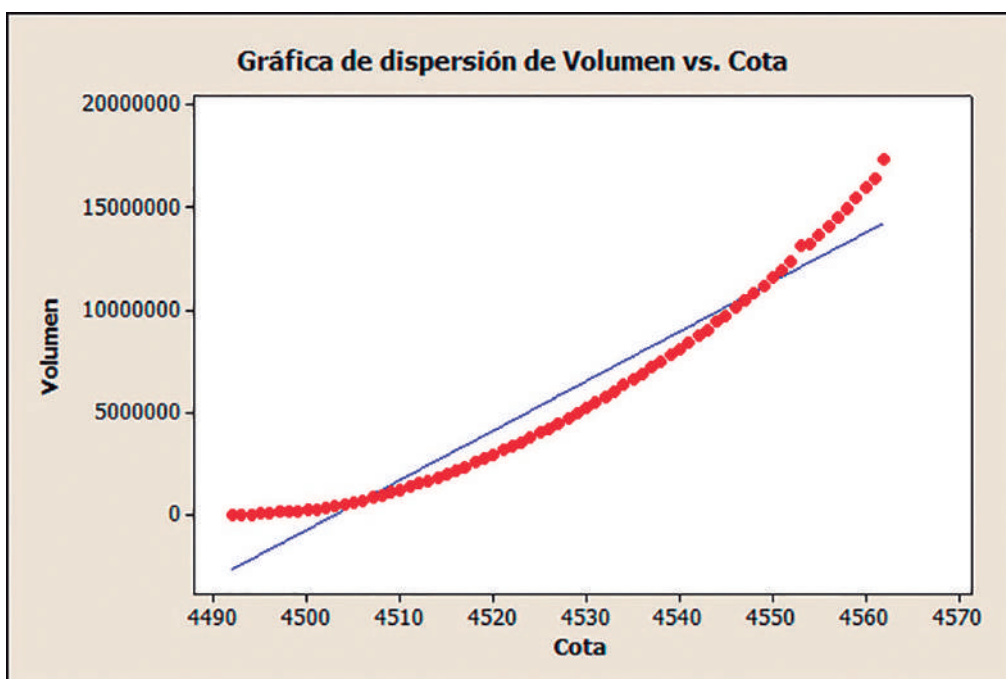


Figura 1. Comportamiento del volumen por nivel de cota de la laguna.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \dots\dots\dots(5)$$

Se realiza el análisis de regresión haciendo uso de software estadístico que genera los siguientes cuadros de salida: Figuras 2 y 3.

La ecuación de regresión es:

$$\text{Volumen} = 6.59E+10 - 29364296 \text{ Cota} + 3270 \text{ Cota}^2$$

Con valores para:  $S = 95979.9$ ,  $R^2 = 100.0\%$ ,  $R^2$  (ajustado) = 100.0%

Análisis de varianza-ANVA:

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	1.85753E+15	9.28765E+14	100819.59	0.000
Error		686.26426E+11	9.21215E+09		
Total		701.85816E+15			

El coeficiente de determinación  $R^2$  se expresa como un porcentaje que indica la variación de los

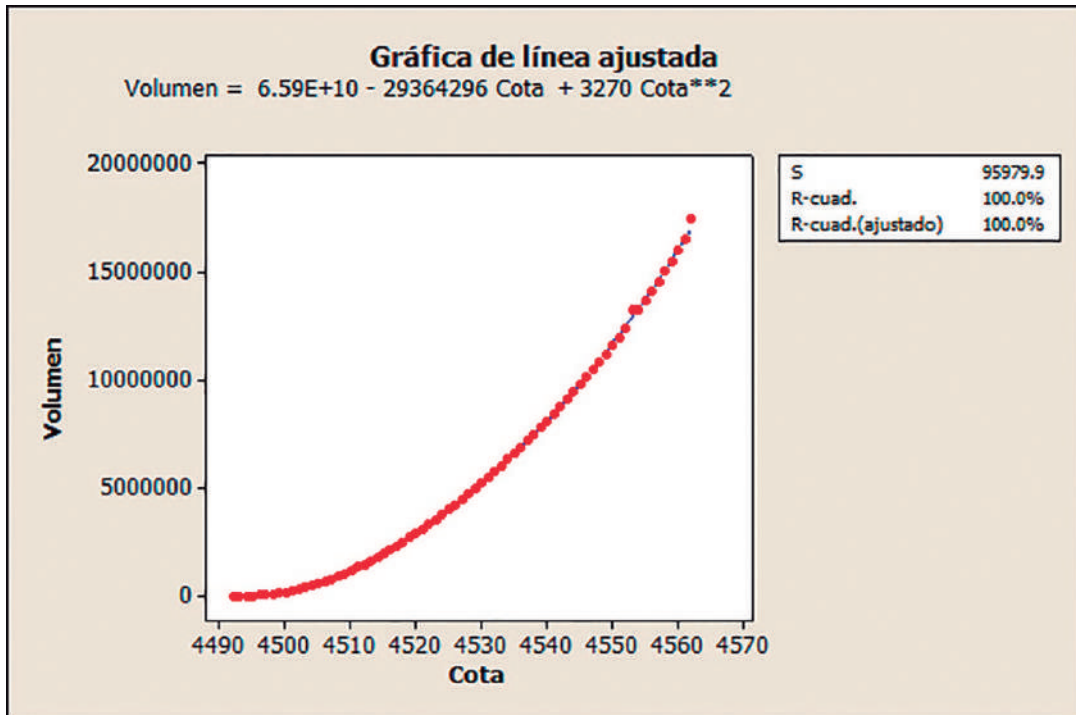


Figura 2. Análisis de regresión cuadrático: Volumen vs. cota.

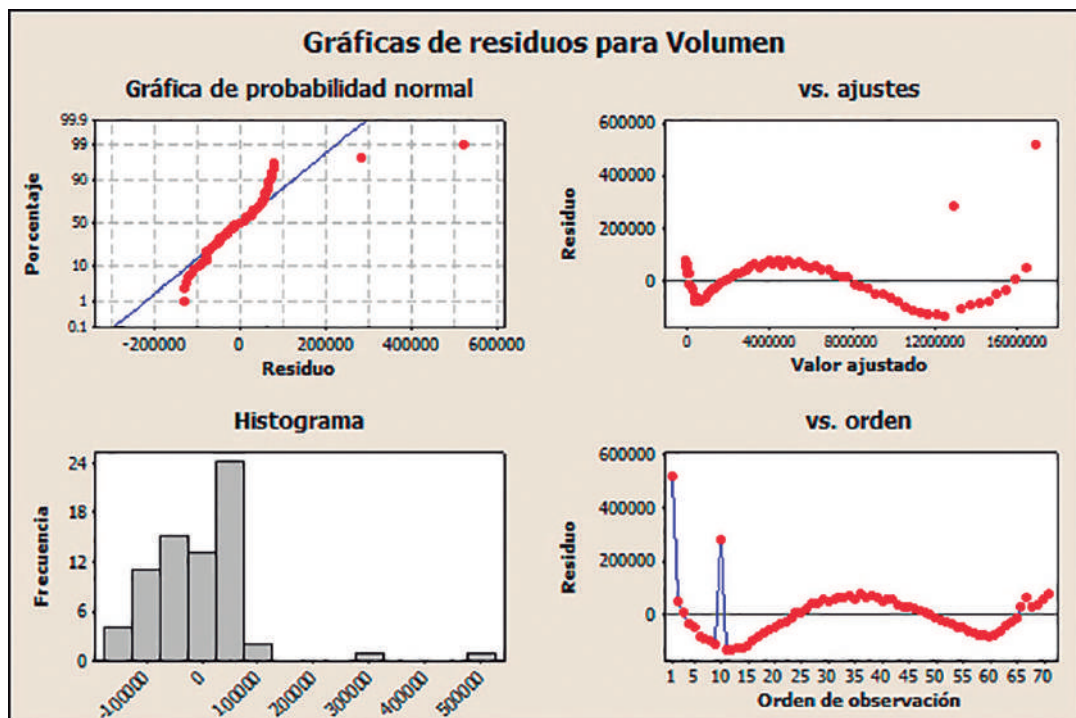


Figura 3. Gráfica del análisis de residuos para volumen.

valores de la variable independiente que se puede explicar con la ecuación de regresión (Levin y Rubin, 2004). De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, el coeficiente de determinación  $R^2$  y el de determinación ajustada son significativos. Por lo tanto, hay un buen ajuste de la curva con los puntos (Figura 2). Tratando de buscar una función que podría tener un mejor ajuste, se procedió a realizar el análisis con el modelo de regresión cúbica siguiente (Ecuación 6):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \epsilon \dots (6)$$

Este es el modelo polinomial de tercer orden con una variable predictora (Anderson, Sweeney y Williams, 2001). Nuevamente, se realiza el análisis de regresión haciendo uso del software estadístico, generando los siguientes cuadros de salida (Figura 4).

La ecuación de regresión es:

$$\text{Volumen} = - 1.20\text{E}+11 + 93922079 \text{ Cota} - 23964 \text{ Cota}^2 + 2.005 \text{ Cota}^3$$

Con valores para:  $S = 95683.0$ ,  $R\text{-cuad.} = 100.0\%$ ,  $R\text{-cuad. (ajustado)} = 100.0\%$

Análisis de varianza:

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	3	1.85754E+15	6.19181E+14	67631.40	0.000
Error	67	6.13400E+11	9.15523E+09		
Total	70	1.85816E+15			

Los resultados del análisis de regresión muestran que el ajuste de la ecuación cúbica con las observaciones es muy alto ( $R^2 = \text{aprox. } 100\%$ ). La relación encontrada es estadísticamente significativa ya que el estadístico de prueba es mucho mayor que el valor observado en una tabla de distribución F con una significancia de 0.05. En ambos casos, tanto con la función cuadrática y cúbica los valores del coeficiente de determinación- $R^2$  son significativos. Para definir la función que más se ajusta a los datos, se analizan los valores de los errores estándar-S generados por las funciones polinómicas cuadrática y cúbica, siendo el valor S de la función cúbica la que presenta menor valor, por lo que el modelo polinomial de tercer orden es el que mejor se ajusta a los datos de origen como se muestra en Tabla 2.

Sin embargo, no se puede pasar por alto la validación de los supuestos del modelo acerca del término del residuo: la homocedasticidad,  $E(\epsilon) = 0$  y distribución normal de  $\epsilon$  (Orellana, 2008).

La relación cúbica encontrada cumple con los supuestos del modelo, dado que los residuos estandarizados se encuentran entre -2 y 2 (Tabla 2 y Figura 5) con dos valores extremos (outliers) que son necesarios retirar para el análisis, demostrando con ello que los residuos tienden a una distribución normal.

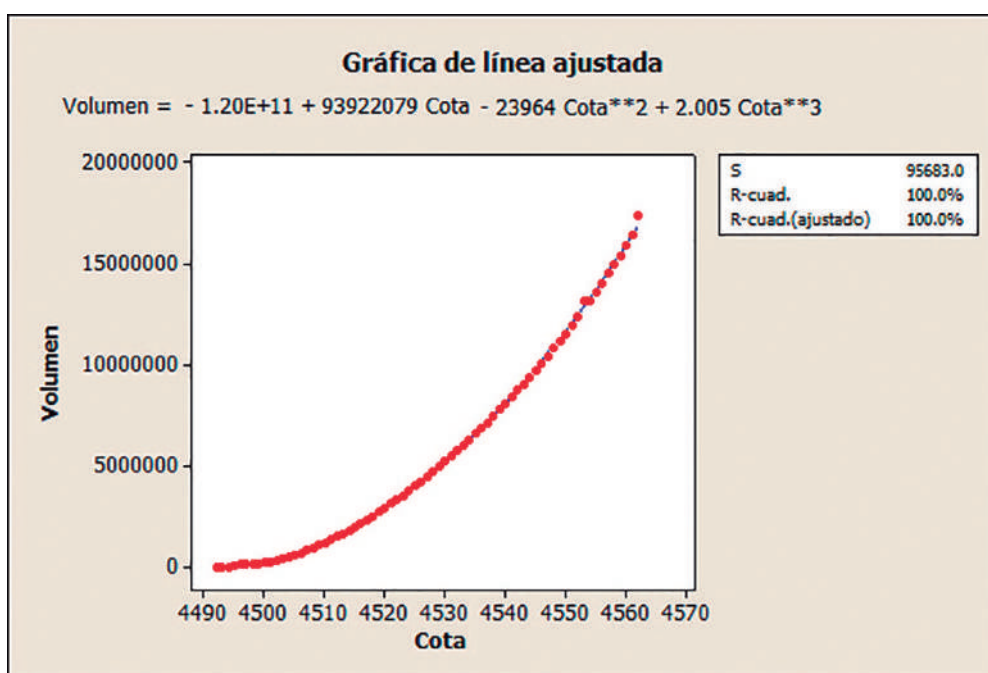


Figura 4. Análisis de regresión polinomial cúbico: Volumen vs. cota.

**Tabla 2. Valores de cota (X), volumen (Y), y valores estimados del volumen ( $\hat{Y}$ ), residuo y residuo estandarizado.**

**Polinomio de Segundo Orden**

**Polinomio de Tercer Orden**

X	Y	$\hat{Y}$	Residuo	Residuo Est.	X	Y	$\hat{Y}$	Residuo	Residuo Est.
4562.00	17403353.00	16884223.67	519129.33	5.77	4562.00	17403353.00	16917154.62	486198.38	5.69
4561.00	16467959.70	16416311.33	51648.37	0.57	4561.00	16467959.70	16443596.98	24362.73	0.28
4560.00	15962805.69	15954938.99	7866.70	0.09	4560.00	15962805.69	15976988.41	-14182.72	-0.16
4559.00	15464485.49	15500106.65	-35621.16	-0.39	4559.00	15464485.49	15517316.89	-52831.40	-0.58
4558.00	15001789.94	15051814.31	-50024.37	-0.54	4558.00	15001789.94	15064570.39	-62780.45	-0.69
4557.00	14528430.41	14610061.97	-81631.56	-0.88	4557.00	14528430.41	14618736.87	-90306.46	-0.98
4556.00	14085600.97	14174849.63	-89248.65	-0.96	4556.00	14085600.97	14179804.31	-94203.33	-1.02
4555.00	13651837.26	13746177.28	-94340.02	-1.01	4555.00	13651837.26	13747760.66	-95923.40	-1.03
4554.00	13214613.36	13324044.94	-109431.58	-1.17	4554.00	13214613.36	13322593.91	-107980.55	-1.16
4553.00	13189980.26	12908452.60	281527.67	3.00	4553.00	13189980.26	12904292.01	285688.25	3.05
4552.00	12365826.94	12499400.25	-133573.32	-1.42	4552.00	12365826.94	12492842.94	-127016.00	-1.36
4551.00	11964941.42	12096887.91	-131946.49	-1.40	4551.00	11964941.42	12088234.66	-123293.24	-1.32
4550.00	11573710.44	11700915.56	-127205.12	-1.35	4550.00	11573710.44	11690455.14	-116744.70	-1.25
4549.00	11186049.45	11311483.22	-125433.77	-1.33	4549.00	11186049.45	11299492.36	-113442.91	-1.21
4548.00	10813570.75	10928590.87	-115020.12	-1.22	4548.00	10813570.75	10915334.27	-101763.52	-1.09
4547.00	10453056.51	10552238.52	-99182.02	-1.05	4547.00	10453056.51	10537968.85	-84912.34	-0.91
4546.00	10101273.63	10182426.18	-81152.55	-0.86	4546.00	10101273.63	10167384.06	-66110.43	-0.71
4545.00	9751582.68	9819153.83	-67571.15	-0.71	4545.00	9751582.68	9803567.88	-51985.20	-0.56
4544.00	9407743.93	9462421.48	-54677.56	-0.58	4544.00	9407743.93	9446508.27	-38764.34	-0.41
4543.00	9062104.76	9112229.13	-50124.37	-0.53	4543.00	9062104.76	9096193.19	-34088.43	-0.36
4542.00	8737901.29	8768576.79	-30675.49	-0.32	4542.00	8737901.29	8752610.63	-14709.34	-0.16
4541.00	8407159.51	8431464.44	-24304.92	-0.26	4541.00	8407159.51	8415748.54	-8589.03	-0.09
4540.00	8086133.60	8100892.09	-14758.48	-0.16	4540.00	8086133.60	8085594.90	538.71	0.01
4539.00	7788091.97	7776859.74	11232.23	0.12	4539.00	7788091.97	7762137.67	25954.30	0.28
4538.00	7469732.58	7459367.39	10365.19	0.11	4538.00	7469732.58	7445364.82	24367.76	0.26
4537.00	7169001.41	7148415.04	20586.37	0.22	4537.00	7169001.41	7135264.31	33737.09	0.36
4536.00	6884175.61	6844002.68	40172.92	0.42	4536.00	6884175.61	6831824.13	52351.48	0.56
4535.00	6590721.17	6546130.33	44590.83	0.47	4535.00	6590721.17	6535032.23	55688.93	0.59
			-18885.82	-0.19				-14669.29	-0.14

Fuente: Elaboracion propia.

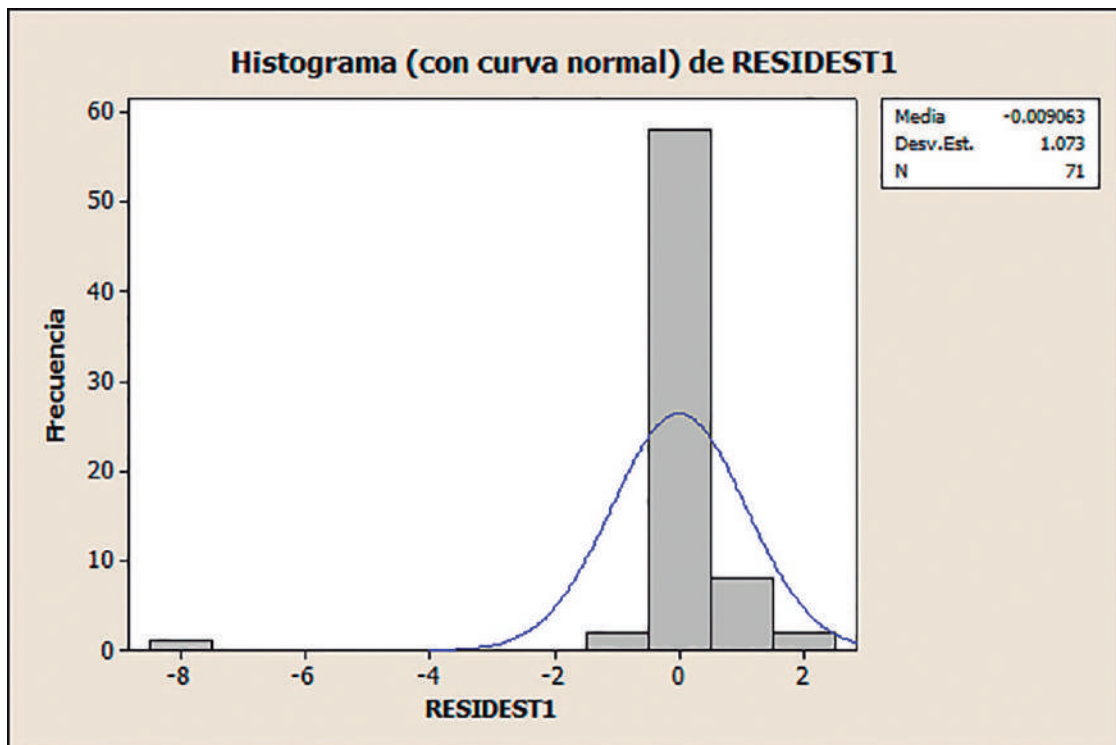


Figura 5. Gráfica del análisis de residuos para volumen.

## Resultados

El análisis de regresión con la ecuación cúbica obtenida a partir de los datos provenientes de la laguna Palcacocha demuestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, y el ajuste que proporciona es mejor que lo obtenido con la ecuación cuadrática. Por tal motivo, esta expresión puede usarse para hacer estimaciones y predicciones de valores de la variable dependiente (volumen de agua de la laguna Palcacocha) a partir de valores de la variable independiente (niveles de cota de la laguna) que están dentro del rango de la muestra.

Al realizar una estimación puntual de un valor de la variable respuesta  $Y$  dado un valor de la variable independiente  $X$ , no se tiene idea alguna de la precisión asociada con el valor estimado. Por ello, aunque la función de regresión tenga el mejor ajuste y sea estadísticamente significativa, no solo se deben hacer estimaciones puntuales de los valores de  $Y$ , también es necesario realizar estimaciones de intervalos de predicción de la variable  $Y$  que correspondan a determinado valor de  $X$ .

Supóngase que se desea estimar el volumen de agua que se tiene almacenada a un nivel de la cota igual a 4555.50 metros.

Usando la función polinomial cúbica:

$$Y = -1.20E+11 + 93922079 X - 23964 X^2 + 2.005 X^3$$

Reemplazamos el valor  $X$  (cota) por 4535.50 y se obtiene:  $Y = 6682597.897$

Para determinar un estimado del intervalo de predicción, debemos determinar primero la varianza asociada al volumen estimado de  $Y$  como un valor individual de  $Y$ . Esta varianza está formada por la suma de dos componentes:

- La varianza de los valores individuales de  $Y$  respecto del promedio cuyo estimado es  $S^2$ ,
- La varianza asociada al uso del estimador de  $Y$  para estimar  $E(Y)$  cuyo estimado es  $S^2_y$ .

Así, el estimado de la varianza de un valor individual está dado por:

$$S^2_{ind} = S^2 + S^2_{(y)}$$

Por consiguiente, un estimado de la desviación estándar de un valor estimado individual de  $Y$  está dado por (Ecuación 7).

$$S_{ind} = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_p - \bar{X})^2}{S_x}} \quad \dots(7)$$

La ecuación general para un estimado del intervalo de predicción para un valor individual de  $Y$  dado un valor particular de  $X$  es:

$$\hat{Y} \pm T_{\alpha/2} * S_{ind}$$

En donde el coeficiente de confianza es 1 y  $T_{\alpha/2}$  se basa en una distribución *T-estudent* con  $n-3$  grados de libertad. Para determinar un estimado de intervalo de predicción del 95% para el volumen de agua de la laguna Palcacocha, se necesita el valor de  $T$  para  $\alpha/2=0.025$  y  $n-3=67$  grados de libertad. Así, con  $\hat{Y}_p = 6682597.897$ ,  $T_{0.025} = 1.9960$  y  $S_{ind} = 95683.0$ , se tiene:

$$LC(\hat{Y}) = 6682597.897 \pm 1.9960 * 95683.0$$

$$\text{Entonces, el LSC}(\hat{Y}) = 6873581.165$$

$$LIC(\hat{Y}) = 6491614.629$$

Entonces, con una confianza del 95%, se puede decir que el volumen del agua que almacena la laguna Palcacocha, considerando un nivel de cota = 4535.50 se encuentra entre 6874173.777 y 6491022.017 metros cúbicos.

## Discusión

Uno de los conceptos fundamentales sobre el que se ha basado este análisis es que la ecuación de regresión cúbica, obtenida a partir de los datos de la muestra, es un estimado de los parámetros del modelo para la población. Por lo tanto, es posible determinar intervalos de confianza para los estimadores de regresión.

El análisis de regresión muestra, por defecto, el intervalo de confianza del 95% para cada uno de los parámetros. La Tabla 2 presenta los valores inferior y superior para el intervalo de confianza del 95% de los parámetros del modelo.

Para  $\hat{Y}_{punt} = 6682597.897$ , se tiene los intervalos de confianza: 6874173.777 y 6491022.017

En la estimación y la inferencia, un error común es suponer que la línea o curva de regresión, así el ajuste sea muy bueno (valor de  $R^2$  muy alto), puede aplicarse en cualquier intervalo de valores. Aun cuando una relación se cumpla para el intervalo de puntos de la muestra, puede existir una relación completamente distinta para otro intervalo diferente.

Una función de regresión para realizar estimaciones es válida para el mismo rango dentro del cual se tomó la muestra inicialmente (Levin, Rubin, 2004). Sin embargo, si el investigador tiene la certeza de que el comportamiento entre las variables será el mismo en otros intervalos fuera del rango de la muestra, entonces puede usar la ecuación para hacer predicciones.

En particular, para la situación que se ha analizado se puede asegurar que el comportamiento del volumen de la laguna Palcacocha mantenga la misma tendencia que describe la ecuación hallada para la cota 4535.50, pues si se asume que el volumen de agua de la laguna en investigación es de 6682597.897 o que el verdadero volumen de agua que almacena la laguna se encuentra entre 6874173.777 y 6491022.017. Por esta razón, solo se puede utilizar la ecuación cúbica encontrada para conocer el volumen de agua de la laguna Palcacocha.

Finalmente, es importante mencionar que se puede cometer otro error al utilizar el análisis de regresión: suponer que un cambio en una variable es “ocasionado” por un cambio en la otra variable. Los análisis de regresión y correlación no pueden, de ninguna manera, determinar la causa y el efecto. La validez de una conclusión de tipo causa y efecto requiere de una justificación teórica, o del buen juicio por parte del analista (Cardona et al., 2013).

## Conclusiones

En este trabajo, se probaron los modelos de regresión polinomial de segundo y tercer orden para describir la relación entre el volumen de agua por nivel de cota de la laguna Palcacocha, siendo el modelo polinomial de tercer orden el que mejor se ajusta a los datos de las mediciones de las variables volumen y cota, presentando un coeficiente de determinación  $R^2$  aproximadamente al 100%, así mismo un menor valor de desviación estándar  $S$ . Cuando se analizan los volúmenes de agua de lagunas por sus niveles de cota, el análisis de regresión es una herramienta matemática

poderosa que permite determinar modelos sobre el comportamiento de las variables que intervienen en una situación en cualquier campo del conocimiento con el fin de hacer estimaciones y predicciones dentro de un intervalo de confianza deseado. Esta herramienta de análisis estadístico proporciona a los profesionales e investigadores la posibilidad de hacer ajustes en los procesos, minimizar el error de estimación de tal manera que las estimaciones obtenidas son más precisas con un mínimo de error que las obtenidas haciendo uso de la **fórmula para el cálculo del volumen del cono truncado invertido**, usado actualmente por profesionales, investigadores e instituciones públicas entre otros. De igual forma, los funcionarios de la administración pública, a partir del análisis de regresión realizado con respecto al volumen de agua que se observa en la laguna investigada, podrían establecer políticas para garantizar el consumo sostenible del recurso hídrico para la población asentada en su recorrido, así como garantizar las actividades económicas como la agricultura y minería, entre otras de importancia.

## Referencias

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J. y Williams, T. A. (2001). *Estadística: Administración y economía* (7ª ed.), vol. II. México, S. A. Ediciones Paraninfo.
- Cardona, D. F., González, J. L., Rivera, M. y Cárdenas, E. (2013). *Inferencia estadística módulo de regresión lineal simple*. Bogotá, Editorial Universidad del Rosario, Escuela de Administración.
- Levin, R. I. y Rubin, D. S. (2004). *Estadística para administración y economía* (7ª ed.). México, Pearson Educación.
- Mendiburu, F. de (2006). *Modelos no lineales* (1ª ed.). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Muñoz R., L. A. (2006). Comprobación de los supuestos del modelo de regresión lineal. Cali, Universidad Autónoma de Occidente.
- Orellana, L. (2008). Análisis de regresión. En *Regresión lineal simple*.
- Walpole, R. E., Myers, R. H. y Myers, S. L. (1998). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (6ª ed.). México, Prentice Hall Hispanoamericana.

---

# Una Breve Descripción de los Servicios Ecosistémicos, Hídricos y Culturales de la Cordillera Blanca y Su Entorno

A Brief Description of the Ecosystem, Water and Cultural Services of the Cordillera Blanca and Its Surroundings

**Daniel Boyano Sotillo<sup>1</sup> (danielboyanosotillo@gmail.com)**

<sup>1</sup>*Observatorio del Derecho Humano al Agua y al Saneamiento (ODHAS) - Universidad Complutense de Madrid (U.C.M.) y la Asociación para el Estudio de la Montaña CRYOSANABRIA, España*

## Resumen

Este artículo pretende ser una primera aproximación descriptiva a los servicios ecosistémicos, hídricos y culturales ofrecidos por la puna y la criósfera de la Cordillera Blanca del Perú. La Cordillera Blanca es la cadena de montañas tropicales con mayor número y extensión de glaciares del mundo. Igualmente, existen más de 800 lagunas, muchas de reciente formación a causa del retroceso glaciar y de la acelerada fusión de los glaciares cercanos.

La criósfera y la puna son dos ecosistemas que destacan dentro de la Cordillera Blanca. La criósfera es el componente del sistema terrestre que contiene agua en estado sólido, y que se encuentra en regiones cubiertas por nieve o hielo. Más abajo, aparece la puna que en Perú se emplaza encima de los 3500 msnm, con un bioma principalmente de herbazal. Ambos ecosistemas tienen amplia distribución y elevada diversidad y hacen una contribución esencial a escala local, regional, nacional y continental. Además, ofrecen hábitats únicos para la biodiversidad, que proveen al ser humano una serie de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, culturales y esenciales o de apoyo, según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), presentada en 2005. Entre estos servicios destaca por su importancia el aprovisionamiento de agua dulce para las actividades humanas.

**Palabras clave:** *Servicios ecosistémicos, Cordillera Blanca, glaciar, puna, Andes*

## Abstract

This article presents a descriptive first approximation of the ecosystem, water and cultural services offered by the puna and cryosphere of the Cordillera Blanca of Perú. This cordillera is the tropical mountain chain with the largest number and extent of glaciers in the world. There are also more than 800 lakes, many of which have been

formed recently due to the retreat of glaciers and the accelerated fusion of nearby glaciers.

The cryosphere and the puna are two ecosystems that stand out within the Cordillera Blanca. The cryosphere is the component of the earth system that contains water in solid state; that is, regions covered by snow or ice. Below this, appears the puna, which in Peru is located above 3500 meters above sea level and has a mainly herbaceous biome. Both ecosystems have a wide distribution and high diversity and make an essential contribution at local, regional, national and continental scales. They also offer unique habitats for biodiversity that provide people with a series of essential or support ecosystem services in terms of provisioning, regulation and culture, according to the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) presented in 2005. Among these services, the supply of fresh water for human activities stands out for its importance.

**Keywords:** *Ecosystem services, Cordillera Blanca, glacier, puna, Andes*

## Introducción a los Servicios Ecosistémicos

El análisis de los Servicios Ecosistémicos consiste en evaluar y describir los beneficios que los ecosistemas proporcionan a la población, entendiendo los ecosistemas como la relación dinámica y compleja de diversos organismos con el entorno, operando en un sistema interdependiente, de forma que si una parte es afectada puede producir un impacto en todo el sistema.

Según la *Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural* (MINAM, 2015), los servicios ecosistémicos son definidos como los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas. Entre ellos, se cuenta la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de

carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros (Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos).

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), los servicios ecosistémicos se pueden agrupar en cuatro tipos: servicios de provisión, servicios de regulación, servicios culturales, y servicios de soporte. La metodología diseñada en este análisis somero retomó conceptos y lineamientos establecidos en dicha Evaluación de los Ecosistemas del Milenio y se basó en revisión bibliográfica y trabajo de campo, principalmente entrevistas.

De esta manera, el caso de estudio es un reflejo de la constante disputa por actividades y visiones de los distintos actores que intervienen sobre los territorios. Los servicios ecosistémicos permiten poner los niveles de valoración entre la conservación y la subsistencia, entre la conservación y la proporción de poder para los usos y control de los servicios ecosistémicos (Lorca, Soley y Boyano, 2015).

Muchos autores parten de la base de que todas las especies, tanto bióticas como abióticas, están ecológicamente relacionadas unas con otras integradas dentro de un sistema. Por tanto, la identificación y categorización de las funciones ecosistémicas, ya sean directas o indirectas, dependen de su contribución al bienestar humano, teniendo en cuenta las diferentes escalas y criterios ecológicos, ambientales, sociales y culturales. El interés del análisis de las funciones ecosistémicas responde al foco del interés en un determinado sistema social dentro de un contexto en que se deben tomar decisiones de gestión de un determinado espacio. En ese contexto teórico se enmarca el presente caso de estudio de los Servicios Ecosistémicos de la criósfera y la puna de la Cordillera Blanca.

Principalmente, este artículo se centra en el análisis y descripción de los servicios culturales, beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas; y de los servicios hídricos que son las funciones de los ecosistemas que ofrecen a la gente el agua en cantidad y calidad apropiadas.

Las regiones montañosas satisfacen una creciente demanda de paisajes agradables, ofreciendo muchos servicios de ecosistemas culturales a sus residentes y turistas. Como resultado del cambio global, los administradores de tierras y los encargados de formular políticas se enfrentan a cambios en este panorama y necesitan técnicas de evaluación eficientes para evaluar los servicios de los ecosistemas culturales.

El enfoque metodológico que se utilizó para la identificación y clasificación de los servicios ecosistémicos se alinea con la economía ecológica y la ecología política, que plantean las relaciones de poder que están en las interacciones entre la sociedad y la naturaleza en torno al uso y manejo de los servicios ecosistémicos. Es así que la unidad de análisis por ecosistemas se convierte en un sistema socio-ecológico (Lorca, Soley y Boyano, 2015).

No hay que obviar que los servicios ecosistémicos se deben entender como una herramienta más de conservación, en este caso desde una óptica antropocéntrica. A pesar de ello hay que tener en cuenta que en la naturaleza nos encontramos con ecosistemas que son irremplazables, por lo tanto, no pueden ser valorados con un enfoque monetario cuantitativo, al ser insustituibles.

Garantizar el mantenimiento de los servicios ecosistémicos en la Cordillera Blanca en el contexto de la incertidumbre asociada al cambio climático, es el gran desafío para tomadores de decisión en la región de Ancash.

## **Ecosistemas Puna y Criósfera de la Cordillera Blanca**

La Cordillera Blanca del Perú se encuentra aproximadamente a 300 kilómetros al norte de Lima, en la región Ancash. Es la mayor cadena de montañas tropicales del mundo con más de 700 glaciares, constituyendo del mismo modo, la superficie de masas de hielo tropicales más importante de la Tierra. Además, se han contabilizado más de 800 lagunas, muchas de reciente formación a causa del retroceso de los glaciares (UGRH, 2014; INAIGEM, en prensa). Estas cabeceras forman parte de las cuencas hidrográficas de los ríos que desembocan en el río Marañón en la vertiente amazónica, y el río Pativilca y el río Santa, en la vertiente del Pacífico.

Pero también hay que resaltar que la Cordillera Blanca se encuentra dentro de la región Andina de América Latina, donde la cobertura glaciaria se ha reducido en un 22%, y con ello se ha perdido cerca del 12% del volumen total de reserva de agua dulce (Baraër et al., 2012; Vuille, 2007). La Cordillera Blanca se caracteriza por una estación seca muy marcada, que dura de junio a septiembre, siendo en los meses centrales más acusada la falta de precipitaciones.

La cadena montañosa, con sus 210 km de longitud lineal, es un paraíso para caminantes debido a la facilidad de acceso, la belleza de sus paisajes y más de 30 montañas que superan los 6000 m de altitud, destacando el Huascarán con 6757 m (INAIGEM, 2017), la montaña más alta de Perú.

El Parque Nacional Huascarán (Figura 1), creado en 1975 por el Estado peruano, se extiende por la mayor parte de la Cordillera Blanca y actualmente se está clasificado en la categoría II de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), bajo la categoría III como Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO desde 1985, siendo también Reserva de la Biósfera desde 1997. Dichas figuras brindan un sólido respaldo para su protección y conservación.



**Figura 1. Laguna Cullicocha y el nevado Santa Cruz.**  
Foto del autor.

Cuando hablamos de la criósfera y puna de la Cordillera Blanca nos referimos a áreas de alta montaña según la división de Ecosistemas del Milenio.

Se denomina criósfera al conjunto de las diferentes formas en que el agua puede conservarse en estado sólido en la cordillera (glaciares, glaciares rocosos, nieve y permafrost). Todas esas formas tienen en común un origen relacionado con la presencia de agua a una temperatura por debajo del nivel de congelación. Es decir, inferior a 0 °C. Esa característica las hace

extremadamente sensibles a las variaciones en la temperatura y la precipitación, y las convierte en extraordinarios geoindicadores del cambio climático. Además, la criósfera constituye una de las principales reservas hídricas para las regiones áridas de la costa de Perú. Los datos demuestran que esas masas de hielo están reduciendo considerablemente su tamaño como consecuencia del cambio climático.

Por su parte, la puna es una región de baja presión atmosférica, menor difusión de oxígeno en el aire, clima frío y una temperatura media anual de 6 °C hasta -7 °C. Todos estos factores geográficos, aunados al relieve, le han dado varios endemismos a la región, la cual ha sido también cuna de diversas culturas precolombinas. En Perú, se considera puna a partir de los 3500 msnm, que es cuando comienza la altiplanicie y su bioma es básicamente el herbazal de alta montaña.

Las personas que se benefician de forma directa de los servicios ecosistémicos que entregan estos ecosistemas montañosos son tanto las situadas en el entorno de la Cordillera Blanca como las que se encuentran a escala regional, nacional e incluso continental, principalmente por el aprovisionamiento de agua dulce de calidad para abastecerle, y a sus actividades económicas como agricultura o ganadería, aguas abajo de los ríos que nacen en la Cordillera Blanca, tanto hacia la Amazonía como hacia el Pacífico.

## Servicios Ecosistémicos de la Criósfera y la Puna de la Cordillera Blanca:

### *Servicios de Provisión o Abastecimiento*

La composición vegetal y las características edafológicas de la puna de la Cordillera Blanca permiten que estos ecosistemas tengan especiales condiciones para la **captación y el almacenamiento de agua** (provisión de agua). En términos de captación o absorción, buena parte de este recurso proviene de los hielos glaciares y otro tanto llega a través de lluvias y la niebla que es atrapada por las hojas de los arbustos, principalmente de queñual (*Polylepis* spp.).

En cuanto al almacenamiento, los musgos y otra clase de vegetales inferiores cumplen un papel importante como reservorios naturales de agua que, junto con los glaciares, las lagunas y bofedales, se convierten en fuentes tangibles de provisión hídrica

para la irrigación, tanto para la población local, como a escala regional de cuenca hidrográfica. Es de resaltar que los bofedales constituyen un ecosistema muy importante, proveen forraje y agua para el ganado en épocas críticas y suministran importantes servicios de aprovisionamiento y regulación al conjunto de la sociedad. De esta manera, su funcionamiento natural permite el suministro básico de agua para los procesos económicos y sociales del sistema andino (Rangel, 2002), a pesar de la marcada estación seca.

En las comunidades de mayor altitud de la provincia de Ancash, tanto en la vertiente oriental amazónica como en la vertiente occidental, el agua de la puna y glaciares abastece a los acueductos directamente, generalmente sin tratamiento, exceptuando ciudades grandes como Huaraz. Este servicio de calidad se debe en gran medida a que en la puna y glaciares hay suelos turbosos de gran espesor que filtran y almacenan el agua de lluvia, que posteriormente es liberada lentamente (Figura 2), recargando acuíferos y haciendo disponible el recurso, favoreciendo el abastecimiento humano.



Figura 2. Frente glaciar del nevado Artesonraju que da origen a la laguna Artesoncocha. Foto del autor.

Queda claro que, en el caso de los glaciares y la puna, el principal servicio ecosistémico que proveen es el agua. Para Perú, un país con una distribución hídrica asimétrica, donde el 1.8% de los recursos hídricos debe proveer a más del 65% de la población ubicada en la costa seca, garantizar la conservación de estas masas de agua helada es esencial. Así la Cordillera Blanca es el primer eslabón de una cadena biológica y económica que va desde el Callejón de Huaylas hasta los proyectos agroindustriales de la costa norte.

El cuidado y conservación de la provisión de agua también es vital a nivel local, ya que las poblaciones más vulnerables dependen directamente del agua para sus principales actividades económicas, o lo que es lo mismo, la agricultura (papas en las partes altas y cultivos tropicales en el fondo del valle del Callejón de Huaylas, además de floricultura) y la ganadería (cría de cuyes, ovejas, llamas, alpacas y ganado vacuno). De esto se puede deducir que la provisión de agua para los sistemas productivos es un elemento clave para la seguridad alimentaria y el bienestar, en particular de los pequeños agricultores que dependen de estos servicios ecosistémicos para el mantenimiento de sus formas de vida (Young y Lipton, 2006). También es imprescindible para la pesca, la piscicultura, el consumo doméstico e incluso actividades del sector secundario como la producción hidroeléctrica en el Cañón del Pato del Río Santa u otras microcentrales ubicadas a los largo de los ríos de la cordillera.

Otro servicio tradicional de los ríos que nacen en la Cordillera Blanca es la **minería artesanal** ofreciendo el servicio de obtención de material de construcción como arcilla, grava y arena. Pero de igual forma, durante sus continuos avances y retrocesos, los glaciares ubicados en las cabeceras de las cuencas dejan sedimentos heterométricos, siendo estas acumulaciones de material morrénico ricas en minerales para la agricultura y para la construcción como las anteriormente citadas gravas y arcillas. Concretamente, la arcilla se usa tanto para los muros como para ladrillos o las tejas del techo (Figura 3).

En relación con lo anterior, aparecen dentro de la Cordillera Blanca, en especial en el ecosistema puna, importantes yacimientos de mediana y gran minería que explotan diferentes minerales, tanto legales como ilegales.



**Figura 3. Uso de bloques de roca de tamaño medio de la morrena y arcilla del till glaciar para la construcción de una edificación. Foto del autor.**

De manera paralela, las zonas próximas de los glaciares y la puna de la Cordillera Blanca forman un refugio de diversidad genética. En la puna destacan los elevados niveles de endemismo, producto de su aislamiento por las condiciones orográficas de la montaña, condición que, sumada a su gran biodiversidad, los convierte en objetos de estudio y los configura como inigualables laboratorios naturales para realizar estudios científicos de cualquier índole (sistemática, taxonomía, genética para aplicación farmacéutica, entre otros).

Se practica la **pesca** de forma ocasional en ríos y lagunas del ecosistema puna y la criósfera, incluso la **piscicultura** para la cría de trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Ambas son desarrolladas como actividad deportiva por turistas y como complemento de la dieta por parte de la población local. En cuanto al **aprovechamiento micológico** y de la **flora comestible** tuvieron un bajo reconocimiento por parte de las personas autóctonas debido a varias razones: poco conocimiento de la flora comestible, baja diversidad de plantas comestibles debido a la altitud o simplemente porque niegan el consumo de especies de alta montaña, por temor a admitir la extracción de recursos protegidos por el Parque Nacional.

El servicio de **provisión de fibras** fue identificado en bibliografía con la obtención de madera y leña a nivel local. Actualmente, la leña se usa como combustible y para la construcción de cercas vivas (Rangel, 2000), aunque es importante resaltar la reducida vegetación arbustiva existente en estos ecosistemas. El quisuar (*Buddleja* spp.) es un ejemplo de este uso, ya que sirve para construir techos y herramientas, así como para estabilizar taludes y frenar la pérdida de suelos. Además, estos arbustos son recolectores de agua, creando microecosistemas óptimos para que procreen

otras especies como líquenes y hongos. Del mismo modo, la *Puya raimondii* hasta hace poco tiempo se usaba en construcción de viviendas, pero este uso es cada vez más residual.

En zonas de transición del ecosistema puna con altitudes inferiores, y siempre próximos a zonas húmedas, aparece el aliso (*Alnus jorullensis*). Con su madera se realiza mobiliario, además de puertas y ventanas, e incluso cajas de fruta. Asimismo, sus hojas se usan de forraje para el ganado, para fabricar tintes y abonos orgánicos para la agricultura.

También el hielo de glaciar era y es un recurso de uso local, puesto que la población extrae hielo con la finalidad de **mantener productos perecederos**, como carne o pescado, y así conservarlos, e incluso para hacer helados y raspadillos dulces.

Respecto al **servicio de provisión de productos bioquímicos**, medicinas naturales y productos farmacéuticos, se reconoce que los pobladores de la Cordillera Blanca utilizan algunas de las plantas nativas con fines medicinales. Algunas de estas plantas fueron resaltadas por todas las personas consultadas, apareciendo un importante número de citas entre las que destacamos el cullash (*Schinus molle*) para uso purgante y afecciones respiratorias; la valeriana estrellada (*Phyllactis rigida*), que se emplea como antiespasmódico; el ancosh (*Senecio canescens*), empleado para aliviar enfermedades bronquiales; la huamampinta (*Chuquiraga spinosa*), que se usa como diurética y antiblenorrágica; la cantuta (*Cantua bexifolia*), empleada como antidiarreico y antiinflamatorio; la congona (*Preperomia dolabriformis*), empleada como cicatrizante; la pacra-pacra (*Laccopetalum gigantium*), para tratar afecciones a la garganta y pulmones; y la machamacha (*Pemettya postata*), usada como somnífero.

La medicina tradicional se constituye en la actualidad en parte de la cultura viva, el consumo de plantas y productos naturales medicinales viene acrecentándose por su eficacia curativa y la comercialización masiva en las ciudades, en algunas de las cuales están siendo procesadas e industrializadas con fines terapéuticos. Es necesario, por ello, profundizar el estudio en este sentido, al ser la Cordillera Blanca un espacio natural privilegiado donde se pueden hacer estudios que beneficien a la población mundial.

En relación con lo anterior, los pobladores también utilizan una gran variedad de recursos animales en sus prácticas curativas, tanto domésticos como los que pueden obtener en los diferentes ambientes de sus comunidades.

### *Servicios de Regulación*

Entre los servicios de regulación el principal es el servicio de **regulación del clima**. Esta regulación se consigue mediante la captura de dióxido de carbono por la vegetación de la puna, el cual se acumula como parte de la materia orgánica del suelo. Dicho almacenamiento ayuda a controlar el calentamiento a escala global (Hofstede, 2002). Además, la puna y los glaciares, como ecosistemas altoandinos, desempeñan un rol imprescindible en los modelos de circulación de masas de aire a escala local y continental, que se relacionan directamente con el clima a escala local y regional.

Asimismo, los glaciares modifican las condiciones atmosféricas locales de su entorno, ya que las montañas nevadas enfrían las masas de aire y aumentan su humedad relativa, favoreciendo la precipitación. A su vez, esas masas de aire circulan por los valles glaciares en sentido valle montaña durante el día y en sentido inverso durante la noche, con vientos adiabáticos y catabáticos.

Las montañas, y en especial esta cordillera tropical, son una de las regiones más sensibles al cambio climático, ya sea en relación con su fragilidad biofísica, su biodiversidad y los riesgos naturales, como con la vulnerabilidad social y los medios de subsistencia humanos. Como los glaciares se están retirando y sus capas de hielo pierden volumen, pueden ser considerados como un sistema mundial de alerta temprana, así la puna y criósfera funcionarían como **indicadores evidentes del calentamiento global**.

La variación en el clima de las últimas décadas afecta al recurso agua, y a su disponibilidad de uso. Asimismo varias personas locales identificaron a la criósfera y la puna de la Cordillera Blanca como un regulador climático e hídrico de vital relevancia.

Dentro de los estudios científicos que más se desarrollan en la criósfera, es decir en los glaciares, están los relacionados con los paleoclimas, ya que los glaciares son buenos indicadores de cambios

climáticos, puesto que reaccionan a dichas anomalías atmosféricas entregando o acumulando mayor cantidad de agua en las cuencas donde drenan sus aguas, esto se ve reflejado directamente en las variaciones de la superficie y en el volumen de los glaciares. Además, en algunos glaciares se puede describir situaciones pasadas del clima y eventos volcánicos entre otros, mediante testigos de hielo, calicatas y observaciones de frentes abruptos (Segovia, 2014).

Asimismo, los glaciares conservan atrapadas pequeñas burbujas de aire entre los cristales de hielo, las cuales son remanentes del pasado de la atmósfera en el momento de la precipitación de la nieve que luego se transformó en hielo. El análisis de estas burbujas de aire junto con las partículas de polen permite reconstruir las características de la atmósfera de tiempos pasados. La información obtenida de los núcleos de hielo ha tenido un papel importante en la caracterización de los cambios pasados en escalas de tiempo que van desde décadas a las edades de hielo (Bamber y Payne, 2004).

Respecto a las precipitaciones, existe una diferenciación marcada entre las vertientes externas húmedas y superhúmedas, y las vertientes internas más áridas. A los valores directos de volumen de agua, se deben sumar las cantidades de agua que proviene de glaciares, la precipitación horizontal y el agua atrapada por la vegetación. Estas condiciones permiten deducir que en el ambiente de puna y glaciar la vocación natural de estos ecosistemas debe ser la **conservación del recurso hídrico**.

Comúnmente, se menciona la importancia de preservar los ecosistemas de la Cordillera Blanca, debido a su función como **reguladores hídricos** (Figura 4). Por esta razón, son considerados ecosistemas estratégicos. Este servicio se relaciona con los suelos de turba y bofedales de la puna, que al regular el agua (reteniéndola y liberándola lentamente) controlan las inundaciones y la erosión, además de recargar acuíferos, y algo similar ocurre con los glaciares.

Del mismo modo, la puna de la Cordillera Blanca actúa como purificador del agua al ser un filtro natural que aporta minerales aumentando su calidad. En este caso se constituyen en fuente de agua potable ya que, en la mayor parte de la puna y los glaciares de la Cordillera Blanca, la cantidad de nieve y lluvia es mayor que el agua evapotranspirada.



**Figura 4. Glaciares de ladera y de montera del nevado Huascarán son importantes almacenes y reguladores hídricos. Foto del autor.**

Las personas locales tienen en cuenta la calidad del agua de los glaciares y la puna, reconociéndose como privilegiados al tener el acceso a este recurso garantizado, ya que al estar ubicados en las tierras altas pueden abastecerse directamente y prácticamente sin ninguna alteración. Dicho privilegio les brinda una sensación de bienestar que según ellas y ellos no tienen las personas que habitan aguas abajo de las cuencas. Esta población local se siente ajena al proceso de degradación ambiental, aunque, de forma ocasional, sí son partícipes al llevar al ganado a zonas de recarga de acuíferos o usar químicos en sus cultivos próximos. En contraposición, se observó que, al no existir un manejo adecuado de aguas servidas en las comunidades, los actores locales contaminan de forma indirecta y no son ajenos al problema.

Por otro lado, la nieve y el hielo tienen un alto albedo, o lo que es lo mismo, reflectividad de radiación devuelta evitando la acumulación de calor. Esta reflectividad puede afectar en algunas partes de la Cordillera Blanca hasta un 90% de la radiación solar incidente. Sin la criósfera, el albedo sería considerablemente más bajo, se absorbería más energía calorífica a nivel de la superficie terrestre y, por lo tanto, la temperatura atmosférica sería más alta.

Los glaciares y la puna cumplen el rol de mantener el **caudal hídrico de manera estable** durante todo el año, acumulando agua en la época húmeda y desaguando en la época seca, favoreciendo una dinámica de regulación de caudal constante.

El permafrost (suelos congelados de manera permanente) es escaso en la Cordillera Blanca, pero influye sobre el contenido de agua y la vegetación de amplias zonas y es uno de los componentes de la criósfera más sensible a las tendencias de calentamiento atmosférico. Igualmente, tiene la característica de que, al calentarse, la materia orgánica que contienen estos suelos congelados puede emitir gases invernadero, como el metano, y aumentar la tasa

de calentamiento global. Al igual que en los glaciares descubiertos, en invierno, el cuerpo del “permafrost” crece y retiene agua adicional en forma de hielo subterráneo, la que principalmente corresponde a agua infiltrada de la fusión diurna que proviene de campos de nieve, avalanchas y precipitaciones (casi exclusivamente sólidas).

En los ecosistemas de la Cordillera Blanca se crean condiciones climáticas especiales que contribuyen al **mantenimiento de humedad durante periodos secos y a la formación de reservorios de agua**. Un ejemplo de lo anterior son los glaciares o los complejos lagunares en los cuales nacen importantes ríos, asegurándose de esta forma el abastecimiento de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para acueductos comunitarios y municipales, además de ser un potencial para la generación de energía hidroeléctrica y mecánica (Lorca, Soley y Boyano, 2015). Los sistemas fluviales, de riego, agua potable e hidroelectricidad de los países andinos, y por ende de Perú, dependen en gran medida de este servicio (Hofstede, 2002).

Otro aspecto importante es el fenómeno denominado paralización, que se convierte en una línea de investigación a profundizar, cuyos avances podrían establecer con más certeza hasta dónde descendían originalmente la puna y los glaciares andinos, y cuáles son las repercusiones de este cambio en la cobertura vegetal en un ambiente tan sensible (Laverde, 2008). Este fenómeno se refiere a la labor de actuación de estos ecosistemas de alta montaña como reguladores, actuando como freno a los impactos de los eventos extremos que ocurren de forma natural, pero cuya frecuencia está aumentando por efectos de los cambios en el clima. Dichos ecosistemas ejercen una barrera hídrica que frena la escorrentía en cabecera evitando fuertes crecidas e inundaciones y regulando por tanto la erosión, produciéndose una **regulación de las amenazas naturales**, dando lugar de esta manera a una reducción de desastres y catástrofes a escala local y en la parte baja de las cuencas. Este aspecto es muy importante en toda la cordillera, ya que todavía están presentes las catástrofes ocurridas durante el pasado siglo en la región.

En la actualidad, la laguna Palcacocha ha incrementado su volumen de almacenamiento y sigue represada por una morrena de material inestable. Esto supone una de las principales amenazas dentro de la Cordillera Blanca, ya que en la parte inferior de la



Figura 5. Nevado Contrahierbas y un cóndor (*Vultur gryphus*). Foto del autor.

cuenca se emplaza Huaraz, la ciudad más poblada de esta región montañosa y capital de Ancash.

Este servicio mencionado en la literatura se encuentra estrechamente relacionado con los suelos característicos de estos ecosistemas, y en especial los bofedales, los cuales al poseer alta concentración de materia orgánica y ser muy profundos, tienen la capacidad de retener agua y carbono, controlando posibles inundaciones y procesos erosivos (Hofstede, 2002).

En los estudios realizados con anterioridad, se expresa que la **regulación de la erosión** del suelo es otro de los servicios ecosistémicos de la puna, al permitir la regulación del ciclo de nutrientes y energía. Este servicio se relaciona con el servicio de regulación hídrica, ya que al regular el agua, se controlan las inundaciones y la erosión. Por su parte, los actores locales entrevistados no dieron demasiada relevancia a este servicio.

Respecto a la **regulación de enfermedades**, en la bibliografía consultada no se encontraron registros de este servicio. En contraste, varias personas de las comunidades locales afirman que uno de los mayores beneficios que reciben de vivir en la alta montaña es la buena salud por la excelente calidad del aire y la buena calidad de los alimentos que consumen. Podemos añadir que en ambos ecosistemas existen especies de fauna, como el cóndor (*Vultur gryphus*) o el puma (*Puma concolor*) que se alimentan de animales muertos que pudieran generar enfermedades (Figura 5).

Existen insectos propios de la puna que desempeñan el servicio de **regulación de plagas** en el ecosistema. El bajo reconocimiento de este servicio, tanto en la literatura como en la comunidad, puede deberse a que, dadas las condiciones climáticas de las tierras altas, las plagas no son tan frecuentes, lo cual genera poco interés científico y comunitario.

Los escasos insectos que habitan el ecosistema de la puna cumplen una **función polinizadora** para algunas plantas propias de esta zona (Mena, 2002), lo mismo que ocurre con la dispersión de semillas.

Finalmente, aunque los glaciares tropicales afectan marcadamente en menor medida el volumen de los océanos y de los niveles globales del mar, cambios en ella pueden afectar el balance energético del clima mundial. A escala global, según el National Snow and Ice Data Center (NSIDC), el aumento del nivel del mar responde a un efecto combinado entre la expansión térmica de los océanos y el deshielo de los glaciares.

### Servicios Culturales

El **turismo** es un servicio ecosistémico gracias a la belleza paisajística que alberga la Cordillera Blanca tal y como manifiestan la población local, el personal técnico del Parque Nacional Huascarán y los propios turistas. Desde un punto de vista técnico, considero que existe un alto potencial para constituir un “geoparque” donde el glaciario y el cambio climático fueran sus ejes principales, además de potenciar la educación ambiental. El Parque Nacional



Figura 6.1. Actividades de andinismo en el nevado Contrahierbas. Foto del autor.



Figura 6.2. Turistas en kayak en la laguna Parón. Foto del autor.



Figura 6.3. Turista en trekking bajo la luz de la luna, laguna Llaca. Foto del autor.

Huascarán recibe cerca de 200,000 visitantes al año (Figuras 6.1, 6.2 y 6.3). El turismo es una actividad de gran importancia y genera el mayor ingreso económico para el área protegida y para los pobladores locales.

Las visitas al parque se han incrementado en los últimos años, por lo que, si se sabe regular y enfocar correctamente, podría beneficiar más a la población local sin dañar al medio. La regulación debe ser realista y poder llevarse a cabo para reducir los efectos negativos del turismo y acercarse a la

montaña de forma respetuosa. Entre las medidas más destacadas incluiría respetar la capacidad de carga ambiental del parque, respetar las condiciones laborales de la población local (especialmente arrieros y porteadores), elevar el porcentaje de beneficio que queda para la población local (actualmente las agencias son las que obtienen mayores ingresos) y crear un plan de gestión de residuos eficiente para la llegada de un número elevado de turistas.

Los valores paisajísticos de gran altura, junto con las aguas termales y zonas arqueológicas (pinturas rupestres, centros ceremoniales, chullpas) hacen que el turismo sea la principal fuente de ingresos del parque nacional. Hay que recordar que tanto turistas que hacen rutas de aproximación, como montañeros que ascienden cimas tienen que pagar entrada al parque, además de arrieros y animales de carga en actividades de senderismo de varios días de duración.

Estos paisajes constituyen verdaderos escenarios que **inspiran tranquilidad**, animan el espíritu y conducen a la contemplación, el disfrute y bienestar de la población local y de los turistas. Por lo tanto, son necesarias políticas e infraestructura para que esta actividad se ejecute dentro de un marco ecoturístico, y que garantice el sostenimiento de los ecosistemas a medio y largo plazo. Las personas de las comunidades y las instituciones de la Cordillera Blanca mostraron su apuesta por el Ecoturismo como única vía para mejorar la calidad de vida de las personas por su riqueza de fauna, flora y paisajística. Quizás los primeros pasos en este camino se están dando en el glaciar Pastoruri, con la “Ruta del Cambio Climático” promocionada por el Parque Nacional Huascarán.

Es prioritaria la conservación de vestigios arqueológicos, sitios de interés histórico y cultural, y lugares sagrados relacionados con la cosmovisión de etnias indígenas y tradiciones de las comunidades. Entre ellos destacan las chullpas o torres funerarias, los caminos prehispánicos, las pinturas rupestres y los centros ceremoniales precolombinos, muy abundantes en toda la cordillera. Otro atractivo turístico que en la actualidad no se aprovecha correctamente son las innumerables fuentes de agua termal.

Por otro lado, estaría el **servicio asociado a valores estéticos**, reconocido por varios autores al afirmar que los ecosistemas de alta montaña tienen valores escénicos y atractivos. Además, la Cordillera Blanca posee los paisajes de montaña más espectaculares del



Figuras 7.1. Paisaje de media montaña de gran riqueza en la quebrada de Los Cedros. Foto del autor.



Figuras 7.2. Paisaje de alta montaña al lado de la laguna Llaca. Foto del autor.

planeta. Es decir, en la literatura consultada, se hace mención a la belleza paisajística de estos ecosistemas (Figuras 7.1 y 7.2).

Existe una sensación de bienestar general entre las personas de la Cordillera Blanca, al sentirse cómodas donde habitan, potenciándose de este modo el servicio ecosistémico de **sentido de pertenencia e identidad territorial**. Esto indica satisfacción por el paisaje que ven diariamente, incluso van a determinados lugares de la puna y lagunas glaciares en familia a recrearse dentro de su tiempo de ocio (Figura 8).



Figura 8. Mujer andina realizando sus labores diarias en un paisaje espectacular. Foto del autor.

Se observa que si los servicios ecosistémicos culturales son elevados, generando una identidad entre las personas que residen en el territorio, el grado de conservación es alto debido al vínculo afectivo al territorio y las personas que en él viven, es más, si las personas viven de la puna y la criósfera también trabajan en su conservación para poder continuar con su medio de vida (Lorca, Soley y Boyano, 2015).

Desde el punto de vista sociocultural, estas áreas montañosas han jugado un papel relevante con respecto a la relación ser humano-montaña, como **lugar sagrado** y de gran valor en mitos y leyendas. En la etapa prehispánica, la puna y la criósfera fueron consideradas por las poblaciones indígenas originarias un lugar sagrado, porque en él se concentraban los elementos fundamentales para la vida y el equilibrio del cosmos. En la actualidad, aunque con menor frecuencia que en el pasado, en la Cordillera Blanca se practican ceremonias religiosas relacionadas con lagunas, glaciares y montañas o *jircas* (semejante al término sur peruano de *apu*). Un ejemplo de ello es la celebración del Año Nuevo Andino o Inti Hiqay que se realiza en el sitio arqueológico Willkawaín (Paria, Huaraz) durante el solsticio de junio (Figura 9).



Figura 9. Celebración Inti Hiqay 2017 en el sitio arqueológico Willkawaín. Foto del autor.

Esto puede estar asociado a que las zonas montañosas en su conjunto suelen ser objeto de admiración, culto y misticismo para casi todas las culturas, dado lo complejo de acceder a ellas, a su intrínseca hostilidad y a los grandes procesos naturales que se desarrollan en estas áreas. Por ello, continuamente se celebran pagos a la Pachamama o rituales (Figura 10).

Además de su diversidad de productos, carnes y gran creatividad en la elaboración de sus comidas, la Cordillera Blanca presenta una gran diversidad gastronómica que es altamente nutritiva, destacando el



**Figura 10. Ritual andino con gran afluencia.**  
Foto del autor.

picante de cuy al estilo huaracino, el caldo de cabeza, el puchero, el matahambre, la patasca ancashina en olla de barro, la pierna de jamón ahumado o jamón serrano, el ceviche de chochos, la clásica pachamanca (Figura 11), tamales, humitas, los ricos postres y bebidas propias del lugar.



**Figura 11. Elaboración de pachamanca parcialmente debajo del suelo.** Foto del autor.

Dentro de las aguas de las lagunas de la Cordillera Blanca, aparece el cushuro (*Nostoc* sp.), una cianobacteria altamente nutritiva que cada vez está adquiriendo mayor importancia en la dieta local.

De manera reciente, una de las amenazas para el ecosistema son los restos de residuos inorgánicos existentes próximos a varias lagunas relacionados con el turismo y pagos en ceremonias.

El folklore y la historia musical de la Cordillera Blanca es de gran riqueza y hay algunos instrumentos como la chiska y la tinya que continúan usándose hoy en día. La tinya se fabricaba con la corteza del eucalipto, pero por razones de comodidad ahora se hace con el tronco de la *Puya raimondii*, mientras que el cuero del tambor debe ser del pellejo del burro. De ahí que los ejecutores de la tinya tengan una denominación particular y no ofensiva, son llamados “los burreros”, que en cada tocada le imprimen fuerza

acorde a la tonada de las melodías. La música para los *shacshas* es única y no debe sufrir variaciones como ahora lo hacen algunas agrupaciones, indicando que sus melodías van desde lo alegre y festivo hasta lo triste y melancólico, de acuerdo a cómo se va desarrollando cada festividad.

En cuanto a la historia arqueológica, la Cordillera Blanca corresponde al límite oriental de lo que históricamente fue el corregimiento de Huaylas. A la llegada de los españoles, la región era controlada por los incas, quienes habían incorporado al Tahuantinsuyo a las diversas etnias locales. Del período virreinal no quedan mayores restos en el departamento de Ancash, debido a la escasa importancia de los asentamientos coloniales y a los sucesivos terremotos que se han encargado de destruir el resto.

Tanto en la sierra como en la costa del actual departamento de Ancash, se han descubierto evidencias de antigua ocupación humana. La fecha más distante que registra la presencia del hombre data de aproximadamente 10,600 a.C. y corresponde a los hallazgos de restos humanos, instrumentos líticos y textiles en la Cueva de Guitarrero (distrito de Mancos, Yungay), además del más antiguo muestrario de cestería precerámica del continente. Importantes civilizaciones preincaicas desarrollaron en esta zona actividades como la arquitectura, la escultura monumental y la artesanía, cuyos testimonios son, entre otros, de las culturas Chavín, Recuay y Wari (Figura 12).



**Figura 12. Monolito prehispánico de la cultura Recuay en el Museo Arqueológico de Ancash, Huaraz.** Foto del autor.

Para finalizar, no hay que olvidar que en la actualidad se están realizando en la Cordillera Blanca estudios sobre el Camino Real Inka o Qhapaq Ñan de gran importancia histórica, lo que significa un servicio cultural más en la zona.

### *Servicios de Soporte*

Dentro de este grupo de servicios, aparecen los menos considerados por la población local, probablemente por su carácter intangible. Por esta razón, aunque son vitales para el funcionamiento del ecosistema y el suministro de los demás servicios ecosistémicos de los cuales se benefician directamente, no les resulta fácil reconocerlos (Tabla 1).

Entre estos, se encuentra el servicio ecosistémico de **formación de suelo**, el cual se relaciona con otros servicios como la provisión de agua, alimento, regulación hídrica y climática. La vegetación,

aunque escasa, es uno de los principales factores en la formación de los suelos, a través del proceso de acumulación de la materia orgánica. La evolución de este material orgánico es muy restringida debido a que las temperaturas bajas aletargan la actividad microbiana. Por esta razón, los procesos de formación de humus y la mineralización de los restos orgánicos ocurren de forma muy lenta y esto hace que la materia orgánica tienda a acumularse, parcialmente descompuesta, y que esté conformada por sustancias húmicas de baja polimerización y escaso vínculo con los coloides inorgánicos. Así se generan horizontes superficiales de gran espesor y de tonalidad oscura.

A pesar de no haber encontrado reporte en las fuentes a comparar, se infiere que el servicio de **ciclaje de nutrientes** debe desarrollarse en periodos prolongados, debido a las particularidades climáticas (bajas temperaturas, fuertes vientos, menor presión atmosférica) propias de estos ecosistemas (Laverde, 2008). Los microorganismos del suelo, que cumplen

**Tabla 1. Esquema de los servicios ecosistémicos hídricos y culturales de la Cordillera Blanca.**

<i>Ecosistemas</i>	<i>Servicios de abastecimiento</i>	<i>Servicios de regulación</i>	<i>Servicios culturales</i>	<i>Servicios de soporte o apoyo</i>
<i>Ecosistemas de Puna y Criósfera</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Captación y el almacenamiento de agua para agricultura y ganadería</li> <li>- Provisión de agua</li> <li>- Potencial para la generación de energía hidroeléctrica</li> <li>- Recursos genéticos o biodiversidad</li> <li>- Aprovechamiento de plantas medicinales curativas</li> <li>- El hielo del glaciar se utiliza para mantener productos perecederos.</li> <li>- Minería artesanal (material de construcción)</li> <li>- Aprovechamiento micológico</li> <li>- Pesca y piscicultura</li> <li>- Provisión de fibras, madera y leña</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulación del clima</li> <li>- Regulación hídrica (caudal hídrico de manera estable) y calidad de agua por parte de la puna y de los glaciares</li> <li>- Indicadores más evidentes del calentamiento global</li> <li>- Regulación de amenazas naturales.</li> <li>- Mantenimiento de humedad durante periodos secos y formación de reservorios de agua</li> <li>- Regulación de la erosión</li> <li>- Regulación de enfermedades</li> <li>- Regulación de plagas</li> <li>- Polinización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turismo</li> <li>- Valores estéticos paisajísticos</li> <li>- Sentido de pertenencia e identidad territorial</li> <li>- Significado religioso y espiritual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formación de suelo</li> <li>- Servicio de producción primaria</li> <li>- Servicio de mantenimiento de hábitat</li> <li>- Producción de oxígeno</li> <li>- Almacenamiento de CO<sub>2</sub></li> <li>- Ciclaje de nutrientes</li> <li>- Producción primaria</li> </ul>

**Fuente: Elaboración propia del autor.**

el papel de **descomponedores**, no representan la mayor proporción del conjunto de nutrientes en el ecosistema, pero pueden ser considerados como su principal agente transformador y como una fuente importante de alimento para las plantas durante sus ciclos de renovación.

La riqueza de especies durante las últimas etapas de la sucesión vegetal significa una mayor coexistencia, debido a la mejora en las condiciones edáficas y microclimáticas; esto se refleja en el éxito de un mayor número de formas de crecimiento, en el que dominan las rosetas, macollas y arbustos, formas con alta especialización en la captura, distribución, acumulación y liberación de recursos, así como en el desarrollo de mecanismos de protección de los meristemas o yemas de renovación.

El **servicio de producción primaria** en la puna es lento, debido a las condiciones de estrés a las cuales está adaptada la vegetación propia de estos ecosistemas altoandinos. Dichas condiciones son: baja presión atmosférica, alta radiación solar, bajas temperaturas y disturbios naturales relacionados con los fuertes vientos y las heladas.

En general, el servicio de **mantenimiento de hábitat** es reconocido tanto en la literatura como por las personas locales. Inicialmente, la bibliografía reconoce que estas áreas son importantes por la gran diversidad de fauna y flora que albergan. La intervención humana está causando disminución de la biodiversidad en ambos ecosistemas.

Como ya se ha indicado, los ecosistemas altoandinos de la Cordillera Blanca, inmovilizan nutrientes por la acumulación de una gran cantidad de hojas muertas adheridas a las plantas. Así, a nivel local, constituyen un importante porcentaje de los almacenes aéreos y en el suelo de carbono. Algunos estudios han estimado, con base en análisis realizados por expertos como Hofstede, una capacidad de retención hídrica de 10 m<sup>3</sup> por hectárea al día y una capacidad de **almacenamiento de CO<sub>2</sub>** aproximada de 1,000 toneladas de carbono por hectárea.

La **producción de oxígeno** es uno de los servicios más característico del ecosistema puna mediante fotosíntesis. Este servicio fue destacado por la población local como un servicio ecosistémico del cual se benefician a nivel local y global.

## Referencias

- Bamber, J. L. y Payne, A. J. (2004). *Mass balance of the cryosphere: Observations and modelling of contemporary and future changes*. Cambridge University Press.
- Baraër, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Condom, T., Bury, J., Huh, K.-I.,... Rathay, S. (2012). Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*, 58(207), 134-150.
- Hofstede, R. (2005). El manejo del páramo como ecosistema estratégico. [9 págs.]. V Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable de los Andes. San Salvador de Jujuy, Argentina.
- INAIGEM. (2017). *Expedición científica Huascarán INAIGEM 2017*. Nota Técnica 1. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- INAIGEM. (en prensa). *Inventario Nacional de Glaciares del Perú 2016*. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- Laverde, C. (2008). *Servicios ecosistémicos que provee el páramo de la cuenca alta del río Teusacá: Percepción de los actores campesinos y su relación con los planes ambientales en la vereda Verjón Alto, Bogotá D.C.* Proyecto de grado de ecóloga. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana.
- Lorca, P., Soley, R. y Boyano Sotillo, D. (2015). *Diagnóstico, identificación y valoración económica de servicios ecosistémicos, municipios de San Juan Nepomuceno y Santa Rosa de Cauca [Colombia]. Objetivo 2: Identificación de los actores directos e indirectos de la escala local, regional y nacional, que se benefician o afectan a los servicios ecosistémicos de las áreas protegidas del Municipio de Santa Rosa de Cauca*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, D.C., Island Press.

- Mena, P. (2002). La biodiversidad de los páramos en el Ecuador. *Memorias*, 1, 496-514. Paipa, Colombia, Congreso Mundial de Páramos.
- MINAM. (2015). *Guía de valoración económica del patrimonio natural*. Lima, Ministerio del Ambiente (MINAM).
- Rangel, J. O. (2002). Biodiversidad en la región del páramo: Con especial referencia a Colombia. *Memorias*, 1, 168-200. Paipa, Colombia, Congreso Mundial de Páramos.
- Segovia, A. (2014). *Caracterización glaciológica de Chile y valoración de servicios ecosistémicos de glaciares en base a mercados reales (estudio de caso del Monumento Natural El Morado)*. Tesis de magíster. Santiago, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- UGRH. (2014). *Inventario de glaciares del Perú*. Huaraz, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH), Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Vuille, M. (2007). *Climate Change in the tropical Andes - Impacts and consequences for glaciation and water resources. Part II: Climate and Glacier Monitoring*. Amherst, University of Massachusetts.
- Young, K. R. y Lipton, J. K. (2006). Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic Change*, 78(1), 63-102.

---

## Políticas Públicas y Educación Rural en la Sierra del Perú: Construyendo Alternativas (2<sup>da</sup> Parte) – Ecosistemas de Montaña: Las Bases y los Fundamentos para un Sistema Educativo Propio

Public Policies and Rural Education in the Highlands of Peru: Constructing Alternatives (Part 2) - Mountain Ecosystems: The Basis and Foundations for Their Own Educational System

Antonio Guerrero Villar<sup>1</sup> y Rosa Paz Soldán Villarreal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Investigadores independientes*

### Resumen

Con el fin de dar continuidad al tema de la educación rural y su incidencia directa en los ecosistemas de montaña de la sierra peruana (ver Guerrero y Paz Soldán, 2017), en esta segunda parte, los autores presentamos una propuesta educativa alternativa enfocada a alcanzar un sistema educativo propio. El sustento de la propuesta se encuentra, en primer lugar, en las bases conceptuales que sustentan la intención, el interés y el objetivo de apostar por un modelo educativo que aporte al desarrollo humano integral de peruanos y peruanas, especialmente de las zonas rurales andinas. Se trata de transformar la institución educativa para convertirla en gestora del desarrollo rural sostenible y la conservación de los ecosistemas de montaña, con una visión de largo plazo y de mejora continua.

El primer paso es proponer un sistema educativo que articule al sistema natural con el sistema social a través de los sistemas productivos, el que actuará como bisagra. Su comprensión y aplicación se constituirá en la unidad fundamental de la formación integral de las nuevas generaciones. Para esto, se plantea involucrar a los estudiantes en la gestión de la actividad productiva, evitando de esta manera que el desarrollo de la vida de la comunidad y el desarrollo de la escuela vayan en direcciones distintas. Debido a que la vida cotidiana y la generación de cultura y conocimiento están estrechamente vinculadas a los procesos productivos de la comunidad, se propone como premisa inicial la articulación sociopedagógica de la escuela con la producción, considerando al “trabajo” como elemento de realización personal.

Estas ideas se plasman a través de una alternativa curricular que conduce hacia una nueva escuela, para ello se plantea el desarrollo de un **Sistema Ecológico Productivo Escolar**, en el que se rescatan

los principios de la agricultura ecológica, es decir una agricultura que no degrada los recursos productivos de los ecosistemas, en un marco de logros, actividades y aprendizajes significativos y permanentes.

**Palabras clave:** *Modelo educativo, sistema educativo rural, educación para el trabajo, producción, agrocentrico, sistema agroecológico, sistemas productivos, calidad educativa, desarrollo sostenible*

### Abstract

In order to continue the theme of rural education and its direct impact on the mountain ecosystems of the Peruvian highlands (see Guerrero and Paz Soldán, 2017), in this second part, the authors present an alternative educational proposal focused on achieving an educational system appropriate to mountain ecosystems. The sustenance of the proposal is, first of all, in the conceptual bases that sustain the intention, the interest and the objective of betting on an educational model that contributes to the integral human development of Peruvians, especially of the rural Andean areas. It is about transforming the educational institution to become a manager of sustainable rural development and the conservation of mountain ecosystems, with a long-term vision and continuous improvement.

The first step is to propose an educational system that articulates the natural system with the social system through the productive systems, which will act as a hinge. Its understanding and application will constitute the fundamental unit of the integral formation of the new generations. For this, it is proposed to involve the students in the management of the productive activity, avoiding in this way that the development of the life of the community and the development of the school go in different directions. Because daily life and the generation of culture and knowledge are closely linked to the productive

processes of the community, the socio-pedagogical articulation of the school with production is proposed as an initial premise, considering “work” as an element of personal fulfillment.

These ideas are expressed through a curricular alternative that leads to a new school, for which the development of a **Productive Student Ecological System** is proposed, in which the principles of ecological agriculture are rescued, that is to say, an agriculture that does not degrade the productive resources of the ecosystems, in a frame of achievements, activities and significant and permanent learning.

**Keywords:** *Educational model, rural educational system, education for work, production, agrocentric, agroecological system, productive systems, educational quality, sustainable development*

## Presentación

Este artículo está enfocado en una de las conclusiones medulares de la Primera Parte (Guerrero y Paz Soldán, 2017), en la que se destaca la necesidad de que la política pública peruana proponga especificaciones mucho más precisas en los procesos educativos para la zona rural de la sierra que incida en mejoras de la calidad de la formación integral de los niños y jóvenes campesinos desde la realidad específica de sus ecosistemas de montaña y sus potencialidades para el desarrollo sostenible y hacer más eficiente el gasto público de la educación rural. Se proponen lineamientos estratégicos y bases conceptuales para el diseño de una propuesta educativa idónea para estas zonas y la población que las habita, con el fin de alcanzar los fines esenciales de un proceso educativo orientado al desarrollo sostenible, fundamentalmente sobre una base económico-productiva propia de las comunidades rurales y su articulación con la región, el país y el mundo entero.

A través de esta propuesta se pretende lograr la realización de las mejores posibilidades de desarrollo humano a partir del propio desarrollo, y como consecuencia de ello apostar por una educación coherente, que se exprese desde y en la intencionalidad de la misma, como idea rectora

que oriente la praxis de los actores de la educación y dinamice la formación integral de las nuevas generaciones, de los y las estudiantes como personas y miembros de una sociedad -con la que contribuya para su transformación reconstructiva en beneficio de las mayorías-, en una perspectiva de desarrollo autosostenible y de sólidas bases democráticas.

## Bases Conceptuales

Como es nuestro interés y objetivo apostar por un modelo educativo que aporte al desarrollo integral y humano de peruanos y peruanas, especialmente de las zonas rurales andinas, es que decidimos enfocar la base conceptual de la presente propuesta en el planteamiento de transformar la institución educativa, convertirla en gestora del desarrollo rural sostenible y de la conservación de los ecosistemas de montaña, con una visión de largo plazo. Para ello, partimos de la premisa de que la relación institución educativa - producción, es un concepto que debe ser planteado en el marco de la relación educación - investigación - desarrollo sostenible. De esta manera, la relación educación - producción, dejaría de ser una relación coyuntural y transitoria (Guerrero, 2001). A esto sumamos el rol del trabajo como agente de realización personal, en este sentido se propone tener claridad y estar actualizados en temas clave como desarrollo sostenible, calidad educativa, comunicación en educación, trabajo cooperativo, equidad, interculturalidad, conciencia ambiental, desarrollo de capacidades y actitudes, entre otros.

Cabe mencionar el respaldo normativo nacional e internacional que convoca a esta propuesta, como los Objetivos del Milenio, las Metas de Dakar (UNESCO, 2000) y el Plan de Educación para Todos, entre otros. Además, la Declaración de Incheon (República de Corea / Corea del Sur) del Foro Mundial Sobre la Educación 2015: “Educación 2030: Hacia una educación inclusiva y equitativa de calidad y aprendizaje a lo largo de la vida para todos”, basada en la Agenda para el Desarrollo Sostenible al 2030-ODS, Objetivo 4.<sup>2</sup> También es pertinente mencionar que, en el Perú, la normativa educativa se sustenta en la Política 12 del Acuerdo Nacional 2012-2021, *Acceso Universal a una Educación Pública Gratuita*

<sup>2</sup> Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), la Declaración de Incheon es la base de las nuevas metas educativas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que ratificaron las Naciones Unidas en septiembre de este año. Esta se aplicará con el «Marco de Acción Educación 2030», que es la hoja de ruta que los gobiernos adoptarán en noviembre de 2015 y servirá de guía para poner en marcha marcos legales y políticos efectivos para la educación.

y de Calidad y Promoción y Defensa de la Cultura y del Deporte, así como en la Ley General de Educación 28044-2003,<sup>3</sup> y el Proyecto Educativo Nacional (PEN) al 2021 (CNE, 2007). Asimismo, se cuenta con un perfil de egreso consignado en Currículo Nacional de la Educación Básica 2017<sup>4</sup> del MINEDU que expresa, visibiliza y da forma al derecho a la educación de nuestros estudiantes al expresar las intenciones del sistema educativo.

Entonces, a partir de la premisa inicial sobre la relación escuela - producción y de considerar “al trabajo como elemento de realización personal” (Esquivias, 2014), este no puede quedar fuera del quehacer de la escuela, porque es fundamental en la vida, y la escuela debe educar para la vida; el trabajo es en sí mismo educativo - formativo, cuando transforma y reacomoda la naturaleza sin destruirla (Guerrero, 2001), generando beneficios sociales y económicos para la satisfacción de las necesidades de la población. Desde esta perspectiva, resulta imperativo insertar los procesos productivos de la comunidad en la vida de la escuela para que puedan ser asumidos como prácticas culturales cotidianas que armonicen con la concepción de desarrollo de la comunidad.

La vida cotidiana y la generación de cultura y conocimiento están estrechamente vinculadas a los procesos productivos de la comunidad, de ahí la necesidad de la integración del calendario escolar con el calendario productivo (el calendario de la vida), y de que la escuela se organice como un centro de producción de bienes y de saberes (Guerrero, 2001), como parte integrante de todo el sistema productivo de la comunidad. Los intercambios dentro de los centros de producción son fluidos y la escuela no puede ni debe sustraerse de ellos.

Es importante reflexionar sobre la importancia de involucrar a nuestros estudiantes en la gestión de la actividad productiva, evitando de esta manera que el desarrollo de la vida de la comunidad y el desarrollo de la escuela vayan en direcciones distintas; entonces, desde este punto de vista, se plantea la necesidad de “reordenar la escuela en función de la vida comunal y nunca al revés”, como se pretende con el sistema

educativo actual. En consecuencia, la tarea pendiente es conseguir que la escuela se convierta en el eje articulador -en tanto mediador e interrelacionador- de la educación con las otras instancias del accionar de la población rural, como las económicas, productivas, culturales, sociales y de gestión.

Es imprescindible que una educación moderna que asume cabalmente su ruralidad tenga en cuenta “la influencia del ambiente y de los ecosistemas locales en el desarrollo del pensamiento ecológico” (Margalef, 1981).

La producción en la escuela tiene que ser vista como parte de una estrategia pedagógica, puesto que el rol productivo es fundamentalmente educativo. Este rol hace que el trabajo sea de interés para los alumnos y profesores, en tanto es un excelente medio para educarse y al mismo tiempo generar importantes recursos. Es así como proponemos asumir el trabajo como un eje de la acción educativa, generando innovaciones en los contenidos, la metodología, los medios y materiales educativos, los sistemas de evaluación, etc. Desde esta perspectiva, el aprendizaje de los alumnos con la mediación del docente necesariamente debe partir del conocimiento de una realidad en la vida comunitaria, incorporando en sus contenidos el conocimiento andino, la experiencia del hombre campesino, la problemática ecológica y social, etc., lo cual permitirá identificar el carácter agrocéntrico de la cosmovisión andina (Guerrero, 2001), con reconocido respeto por la naturaleza.

Esta perspectiva permitirá a los actores de la educación formal analizar el enorme deterioro de los principales recursos naturales –base fundamental de los sistemas productivos andinos-, sus causas y consecuencias, que se expresan en la erosión de los suelos, el sobrepastoreo, la deforestación indiscriminada y el inadecuado manejo del agua, la cultura de las quemadas de amplias extensiones (incendios). En tal sentido, un aspecto importante es el estudio de los suelos y sus capacidades productivas, a fin de conocer su adecuada vocación silvo-agro-pecuaria, es decir, una correcta zonificación ecológica económica (ZEE) dentro de un adecuado ordenamiento territorial.

<sup>3</sup> Ministerio de Educación (2003). Ley General de Educación N° 28044. Lima, MINEDU.

<sup>4</sup> Currículo Nacional de Educación Básica 2017, aprobado por Resolución Ministerial N° 281-2016-MINEDU, Lima, 2 de junio de 2016.

Por ello, a la luz de la situación actual, es indispensable el involucramiento de la escuela en el rescate de las tradiciones culturales y conocimientos andinos para su adecuado aprovechamiento y para la utilización de los recursos de uso común, así como en los arreglos institucionales para su manejo y sus resultados. Esto es así porque “un balance histórico sobre las relaciones entre la sociedad y la naturaleza como sistemas integrales de interdependencia mutua resulta fundamental para la formulación de una estrategia que pretende organizarlos como un todo armónico y holístico, a través de un tercer sistema constituido por la organización productiva, que funge de bisagra entre ambos” (FAO-MINAG-ENF, 2002).

Como unidad fundamental de la formación integral de las nuevas generaciones, la escuela debe articular eficientemente los tres sistemas que interactúan en la realidad rural, es decir, el sistema natural, el sistema social y los sistemas productivos (ver Figura 1), complejizándose y abarcando cada vez más elementos de los mismos, en la medida en que los alumnos avanzan en su maduración y el redescubrimiento de su realidad. El estudio de estos sistemas debe estar convenientemente orientado hacia los paradigmas de desarrollo establecidos por la sociedad local, la región, el país y el planeta.



**Figura 1.** Los principales sistemas que interactúan en la comunidad.

En consecuencia, la educación que se constituye en un factor fundamental para la consolidación de cualquier proyecto de sociedad y de desarrollo sostenible para el país (Guerrero, 2001) o una determinada región, debe estar atenta a las demandas sociales y ambientales, a las aspiraciones y expectativas de desarrollo y a las condiciones políticas actuales. Además, debe estar orientada a estimular el pensamiento crítico-analítico, la iniciativa individual

y colectiva con capacidad transformadora a través de habilidades para la comunicación (oral, escrita y electrónica) y el razonamiento lógico, indispensables para el aprendizaje de otras destrezas más complejas que conduzcan, finalmente, al autoaprendizaje continuo y permanente, permitiendo el análisis de problemas, evaluación de procesos y resultados y la consiguiente toma de decisiones, (Guerrero, 2001). Y todo ello, siempre con criterios de mejora permanente.

En los espacios rurales de la sierra, la arquitectura social es compleja y multidimensional. Comprende la articulación de diferentes ámbitos de la realidad, los cuales se influyen mutuamente, de modo que cada uno de ellos requiere la presencia de los otros para existir, manifestarse y sostenerse en el tiempo. Son interdependientes, ya que lo que produce una esfera constituye los recursos de la otra y, de esta manera, se construye el andamiaje de los varios niveles del sistema. Así, cada ámbito de la realidad tiene una instancia de gobierno, con una dotación determinada de recursos, funciones y resultados, de acuerdo con el nivel, escala, temporalidad y naturaleza de las actividades que le corresponden, en relación con otras esferas de la realidad (Amat y León, 2006).

La educación, en tanto es configurada como un sistema integral (holístico), debe ser la principal generadora de saberes y habilidades para el trabajo productivo y la gestión empresarial, unida al acceso de los avances científicos – tecnológicos. Asimismo, debe tener una disposición para aceptar la diversidad y la autonomía, con una práctica de aceptación y respeto de nuestra heterogeneidad/biodiversidad, de nuestras tradiciones, de las prácticas y visiones del mundo, de la cultura, la ideología y las tecnologías, superando concepciones anacrónicas “pedagógicas”. Se refuerza así la socialización del alumno, potenciando sus capacidades y proveyéndolo del instrumental básico para el aprendizaje significativo y permanente (Guerrero, 2001), para que luego, progresivamente, pueda iniciar sus propios procesos de investigación científica, que atiendan la demanda de conocimientos y de tecnología de su entorno.

La utilización de un método pluridireccional, variado y participativo, dentro de un ambiente físico y psicológico familiar y adecuado es elemental para los niños y jóvenes, en el cual los canales de comunicación fluyen del profesor a los alumnos y viceversa, y de alumno a alumno. El método redefine el rol del profesor como mediador y facilitador de

la acción de los aprendizajes a nivel individual y grupal, lográndose entonces que las estrategias, metodologías y técnicas como el diálogo o el trabajo en equipo logren una interacción efectiva para una permanente práctica de educar y la motivación para el aprendizaje permanente y durante toda la vida, en y para la democracia. Sólo así, contribuirá de manera significativa a la convicción -en los actores educativos- de que la democracia se aprende en la práctica, en el ejercicio real (Guerrero, 2001), y deja de ser una entelequia de los procesos electorales. La democracia no puede entenderse sólo como el acto electoral.

Una concepción moderna de educación pretende edificar en la sociedad el progreso de la condición humana, la igualdad de oportunidades, derechos y responsabilidades para todos y todas y la innovación tecnológica y científica. En este sentido, surge la necesidad de contar con un currículo con esta perspectiva, que estimule la diversidad sin dejar de salvaguardar el sistema como tal. Todas las opciones que ofrece el sistema deberán tener realmente un valor educativo en sí mismas y motivar la autoeducación permanente y las modificaciones profundas que permitan la preparación para el cambio. Asimismo, deberán ser una ayuda para que todos y todas puedan asumir mayores responsabilidades individuales, así como lograr autonomía y una toma de decisiones siempre con fines de mejora continua.

En ese marco, pensando en el currículo para formar éticamente a la persona, desarrollar valores humanos en los estudiantes, aprender sobre la democracia y para vivir democráticamente, el currículo es una oportunidad educativa. Sin embargo, el currículo, por sí mismo no tiene algún efecto sobre los aprendizajes y sobre las actitudes; son los maestros quienes, al hacer uso de él, utilizan sus recursos profesionales y materiales (metodologías, recursos, didácticas, textos) para el logro de los propósitos expresados en el currículo (Uribe, 2017).

Por lo tanto, el currículo escolar debe estar vinculado con el ser ciudadano que es el gestor de su destino, responsable de sus actos, capaz de crear riqueza, solidario con los otros, comprometido con su comunidad, protector del ambiente y capaz de vivir en armonía con la naturaleza. Un individuo con esas cualidades y capacidades no se muere de hambre, no es un problema para nadie. Más bien es un impulsor del desarrollo (Amat y León, 2006).

Por otro lado, la ecología, tal como la estamos planteando, acepta la posibilidad de comprender la naturaleza y no puede limitarse a una simple descripción o a tratar pequeños problemas técnicos triviales, excusándose siempre en que la complicación inabarcable de la naturaleza requeriría estudios que nunca se acabarían para enfocar adecuadamente cualquier problema práctico importante, sino que ha de tener como meta exponer de manera simplificada y comprender, hasta donde sea posible, el funcionamiento de la naturaleza (Margalef, 1974).

Estos factores influyen profundamente sobre el currículo, que deberá centrarse no únicamente en el estudio de un saber constituido, sino que deberá optar también por el nuevo conocimiento ligado estrechamente al trabajo social y productivo, en el marco de un *pensamiento ecológico* bien estructurado, respondiendo a los requerimientos de la comunidad, es decir, el saber hacer, a través del cual es posible que el educando conozca y administre las leyes que gobiernan a la naturaleza y la sociedad. Un currículo que permita desarrollar destrezas y habilidades en los alumnos, los que asumirán un rol capaz de superar la división del trabajo manual del trabajo intelectual, que conduzca a lograr la capacidad de actuación necesaria para transformar los sistemas productivos y la sociedad, **para hacer producir a la naturaleza sin destruirla**, es decir revertir el círculo vicioso de destrucción hacia un círculo virtuoso de recuperación y conservación de los ecosistemas naturales, tal como se muestra en la Figura 2, garantizando la sostenibilidad de los procesos de desarrollo.



Figura 2. El ciclo virtuoso del desarrollo sostenible.

De esta manera, se concibe a la educación como transformadora de la realidad, es decir se convierte en una opción de cambio. Sin embargo, no es suficiente reconocer las necesidades de cambio, sino que se

debe actuar sobre ella asumiendo una determinada posición y dirección. En tal sentido, la diversidad regional constituye todo un desafío, pero representa también una posibilidad para la transformación de la educación. Entonces, la educación se puede convertir en el gran articulador de las variadas y ricas capacidades creativas, críticas y solidarias, de las diferentes creencias, ideologías, idiomas y culturas, no para anular la especificidad de cada una de ellas, sino más bien para potenciarlas y desarrollarlas en el esfuerzo común para forjar un sistema educativo con una nueva concepción y una nueva cultura, que redunden en beneficio de la región y del país.

El sistema educativo debe ser compatible y armonizar los sistemas naturales (ecosistemas) con los sistemas productivos para hacerlos sostenibles. En consecuencia, debe considerar a los ecosistemas como sistemas cibernéticos. Al respecto, cabe señalar que *“cada sistema es un conjunto de diversos elementos, compartimientos o unidades, cada uno de los cuales puede existir en muchos estados diferentes, de manera que la selección de un estado está influenciada por los estados de los otros componentes del sistema. Los elementos relacionados por influencias recíprocas constituyen un circuito recurrente o feedback. .... La información contenida en la naturaleza -porque la naturaleza es como es y no de otra manera- nos permite una reconstrucción parcial del pasado. Solamente carecería de pasado un universo hipotético compuesto de energía pura. En cualquier sistema material aparecen interacciones y mecanismos cibernéticos y, con ellos, acumulaciones de información. Los organismos constituyen un maravilloso ejemplo”* de cómo son los sistemas genéticos (autoorganizados) y la aún incomprensible cantidad de información que almacenan; *“pero este proceso de construir y transmitir historia no está restringido al mundo orgánico”* (Margalef, 1981), sino también al mundo inorgánico y al mundo artificial creado por el hombre.

En este sentido, *“la finalidad de los sistemas que existen de modo natural es la capacidad de persistir, y la persistencia es más aparente si la forma externa se conserva en el tiempo. Por ello, el conservadurismo parece ser una ley de la naturaleza, y los sistemas dotados de una mayor estabilidad de forma -en los que no se adicionan propiedades nuevas que no sean las esperadas- pueden ser considerados acertadamente*

*como los mejores canales de información. Ciertamente, a menudo la conservación de una forma o estado refleja tan sólo la falta de energía necesaria para que se produzca un cambio. En cualquier caso, sin embargo, se puede deducir que un sistema que pueda adoptar diferentes estados automáticamente permanece en, o adopta después de algún tiempo, el más estable de aquellos estados”* (Margalef, 1981).

En el caso de las sociedades agrarias, la articulación de lo social con lo natural no puede resolverse por la reducción de la formación campesina de autoconsumo a un “ecosistema humano”, inserto en el ecosistema general y articulado con el capital. Esta articulación no se concreta solamente en la sobredeterminación por el capital de la cultura y su medio ambiente, a partir del intercambio mercantil. Una formación campesina puede considerarse una “entidad mediadora” entre el modo de producción capitalista y la naturaleza; sin embargo, posee una estructura propia que especifica esta “mediación”. El problema radica en entender cómo se articulan los procesos y potenciales de la naturaleza -dependientes de la estructura del ecosistema- con las leyes sociales y las formas de organización cultural que regulan los procesos, así como las condiciones de acceso y apropiación de la naturaleza, y su articulación con los efectos del modo de producción capitalista o de otras formaciones dominantes (Leff, 1994).

Ahora bien, el ser humano, la sociedad y el medio ambiente (la naturaleza en general), son sistemas interactuantes, de los cuales es el hombre (las sociedades humanas) quien tiene la capacidad de crear y acumular conocimientos de manera consciente -tener conciencia de los mismos- pero no como una transcripción de otras realidades, ni memorización de las mismas, sino como conceptos, principios y teorías, que los sujetos construyen en su interacción con los otros sistemas. De esta manera, los individuos forman un esquema de acción como resultado de su experiencia (interacción con su medio), elementos que le permiten actuar en relación con éste, a través de procesos de asimilación y acomodación (Piaget e Inhelder, 2015).<sup>5</sup>

La asimilación está ligada a la formación de estos esquemas mediante los cuales el sujeto ajusta las observaciones que capta del medio -a través de sus sentidos- a un modelo interno que ha construido, a fin

5 <http://piaget.idoneos.com/index.php/294184>; [http://es.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Piaget#Asimilaci.C3.B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget#Asimilaci.C3.B3n)

de encontrar los significados de la nueva experiencia. La acomodación es la posibilidad que tiene el mismo modelo interno de ajustarse en la construcción de un nuevo modelo de acción, diferente del anterior. Se puede apreciar la complejidad del proceso de aprendizaje porque el sujeto que construye los esquemas de acción se ve precisado a actualizar su esquema previo y a confrontarlo con una nueva información (asimilación) y, por tanto, a modificar su esquema en el proceso de construcción de uno diferente (acomodación). Evidentemente, este esquema está definido por las condiciones históricas del individuo.

A modo de sustentar la importancia gravitante de la relación positiva y directa entre los aprendizajes y el medio socioambiental, recurrimos a Lev Vygotsky (Dixon, 2003), quien, a partir de la teoría de gobierno y trabajo de Karl Marx, que sostenía que las personas de una sociedad que trabajan juntas cooperativamente obtienen un mayor bienestar que el obtenido individualmente, dedujo que estas ideas debían aplicarse también a la psicología de niños, y que el desarrollo de los niños se debía considerar, siempre, enmarcado en el contexto del ambiente físico y social que lo rodeaba (mediación social en el aprendizaje). Destaca que el lenguaje —como estímulo social del medio ambiente— juega un rol esencial en el desarrollo de los procesos psicológicos superiores.

Para Vygotsky (Dixon, 2003), las habilidades típicamente humanas son el uso de herramientas —habilidad para usar parte del ambiente y resolver un problema— y el lenguaje —signos y símbolos que usan los humanos para comunicarse. Estos son adquiridos después de meses de nacidos como consecuencia de la maduración física y de los aprendizajes, producto de la interacción con el medio ambiente físico y social. Cuando ambas habilidades —que se desarrollan a ritmos distintos— convergen, logran entrar a los procesos psicológicos de alto nivel que solo son realizables por humanos. Considera la existencia de dos tipos de memoria, la natural o inmediata (sensorial) y la mediata (asistida por signos). Lo destacable es que el desarrollo de la memoria mediata se da entre los 8 y los 13 años, por lo que se sostiene que la mediación de los docentes ayuda a transformar progresivamente los signos que originalmente existen en el mundo externo, en signos

internos internalizados, logrando así alcanzar los procesos psicológicos del más alto nivel.

De este análisis, Vygotsky introduce el concepto de zona de desarrollo próximo para referirse a la brecha entre lo que uno puede hacer por sí mismo y lo que puede hacer con la asistencia de otros. A mayor zona de desarrollo próximo, mayor capacidad de moverse hacia niveles más altos de desempeño. La buena educación, para Vygotsky, es la que parte de la zona del niño, para agrandarlo, incrementando su nivel de desarrollo potencial. Podríamos afirmar, entonces, que las personas se desempeñan mejor cuando interactúan con otras personas, por lo que la educación basada en el logro académico individual, la competencia, debería reorientarse hacia el trabajo cooperativo, aprendizaje en equipo, educación centrada en el alumno, actividades que estimulen el aprendizaje por descubrimiento.

En esta propuesta educativa, la escuela, en su más amplio sentido, es **propedeútica**,<sup>6</sup> lo que significa que en ella se desarrollan las capacidades, valores y actitudes necesarios para actuar con eficiencia frente a la realidad, entorno y contexto. Se trata de la formación integral de los estudiantes a partir del trabajo productivo, lo cual implica que el trabajo tiene fines eminentemente educativos y está ligado a procesos sociales y económicos. Esta educación debe capacitar para tomar decisiones y actuar con capacidad crítica tanto en la vida cotidiana como en la búsqueda de soluciones a los problemas que tiene planteados la sociedad.

En ese sentido, la escuela formará a sus estudiantes para el logro de aprendizajes significativos a partir de su relación con su entorno para que alcance niveles competentes y su propia realización, procurando la interacción entre ellos y su medio ambiente motivándolo a su vez hacia una educación permanente y durante toda su vida; es decir, proponemos una educación ecológica integrada a la base productiva de la comunidad. En este marco, nos preguntamos si es pertinente el término Competente, ¿cuándo decimos que una persona es competente? Las *“personas saludables, con ciudadanía y valores, así como productivas, son competentes y, consecuentemente, actores efectivos de cambio para el desarrollo económico, sustentable y humano, teniendo como*

<sup>6</sup> Es el conjunto de saberes y disciplinas que hace falta conocer para preparar el estudio de una materia, ciencia o disciplina (<http://es.wikipedia.org/wiki/Proped%C3%A9utica>).

*base el incremento sostenido de la riqueza*”; “*en una educación que le da sentido a la vida*” (Vexler, 2017).

De esta manera, la escuela se convierte en un agente transformador de sujetos ciudadanos, de procesos y de estructuras; promotora del desarrollo sostenible de la comunidad de la cual es parte, siendo una unidad productiva de bienes y de servicios (económica, social y cultural) y productora de saberes: de cultura, de formas organizativas sociales y económicas, de tecnologías y de capacidades; además, mediadora e interrelacionadora con otras instancias económicas, productivas, culturales y sociales de la región.

En consecuencia, se propone un currículo alternativo organizado alrededor del trabajo productivo, el cual se funda en una relación recíproca de tres esferas: **escuela – producción/economía –**

**desarrollo sostenible**, como un reto por transformar la concepción educativa vigente y la propia realidad, teniendo como eje articulador el aprendizaje de los niños. Un currículo que se caracteriza por ser un sistema abierto, para cumplir un propósito: orientar el aprendizaje en forma sistemática en un determinado contexto de intervención, que recibe elementos de otros sistemas y aporta «productos», después de elaborarlos en sus unidades de procesamiento, plasmando adecuadamente la concepción de la educación que se está proponiendo.

Además, se considera pertinente aplicar cuidadosamente los principios pedagógicos de la formación de los niños y adolescentes, tal como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Los principios pedagógicos de la propuesta educativa.**

- 1°. La actividad es ley de la niñez. La personalidad humana se desarrolla solo en la actividad, por lo tanto, hay que acostumbrar al alumno a hacer, en la acepción de que es mejor saber hacer que sólo saber, que su aprendizaje sea de carácter activo y creador. Para ello, es imprescindible la correcta aplicación de los procesos del método científico, es decir, que el alumno debe aprender a observar, a comparar, a indagar e investigar, a experimentar, a analizar, a sintetizar, a clasificar, a esquematizar, a generalizar, etc.
- 2°. No adelantarle al niño lo que puede descubrir por sí mismo. Su aprendizaje se inicia por sus sentidos, que son la base para la comprensión de los objetos de la realidad y de sus manifestaciones, para luego ser estructurado significativamente. “No existe ninguna concepción en el intelecto humano que antes no haya sido recibida, totalmente o en parte, por los órganos de los sentidos” (Hobbes, 2000). Decirle al niño lo que puede redescubrir, es convertirlo en un recipiente de ideas ajenas, privándolo del placer de investigar y descubrir, lo alejaríamos de la costumbre o hábito de ayudarse a sí mismo, restándole confianza y seguridad. El docente no debe imponer sus ideas en la cabeza del niño, sino que debe asegurarse de que construyan sus propias ideas.
- 3°. Proceder paso a paso y acabadamente. La medida de la enseñanza no es lo que el maestro pueda enseñar, sino lo que el niño puede aprender y conviene que aprenda, con la orientación del docente.
- 4°. Que cada lección tenga un objetivo inmediato y otro mediato. El objetivo inmediato relacionado con la adquisición de conocimientos y el mediato conducente a la formación integral de la personalidad.
- 5°. Primero la síntesis, después el análisis. No seguir el orden del asunto sino el de la naturaleza. Del todo a las partes. El sistema vivencial es el único que respeta el orden natural.
- 6°. Pasar de lo conocido a lo desconocido, de lo simple a lo complejo, de lo concreto a lo abstracto, de lo particular a lo general. La facilidad del aprendizaje depende de la claridad que tenga el alumno de lo que se le enseña.
- 7°. El trabajo es personal, propio e intransferible de cada educando bajo la conducción del educador,

quien supervisa el autoaprendizaje y la consolidación del autoaprendizaje, por medios auxiliares diversos.

- 8°. Aprender se considera una tarea individual, en muchos aspectos lo es, indudablemente; sin embargo, no debe desconocerse la importancia del grupo en el aprendizaje, la importancia del aprendizaje social. El niño aprende de su profesor, pero también de la totalidad del grupo que lo rodea. A partir de la preadolescencia adquiere especial significado el grupo de pares, es decir, sus compañeros, sus amigos. De ellos aprende tanto o más que de sus profesores. En el grupo ajusta su conducta, comparte modelos, normas, intereses y aspiraciones. La educación se realiza por medio de tres procesos: por el proceso de culturización, el alumno asimila la cultura del grupo; por la individualización, desarrolla sus capacidades individuales; y por la socialización, adquiere conciencia de su yo y del yo de los demás, aprende modos, costumbres y normas, comprende prácticamente la organización social y adquiere un sistema de estatus que le permite comunicarse y actuar dentro de su realidad social.
- 9°. Las materias por desarrollarse deben ubicarse entre el alumno y la vida real, promoviendo la integración de las asignaturas alrededor de un aprendizaje aplicado a los procesos productivos de la comunidad, los cuales son instrumentos que posibilitan el mejor desarrollo del niño y su más eficaz integración social.
- 10°. Interrelación entre la vida y las asignaturas o materias. La vida no puede estar al servicio del desarrollo de las asignaturas o materias, sino las asignaturas o materias deben estar al servicio de la vida.
- 11°. El trabajo como fuente de realización personal y social. El trabajo consciente y creador permite reconocer al alumno como elemento activo de su proceso de aprendizaje y al docente, su función directriz; estas condiciones conducen a la formación integral del educando. El trabajo y la producción son experiencias fundamentales porque son parte de la realización humana.
- 12°. El sistema productivo es un eje didáctico, alrededor del cual se agrupan los aprendizajes de todo tipo. Es en torno a esa realidad que el alumno observa, compara, distingue, explora, experimenta, abstrae, sintetiza, relaciona, clasifica y sistematiza. Mediante un proceso constante de asimilación y acomodación, se van estructurando los esquemas mentales que permiten al niño ordenar y comprender la realidad y actuar sobre ella (Piaget e Inhelder, 2015).

Finalmente, y con todo lo expresado, la escuela es el eje articulador de nuestra propuesta educativa y para alcanzar su misión, la **gestión educativa** “debe ser” de calidad (Vexler, 2017). Si bien el término no es muy fácil de definir, correspondería, para darle sentido objetivo, otorgarle carácter valorativo a la educación, así sí podremos aproximarnos a lo que es la **calidad educativa**. Ya la Ley General de Educación,<sup>7</sup> en su Artículo 13, da una definición que señala: “*Es el nivel óptimo de formación que deben alcanzar las personas para enfrentar los retos del desarrollo humano, ejercer su ciudadanía y continuar aprendiendo durante toda la vida*”. Asimismo, se considera la calidad en educación desde

un enfoque de derechos humanos, y, en ese sentido, se la concibe como un medio para que el ser humano se desarrolle plenamente y contribuya al desarrollo de la sociedad, transmitiendo y compartiendo sus valores y su cultura. Plantea la calidad como un concepto multidimensional, dinámico, que se relaciona con un modelo educacional, así como con la misión y fines institucionales. “*La calidad de la educación siempre está en el centro del debate y es una aspiración constante de los sistemas educativos en todos los países [...]. Se trata de un concepto con una gran diversidad de significados con frecuencia no coincidentes entre distintos actores porque implica un juicio de valor respecto al tipo de educación*

<sup>7</sup> Ministerio de Educación (2003). Ley General de Educación N° 28044. Lima, MINEDU.

que se quiere para formar un ideal de persona y de sociedad" (UNESCO, 2007).

Se parte del principio que la calidad educativa es posible cuando se tiene claro quién es el beneficiario, es decir, las particularidades socioemocionales e intelectuales-cognitivas, así como las necesidades fundamentales de los estudiantes, de acuerdo con su desarrollo evolutivo, y teniendo en cuenta sus respectivos entornos.

Sobre esta base, se plantea que un concepto de calidad en educación considera cinco dimensiones esenciales que se encuentran estrechamente relacionadas, al punto que la ausencia de alguna de ellas implicaría una concepción equivocada de la calidad de la educación dentro de un enfoque de derechos humanos. Estas cinco dimensiones son equidad, relevancia, pertinencia, eficacia y eficiencia. De estas dimensiones, es la *pertinencia* una dimensión especialmente importante para nuestra propuesta; ella se sustenta en que el centro de la educación es el estudiante, por lo que es ineludible considerar su propia idiosincrasia en los procesos de enseñanza y aprendizaje. De esta manera, se asume la diversidad de educandos que hoy integran los sistemas educativos, en sus distintos niveles, haciéndose cargo de la gran heterogeneidad de los mismos para construir una propuesta educativa que permita la apropiación de aprendizajes significativos para todos.

Es así como la educación debe ser flexible y adaptarse a las necesidades, intereses y características de las personas, en sus diversos contextos sociales y culturales. Entonces, la atención educativa a la heterogeneidad es un atributo de calidad educativa fundamental en nuestros tiempos. Por eso, los currículos deben ser diversificados, más aún en los ámbitos rurales e interculturales bilingües, así como de frontera y marginales.

### La Alternativa Curricular: Hacia una Nueva Escuela

Como se ha mencionado reiteradamente, una de las principales preocupaciones de la comunidad rural es la producción, y en la medida en que satisfaga sus necesidades y cubra sus expectativas, con estos elementos, un pueblo define su potencial de desarrollo. Por lo tanto, la educación no puede estar al margen de esta situación, más aún en un área eminentemente rural, cuyas actividades económicas principales giran

alrededor de la agricultura, la ganadería, la forestaría y la progresiva transformación de sus productos con algún valor agregado (no necesariamente monetario).

Consecuentemente, se está abordando la propuesta de una educación orientada hacia el manejo sostenible de los recursos naturales a través de los principales sistemas productivos de las comunidades rurales. Entonces, como unidad básica de aprendizaje curricular se plantea el desarrollo de un **Sistema Ecológico Productivo Escolar**, en el que se rescatan los principios de la agricultura ecológica, es decir una agricultura que no degrada los recursos productivos de los ecosistemas. Se plantean, además, nuevas estrategias pedagógicas, en las que los espacios y medios productivos se constituyan en experiencias de aprendizaje para la formación integral del educando y, de ninguna manera, como actividades extracurriculares, como se les considera actualmente. En tal sentido, se rompen los roles tradicionales de la enseñanza, presentando un nuevo enfoque sobre el proceso educativo como un factor de desarrollo personal y social, proporcionando vivencias que faciliten al alumno la aplicación de los conocimientos y destrezas adquiridos en el trabajo práctico y en la actividad diaria como medio de solución a problemas concretos y de planteamiento de alternativas, aprovechando su propio potencial como el del medio que lo rodea. Ingresando de esta manera criterios de valor a los componentes de su realidad y de él mismo como persona en su quehacer cotidiano, en la importancia del saber hacer como el del querer hacer.

El docente, de manera permanente fomentará una actitud positiva hacia el trabajo, destacando su rol social, estimulando la creatividad y planificando con los propios alumnos los trabajos a realizar. Es importante, además, aplicar el trabajo en los niños, ajustándose a las características psicológicas del mismo, conceptuándolo como un servicio, dándoles la oportunidad de participar en situaciones sencillas de trabajo colectivo. Se trata pues, de revalorar el trabajo, como un elemento de soporte de la formación integral de los futuros ciudadanos. En consecuencia, la necesidad de contar con un Espacio Pedagógico-Productivo en la escuela se plasma en el Sistema Ecológico Escolar Productivo como un punto de partida de diseño básico, constituyéndose en una excelente posibilidad para concretar sus fines.

Se trata, además, de hacer de la escuela una fuente de innovación tecnológica, es por ello que se

propone incluir, como parte importante del sistema, la **lombricultura** (que puede variar a cualquier otro componente, dependiendo de las condiciones de la localidad), la misma que se constituye en una especie de eje productivo, para con ello obtener uno de los mejores fertilizantes conocidos: **el estiércol de lombriz**, que permitirá a su vez, abonar **la huerta escolar, el vivero forestal escolar y la chacra escolar**. Además, las lombrices sirven de alimento directo para otras unidades productivas, como son **las aves y los peces**. Por otra parte, las lombrices requieren de alimento, al respecto se ha determinado

que el mejor alimento que se tiene es el estiércol de **cuy y conejo**, así como el de ganado mayor, previamente descompuesto. Esta unidad básica de generación de conocimiento y aprendizaje debe estar estratégicamente organizada respondiendo a las condiciones concretas de la escuela y su entorno, en la que se reciclan indefinidamente la energía y la materia, organizada tal como se muestra en la Figura 3. Simple y sencillo, al alcance de todos, pero que puede ir complejizándose progresiva e ilimitadamente.

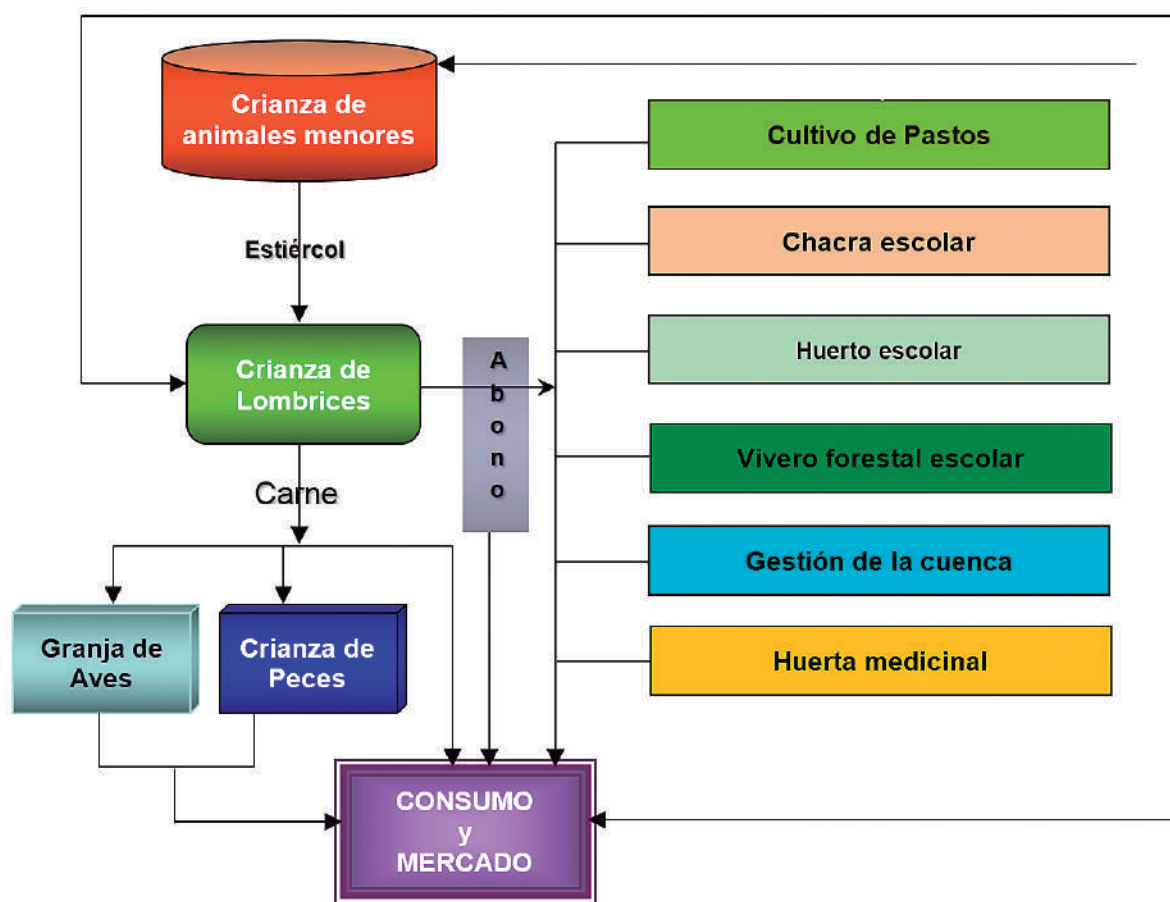


Figura 3. La base del modelo educativo: El Sistema Ecológico Productivo Escolar.

Este diseño básico centra la atención en el suelo como uno de los recursos más importantes para la producción, desterrando la utilización de abonos o fertilizantes químicos que han deteriorado de forma alarmante la calidad de los mismos, empobreciendo a los agricultores campesinos, a pesar de los esfuerzos del buen agricultor, que procura hacer una rotación regular de cultivos y la incorporación de materia orgánica y otras prácticas conservacionistas. En consecuencia, debemos preocuparnos por comprender al suelo como un **complejo vivo**, a partir del cual se cultivan las plantas, que dan inicio a la gran cadena alimenticia. El suelo está conformado por sustancias

minerales, microorganismos (principalmente bacterias y hongos), residuos orgánicos, aire y agua necesarios para el crecimiento de las plantas. Siendo el suelo el principal componente de la producción de alimentos, es aconsejable la adopción de fertilizantes orgánicos, en tal sentido el abono de lombriz es una de las mejores alternativas.

Lo destacable de este diseño, es la consideración cabal de conceptos sistémicos integrales y holísticos, elementos fundamentales en la formación integral de los educandos. Conceptos que convenientemente reivindicados, desarrollados y reforzados desde la

escuela, serán la base del accionar de los futuros ciudadanos que garanticen el desarrollo sostenible en las comunidades rurales.

Otro componente importante para la regeneración de los suelos degradados son los complejos micorrícicos (simbiosis entre especies de hongos y plantas superiores), en este sentido cobra especial importancia la **plantación forestal** para generar nuevos bosques.

Los **bosques** son de vital importancia para la restauración de los ecosistemas, son comprendidos como el recurso tutelar de los demás recursos. La sola presencia de los bosques (sean nativos o no) garantiza un mejor equilibrio ecosistémico, pues regulan convenientemente la disponibilidad de agua, inciden en la regulación de la temperatura y la humedad de la atmósfera, protegen los suelos (especialmente cuando tienen fuertes pendientes) reduciendo la erosión de los mismos, se purifica el aire capturando carbono e inyectando oxígeno. Además, los bosques consumen grandes cantidades de energía a través de la fotosíntesis, reduciendo el calentamiento de la atmósfera, mejoran el paisaje (favoreciendo al turismo) y generan condiciones favorables para el crecimiento de diversas especies de plantas y animales de gran valor económico y ecológico.

Finalmente, los **bosques** en sí mismos son una gran fuente de riqueza por su madera y otros productos, eso sí, cuando son adecuadamente manejados.

Volviendo a las micorrizas, estas son complejos simbióticos, siendo los más conocidos los constituidos por varias especies de hongos y otras tantas especies de pinos, que se ayudan mutuamente, por lo que las plantaciones de pinos resisten mejor las condiciones más adversas posibles (suelos pobres y sequías extremas). Es por ello que son una buena alternativa para la recuperación de los suelos extremadamente degradados que ahora, lamentablemente, abundan en nuestras montañas.

Un lugar muy especial también lo tiene el huerto escolar, que es un símil del tradicional huerto familiar, y que tiene las funciones siguientes (Sánchez y Tapia, 1992):

- Educativa, los huertos constituyen centros de observación primaria de los fenómenos de la naturaleza y de las actividades agrícolas

a pequeña escala. En el huerto, los niños reconocen algunos fenómenos biológicos, como las formas de propagación de las plantas, la época de floración y de fructificación. Además, capta las diferencias entre las plantas que cultiva y las plantas no útiles. Este aprendizaje asociado al manejo de herramientas agrícolas les permite ayudar en las labores del huerto, primero, y después, cuando su edad lo permite, en la “chacra”.

- Experimental, el agricultor cultiva en el huerto todo tipo de especies y variedades apropiadas al clima, en plan de observación y propagación. Entre los agricultores se establece un trueque de productos agrícolas y de cultivares, aprovechando para plantar en sus huertos las variedades que no posee. Después de haber observado las bondades del cultivo, las llevan a la “chacra” para su cultivo en mayores proporciones.
- Conservacionista, el huerto es el centro de mantenimiento y propagación de la diversidad biológica de plantas cultivadas en vías de domesticación. Los huertos, como se ha expresado, son de propósito múltiple y en ellos las arvenses constituyen un recurso útil.
- Ecológico, el huerto, con algunas excepciones, imita los ecosistemas naturales del piso ecológico donde se desarrolla, generando un microclima que favorece el desarrollo asociado de la vegetación. En las áreas de mayor precipitación y menor altitud, los huertos están conformados por tres estratos de plantas (hierbas, arbustos y árboles), en donde las dos últimas formas son generalmente perennifolias o de corto período de invernación (sic) en la estación seca. Si a este carácter se añade la forma ancha de las hojas de la mayoría de las especies del huerto, se comprenderá cómo se protege el suelo y se conserva la humedad, favoreciendo la descomposición de la hojarasca.

Y añadimos: el huerto familiar es un laboratorio vivo de investigación, motivador de la creatividad y la innovación, así como del trabajo y la disciplina y, finalmente, como fuente de recursos alimenticios.

En este sentido, el sistema productivo propuesto es una unidad de producción de saberes, de bienes y de

desarrollo de capacidades que articulado a los procesos productivos tradicionales de la comunidad, que se convierte en un agente de desarrollo socioeconómico y centro de confluencia de sujetos y agentes sociales, constituyéndose en el eje principal de la formación integral del educando. Es a estos procesos productivos a los que se articulan las llamadas ciencias básicas (lenguaje y matemáticas especialmente), así como las ciencias de la comunicación, la historia y las artes, entre otras; es decir, se desarrollan en la medida de los requerimientos que los procesos productivos plantean.

En buena cuenta, este sistema productivo-educativo propuesto, se caracteriza por lo siguiente:

- Los procesos productivos en todas sus facetas tienen un rol fundamentalmente educativo, se constituye en una estrategia pedagógica y en un estímulo de la realización personal de los principales actores de la educación (docentes, alumnos, padres de familia y comunidad en general) a través del trabajo innovador, la experimentación y la investigación.
- Redefine el rol del docente, asignándole una función de organizador y orientador del aprendizaje de los niños, a partir de los procesos productivos que se dan en los componentes del sistema.
- Los alumnos asumen una participación activa, directa y responsable, en cuanto intervienen en forma organizada en el planeamiento, la ejecución y la evaluación de los procesos productivos y pedagógicos.
- Los docentes programan su accionar educativo a partir del conocimiento y de las características psicológicas de los estudiantes, responde a sus edades y a las condiciones del contexto socioeconómico.
- Su organización está basada en la participación activa de todos los actores del sistema educativo: alumnos, docentes, padres de familia y comunidad. Espacio generador de liderazgos. No hay actores pasivos,
- La unidad productiva es promotora de desarrollo, porque se basa en sistemas productivos diversos de acuerdo con la realidad

local, innovándolos permanentemente a través de la investigación aplicada.

- El sistema se puede gestionar como una unidad empresarial, dando apertura a la proyección del análisis del mercado para los bienes y servicios de la unidad educativa, en función de la oferta y la demanda.

Respecto del tratamiento de una economía capitalista en la escuela, debemos asumir con mucho criterio y responsabilidad que la sociedad peruana vive y se desenvuelve en una economía de mercado, al respecto existe una **gran brecha** de conocimientos, de capacidades y de habilidades para que la sociedad rural pueda insertarse “competitivamente” a una economía de mercado (es decir, las bases y fundamentos del capitalismo), además con sus imperfecciones. La situación es de una complejidad impresionante, por eso es necesario tener en cuenta lo mencionado en conceptos tales como: “*Cuando la tasa de rendimiento del capital supera de modo constante la tasa de crecimiento de la producción y del ingreso, el capitalismo produce mecánicamente desigualdades insostenibles, arbitrarias, que cuestionan de modo radical los valores meritocráticos en los que se fundamentan nuestras sociedades democráticas*”; “*La historia de la distribución de la riqueza es siempre profundamente política y no podría resumirse en mecanismos puramente económicos*”; y “*La historia de las desigualdades depende de las representaciones que se hacen de los actores económicos, políticos y sociales, de lo que es justo y de lo que no lo es, de las relaciones de fuerza entre esos actores y de las elecciones colectivas que resultan de ello; es el producto conjunto de todos los actores interesados*” (Piketty, 2014).

La importancia pedagógica de una **educación para el trabajo** en la escuela es incuestionable. En tal sentido, no puede concebirse al margen de una concepción integral de la educación. Esto significa que la pedagogía de una educación para el trabajo debe orientarse hacia la potenciación de las habilidades y capacidades del educando y al cultivo de los valores éticos, que representan las fuerzas rectoras de la conducta del individuo y la manifestación de los caracteres de la personalidad humana. Debemos comprender que todos los recursos didácticos se cargan de afectividad educativa a través del trabajo práctico, en consecuencia, el aprendizaje debe estar organizado a través de **actividades significativas**,

que representen en los niños fuente y mecanismos de realización.

La didáctica moderna ha comprendido que la enseñanza debe realizarse activamente y que es perfeccionable a través de todas las áreas de un programa curricular; que la enseñanza incluye tanto la transmisión y la asimilación del saber, el desarrollo de capacidades, así como la formación y desarrollo de hábitos y aptitudes, de valores y actitudes. Por lo tanto, la metodología se centra en activar los procesos intelectuales y creativos para desarrollar habilidades básicas para la producción del saber, de los bienes y los servicios para la solución de problemas concretos. Tampoco se trata de producir por producir, hay que articularse a las necesidades de la comunidad y al mercado. Finalmente, los estudiantes deben “saber hacer” y “saber ser”, como parte fundamental de su realización personal.

El fundamento de la metodología de la educación para el trabajo es la actividad, mediante la cual se promoverá el aprendizaje de todos y cada uno de los actores educativos. No cabe duda de que a la escuela le compete un papel preponderante en la adquisición de hábitos de trabajo que cumple una función social, ya que mediante el trabajo puede realizarse el fenómeno educativo. Las diferentes actividades desarrolladas despiertan la atención del alumno creando un auténtico interés y un estímulo eficaz para alcanzar resultados inmediatos, pues los alumnos solamente aprenden bien lo que realmente les interesa, por lo que es necesario la adecuación de los contenidos a los intereses de los alumnos, interés que debe ser práctico, socializado e inmediato (para una mejor comprensión de este tema ver el recuadro: Los principios pedagógicos de la propuesta educativa, revisar el Cuadro 1).

Aquí es donde se incide en la pertinencia como una dimensión determinante de calidad de la educación que proponemos, por tanto, debe comenzar con un conocimiento psicológico-social de las capacidades, intereses y hábitos de los educandos. Cada etapa de la vida del niño tiene sus características y preferencias, nos corresponde ofrecer al educando elementos adecuados para satisfacer la fantasía y afán de crear, propios de su edad, para que el aspecto social y el psicológico puedan concretarse. Esto permitirá comprender lo que es posible esperar de los niños en

cada edad. Sin embargo, no todos responden a estas pautas generales, en algunos el ritmo de madurez es más lento, en otros, más flexibles o rígido; hay diferencias en aptitudes y puede haber otras derivadas de la calidad y cantidad de oportunidades educativas que se le han ofrecido a cada uno. En este sentido, es indispensable, además del conocimiento general de los alumnos, un conocimiento individual; sólo así la tarea educativa se asentará sobre bases reales, dando a cada uno lo que necesita.

En esta perspectiva, a la escuela, le corresponde una serie de responsabilidades, tales como:

- Crear las condiciones productivas para que el aprendizaje pueda realizarse con naturalidad y afectividad, sin forzar escenarios que pueden devenir en hostiles para los educandos.
- Establecer grupos con intereses comunes como sentido de participación, dependencia recíproca en la satisfacción de necesidades y habilidades para la acción.
- Aplicar el método y las técnicas que se adecuen a las actividades significativas de aprendizaje, a los distintos momentos del proceso de aprendizaje que mejor se adapten a las características del grupo y permitan a los educandos una mejor participación.
- Generar habilidades y capacidades para el trabajo productivo, para su propio desarrollo y el de su comunidad, convenientemente articulados a una economía de mercado.
- Evaluar permanentemente las dificultades y establecer de inmediato la acción correctiva para evitar nuevos inconvenientes.

“En particular, se busca dar más importancia a las llamadas ‘habilidades del siglo XXI’ o habilidades blandas, como son la colaboración, la comunicación, la creatividad y el pensamiento crítico” (Webb, 2017).<sup>8</sup>

La nueva educación requiere de la definición de un perfil de egresado de acuerdo con el estilo de vida, la organización social y el sistema productivo que se quiere crear. Por lo tanto, se tiene que elaborar

<sup>8</sup> <http://elcomercio.pe/opinion/rincon-del-autor/reeducamos-educacion-richard-webb-noticia-1982545?flsm=1>

contenidos y metodologías educativas para formar y ejercitar valores, actitudes, conocimientos y habilidades consistentes con este modo de vida y de sociedad, (Amat y León, 2006).

Por otro lado, se sugiere una apuesta por una orientación de autosostenimiento de la escuela, con un claro corte de conducción empresarial donde la competitividad y la innovación sí importan. Sólo con una innovación de esta envergadura, se considera que el Estado estaría cumpliendo con su rol y mandato asignado por la Constitución, para la prestación de este servicio que tiene claras características de “bien preferente” (Stiglitz, 2000); así, el gasto que realiza la familia campesina en la educación de sus hijos daría un importante viraje hacia un proceso de inversión económica, lo que le permitiría la progresiva recuperación de su capital, en especial del capital humano.

Hay que tener presente que “el principio de igualdad equitativa de las oportunidades no exige que se garantice a todas las categorías de ciudadanos la misma *probabilidad* de acceso a las diversas posiciones sociales: pide solo que las personas que tengan los mismos talentos tengan la misma *posibilidad* de acceso a estas posiciones, ... posibilidades iguales sólo se traducirán en probabilidades iguales si las concepciones de vida buena estuvieran repartidas de manera homogénea en las diferentes categorías sociales y los diferentes grupos étnicos, ... no hay ninguna razón para suponer que tal homogeneidad se instaure espontáneamente, y tampoco hay ninguna razón, bajo una perspectiva liberal, para querer imponer a todos la misma concepción de vida buena. Por ello se trata sólo de repartir igualmente las oportunidades y no las probabilidades”. “Además, sólo de trata de garantizar su igualdad *equitativa*. Aunque las instituciones, y en particular el sistema de enseñanza, deben excluir radicalmente cualquier forma de discriminación que sea arbitraria respecto de la eficiencia (Arnsperger y Van Parijs, 2002).

Nuevamente insistimos en un enfoque integral, articulado a una visión de país y de región, de manera que se consolide una buena política pública, que nos permita cerrar las enormes brechas existentes en la sociedad rural. Para ello, es imprescindible el enfoque estratégico. Una verdadera estrategia va mucho más allá de sólo coordinar planes y programas (Mintzberg, Quinn y Voyer, 1995). En el Acuerdo Nacional se menciona la Política de Estado N° 12:

“Acceso universal a una educación pública gratuita y de calidad y promoción y defensa de la cultura y del deporte” (Acuerdo Nacional, 2014), la misma que pretende implementarse con el Plan Educativo Nacional (PEN) que a duras penas avanza, pero que no tiene acciones concretas respecto de la educación rural tal como se la concibe en este artículo.

Bien, hasta aquí las reflexiones sobre la propuesta educativa alternativa en su concepción, están las bases y fundamentos, la tarea siguiente es diseñarla e implementarla, seguramente en un inicio a nivel piloto o experimental, para luego validarla y generalizarla. El proceso es largo, ya que como mínimo se tendría que esperar una generación completa, que sólo en el caso del nivel de primaria es de seis años, luego del cual se puede ensayar una evaluación de desempeño y realizar los ajustes respectivos para ir hacia la validación del nuevo sistema educativo.

Otra tarea es continuar con el análisis y la reflexión acerca del desarrollo que queremos como sociedad, trabajo de nunca acabar, dado el vertiginoso avance de las propuestas y la dinámica propia de la globalización del conocimiento, por eso mismo hay que tener un especial cuidado en el diseño de la propuesta, para que pueda adecuarse con facilidad a esta constante que es el cambio dinámico y permanente. Eso sí, hay que pensar estratégicamente.

## Referencias

- Acuerdo Nacional. (2014). *Acuerdo Nacional: Consensos para enrumbar al Perú*. Lima, Secretaría Ejecutiva del Acuerdo Nacional.
- Amat y León, C. (2006). *El Perú nuestro de cada día. Nueve ensayos para discutir y decidir*. Lima, Universidad del Pacífico.
- Arnsperger, C. y Van Parijs, P. (2002). *Ética económica y social: Teorías de la sociedad justa*. Barcelona, Paidós Ibérica.
- CNE. (2007). *Proyecto Educativo Nacional al 2012: La educación que queremos para el Perú*. Lima, Consejo Nacional de Educación.
- Dixon, W. E., Jr. (2003). *Twenty studies that revolutionized child psychology*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall.

- Esquivias, A. (2014). Antropología emocional. El trabajo como elemento de realización personal. En <https://antoniovillalobos.wordpress.com/2014/08/18/el-trabajo-como-elemento-de-realizacion-personal/>
- FAO-MINAG-ENF. (2002). Estrategia Nacional Forestal [Perú 2002-2021]. Versión concertada con instituciones y actores forestales. Proyecto FAO GCP/PER/035/NET: Apoyo a la estrategia nacional para el desarrollo forestal. Lima, FAO.
- Guerrero, A. (2001). *Lineamientos y estructura para el diseño de una estrategia nacional forestal*. Documentos de Trabajo 9. Proyecto FAO GCP/PER/035/NET: Apoyo a la estrategia nacional para el desarrollo forestal. Lima, FAO.
- Guerrero, A. y Paz Soldán, R. (2017). Políticas públicas y educación rural en la sierra del Perú: Identificando el problema (1ra parte) – La calidad del sistema educativo peruano en el área rural andina y su incidencia en los ecosistemas de montaña. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 2(2), 65-77.
- Hobbes, T. (2000). *Leviatán, o la materia, forma y poder de una república eclesiástica y civil* [2ª ed.]. México, Fondo de Cultura Económica (FCE).
- Leff, E. (1994). *Ecología y capital: Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable*. México, Siglo XXI Editores/Universidad Nacional Autónoma de México.
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Madrid, Editorial Omega.
- Margalef, R. (1981). *Perspectivas de la teoría ecológica*. Barcelona, Editorial Blume.
- Mintzberg, H., Quinn, J. B. y Voyer, J. (1997). *El proceso estratégico: Conceptos, contextos y casos*. México, Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Piaget, J. e Inhelder, B. (2015). *Psicología del niño* [1ra ed., 1969]. Madrid, Ediciones Morata.
- Piketty, T. (2014). *El capital en el siglo XXI*. Santiago, Fondo de Cultura Económica.
- Sanchez, I. y Tapia, M. (1992). *Estudio agrobotánico de los huertos familiares en Cajamarca*. CUSO–Programa Cajamarca. Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Stiglitz, J. (2000). *La economía del sector público*. Barcelona, Antoni Bosh.
- Stiglitz, J. (2006). *Cómo hacer que funcione la globalización*. Bogotá, Editorial Taurus.
- UNESCO. (2000). *Marco de acción de Dakar. Educación para todos: Cumplir nuestros compromisos comunes*. Foro Mundial sobre la Educación. París, UNESCO.
- UNESCO. (2007). *Educación de calidad para todos: Un asunto de derechos humanos*. Documento de discusión sobre políticas educativas en el marco de la II Reunión Intergubernamental del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PREALC). Santiago, UNESCO.
- Uribe, C. (2017). Educación, ética y ciudadanía [Módulo 4: Educación y ciudadanía]. Curso para Maestría de Educación con mención en Gestión y Políticas Educativas. Lima, Universidad San Martín de Porres - EUCIM Business School.
- Vexler, I. (2017). Educación para el Desarrollo [Módulo 1: Formar para la competitividad y el desarrollo, y Módulo 2: Calidad educativa y evaluaciones nacionales e internacionales]. Curso para Maestría de Educación con mención en Gestión y Políticas Educativas. Lima, EUCIM Business School, Universidad San Martín de Porres.
- Webb, R. (9 de abril de 2017). Reeduquemos la educación. *El Comercio*. Lima. Recuperado de <https://elcomercio.pe/opinion/rincon-del-autor/reeduquemos-educacion-richard-webb-413387>

**Páginas electrónicas:**

- <http://piaget.idoneos.com/index.php/294184>  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Piaget#Asimilaci.C3.B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget#Asimilaci.C3.B3n)  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Proped%C3%A9utica>

# Artropodofauna de los Bosques de *Polylepis* (Rosaceae) de la Zona de Conchucos, Ancash

Arthropodofauna of the *Polylepis* (Rosaceae) Forests of the Conchucos Area, Ancash

Anahí J. Oroz-Ramos<sup>1,2</sup>, Abdhiel A. Bustamante-Navarrete<sup>1,3</sup>, Jhony Farfán-Flores<sup>1</sup> y Oscar J. Santander-Azpilcueta<sup>1,4,5</sup>

<sup>1</sup> Colección Entomológica, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Biología, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

<sup>2</sup> anahijeannette@yahoo.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1833-4204>

<sup>3</sup> abdhie177@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8120-1274>

<sup>4</sup> oscarjesusaz@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2463-9998>

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Cusco

## Resumen

En este estudio de la diversidad de la artropodofauna de doce bosques de *Polylepis* en el departamento de Ancash (Tacarpo Gague, Pacchac, Yanacocha, Pumahuain, Checacmonte, Canrash, Juproc, Pachapaqui, Huinco, Jupaimarca, Huamanhueque), se reporta un total de 19 órdenes y 62 familias de artrópodos terrestres en los bosques evaluados. Los órdenes ampliamente representativos son los Diptera y Collembola. Especies de las familias Dytiscidae (*Rhantus*), Elmidae (*Stenelmis*), Psephenidae, Cucujidae, Dascillidae (Orden Coleoptera); Notonemouridae (*Neonemoura*) (Orden Plecoptera); Baetidae (*Baetis*, *Cloeodes*), Leptophlebiidae (*Thraulodes*) (Orden Ephemeroptera); Limnephilidae (*Anomalocosmoecus*), Helicopsychidae (*Helicopsyche*), Hidropsychidae (*Cailloma*) (Orden Trichoptera); y Corixidae (Orden Hemiptera) representan nuevos reportes de entomofauna en los bosques de *Polylepis*, a la vez que en Ancash y a nivel del país.

La metodología comprendió el uso de trampas Malaise, de caída (pitfall), trampas de luz, manguero, muestreo directo, y en el caso de la entomofauna acuática, barridos del lecho de los cuerpos de agua. Los índices de diversidad indican que el bosque más diverso en cuanto a familias de artrópodos terrestres es el bosque de Huinco, con un índice de diversidad de 2.66 y uniformidad de 74.24%, y el bosque menos diverso es Canrash, con un índice de diversidad de 0.98 y uniformidad de 26.73%. Ambos bosques no alcanzan un porcentaje mayor al 70% y 80% de similitud, respectivamente, con los demás bosques evaluados. De la revisión de la artropodofauna bentónica y con base en los taxones encontrados

donde se pueden observar los grupos Ephemeroptera y Trichoptera, además de representantes del orden Plecoptera y las dos familias de coleópteros acuáticos (Elmidae y Psephenidae), todos ellos con características conocidas de baja tolerancia a agentes extraños en su medio, se podría concluir que aunque las zonas de estudio se hallan sometidas a la presión antropogénica, esta no ha alterado los cuerpos de agua con la introducción de agentes sintéticos ni el exceso de materia orgánica. Además, el hecho de que grupos como los trichópteros, élmidos y ephemerópteros requieran de agua con alto grado de oxigenación y corriente rápida indicaría que estos cuerpos de agua todavía no han sido afectados significativamente en proporción a la reducción de los bosques de *Polylepis*.

**Palabras Clave:** Cambio climático, Andes tropicales, artrópodos, *Polylepis*, queñua, bosques, diversidad

## Abstract

This study of the diversity of the arthropodofauna of twelve *Polylepis* forests in the Department of Ancash (Tacarpo Gague, Pacchac, Yanacocha, Pumahuain, Checacmonte, Canrash, Juproc, Pachapaqui, Huinco, Jupaimarca and Huamanhueque) reports a total of 19 orders and 62 families of terrestrial arthropods in the evaluated forests. The widely representative orders are the orders Diptera and Collembola. Species of the families Dytiscidae (*Rhantus*), Elmidae (*Stenelmis*), Psephenidae, Cucujidae, Dascillidae (Order Coleoptera); Notonemouridae (*Neonemoura*) (Order Plecoptera); Baetidae (*Baetis*, *Cloeodes*), Leptophlebiidae (*Thraulodes*) (Order Ephemeroptera); Limnephilidae (*Anomalocosmoecus*), Helicopsychidae (*Helicopsyche*), Hydropsychidae (*Cailloma*) (Order Trichoptera); and Corixidae (Order Hemiptera)

represent new reports of entomofauna in *Polylepis* forests; as well as in Ancash and at the country level.

The methodology included the use of Malaise traps, pitfall traps, light traps, beating, direct sampling and, in the case of aquatic entomofauna, water bottom sweeps. Diversity indices indicate that the most diverse forest in terms of families of terrestrial arthropods is the Huinco forest with a diversity index of 2.66 and uniformity of 74.24%, and the least diverse forest is Canrash with a diversity index of 0.98 and uniformity of 26.73%. Both forests do not reach a percentage greater than 70% and 80% of similarity, respectively, with the other evaluated forests. From the review of the benthic arthropodofauna and based on the taxa found where the groups Ephemeroptera and Trichoptera can be observed, as well as representatives of the order Plecoptera and the two families of aquatic Coleoptera (Elmidae and Psephenidae), all with known characteristics of low tolerance to foreign agents in their environment, it could be concluded that although the study areas are under anthropogenic pressure, this has not altered the bodies of water with the introduction of synthetic agents or excess organic matter. In addition, the fact that groups such as trichopteros, elmids and ephemeroptera require water with a high degree of oxygenation and rapid current would indicate that these bodies of water have not yet been affected significantly in proportion to the reduction of *Polylepis* forests.

**Keywords:** *Climate change, tropical Andes, arthropods, Polylepis, queñua, forests, diversity*

## Introducción

En los Andes de América del Sur por encima de los 3800 hasta 5100 msnm, se pueden hallar pequeños fragmentos o relictos de bosques de *Polylepis*, género que incluye cerca de 20 especies distribuidas desde el norte de Venezuela al norte de Chile y Argentina, siendo los más diversos Ecuador, Bolivia y Perú (este último con 12 especies). Por ser un género nativo de los Andes, los bosques de *Polylepis* presentan estructuras particulares que responden a interacciones de sus comunidades de flora y fauna, que en el caso específico de los artrópodos cumplen funciones básicas. Estas características convierten a estos ecosistemas en vulnerables a la presión antrópica de las zonas altoandinas (Simpson, 1979; Ormazábal, 1991; Fjeldså, 1993; Kessler, 1995; Hjarsen, 1997).

Para la determinación de áreas prioritarias de conservación es de gran utilidad la identificación de espacios particularmente ricos en especies, especies raras, endémicas, vulnerables o con alguna combinación de estos atributos, haciendo necesarios estudios de recopilación y procesamiento de información taxonómica, que permitan obtener inventarios de calidad (Sánchez, 2003). Dentro de la biodiversidad biológica, las plantas y animales son una fracción minoritaria en comparación con invertebrados e insectos, solo basta hacer una comparación, se han descrito a lo mucho 43,000 especies de vertebrados, en tanto que en insectos supera el millón (Arce de Hamity y Neder de Román, 1992). Sin embargo, una de las mayores dificultades en la elaboración de estrategias de conservación de ecosistemas altoandinos es el gran vacío de información biológica que se tiene al respecto debido a que la mayoría de estudios realizados sobre diversidad y taxonomía de artrópodos son realizados en selva baja y costa. Estudios realizados en bosques de *Polylepis* en la cordillera de Abancay y Vilcanota reportan que los órdenes más representativos que se hallan en estos bosques corresponden a dípteros, himenópteros, colémbolos, araneos y ácaros, que bien podrían considerarse como indicadores del estado de bosque, lo cual ayudaría a evaluar el impacto potencial de las actividades humanas.

El objetivo del trabajo fue realizar la evaluación de la entomofauna asociada a los bosques de *Polylepis* del Sur de Conchucos. El presente informe está basado en los datos obtenidos de seis de los doce bosques evaluados en los meses de marzo–mayo del 2005.

## Materiales y Métodos:

### Área de Estudio

El área de estudio se sitúa al sur del Corredor de Conchucos, ubicado al oriente de la Cordillera Blanca, en el departamento de Ancash. Políticamente, los bosques pertenecen a los distritos de Chavín de Huántar y San Marcos (provincia de Huari), y Aquia y Huasta (provincia de Bolognesi). Los bosques estudiados están ubicados en las zonas de paso frecuente de los habitantes de la región y próximos a zonas de pastoreo. Todos estos bosques se hallan afectados por la tala en distinto grado (Tabla 1).

**Tacarpo (T) (Figura 1)**

UTM8938658 y 18L0268232; 4211 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, medianamente alterado; los árboles de queñua de no más de cinco metros de altura y con abundancia de brinzales, asociado con *Gynoxys*. Suelo rocoso, cubierto en un 50% de musgo. Se halla ubicado dentro del territorio de la Comunidad Campesina de Pujum, distrito de San Marcos de la provincia de Huari.



**Figura 1. Bosque de Tacarpo.**

**Gague (G) (Figuras 2 y 3)**

Se halla ubicado en la localidad de Challhuayacu, distrito de Chavín de Huántar de la provincia de Huari. Para facilitar el estudio de este bosque, se determinaron dos áreas de estudio:

Gague 1 - UTM 8935897 y 18L 0267780; 3950-4000 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri* con áreas conservadas y áreas alteradas; árboles de *Polylepis* de menos de 8 m de altura, en asociación con *Myrsine*, *Miconia* y *Gynoxys*; suelo cubierto de musgo en un 80% y pocas áreas expuestas.

Gague 2 - UTM 8935926 y 18L 266917; 3500 msnm. Bosque heterogéneo de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis sericea*. Las especies arbóreas están asociadas con *Gynoxys* sp., *Myrsine* sp., *Vallea stipularis*, *Miconia* spp., *Cytharexylum* sp. y *Hesperomeles* sp. Suelo cubierto de musgo en un 80% y pocas áreas expuestas.



**Figura 2. Bosque de Gague 1.**



**Figura 3. Bosque de Gague 2.**

**Pacchac (P) (Figura 4)**

UTM 8934400 y 18L 0267532; 3990-4260 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, húmedo moderadamente alterado; árboles de tamaño mediano, en asociación con *Gynoxys* sp., *Miconia*, poaceas. Suelo con poca cobertura vegetal, cubierto de musgo en un 30%. Políticamente pertenece a la localidad de Challhuayacu, distrito de Chavín de Huántar de la provincia de Huari.



**Figura 4. Bosque de Pacchac.**

### **Yanacocha (Y) (Figura 5)**

UTM 8932106 y 18L 0265683; 4400 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, húmedo medianamente conservado, con áreas fuertemente alteradas; árboles de tamaño mediado a grande, en asociación con *Miconia*, y poaceas; suelo con poca cobertura vegetal, musgo en un 60%. Jurisdicción de la localidad de Challhuayacu, distrito de Chavín de Huántar de la provincia de Huari.



**Figura 5. Bosque de Yanacocha.**

### **Pumahuain (Ph) (Figura 6)**

UTM 8931180 y 18L 0266317; 4180 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, moderadamente conservado, en asociación con *Gynoxys*, *Miconia* y *Tripteryx* sp., suelo cubierto 80% de musgo. Se halla ubicado dentro del territorio de la localidad de Challhuayacu, que pertenece políticamente al distrito de Chavín de Huántar de la provincia de Huari.



**Figura 6. Bosque de Pumahuain.**

### **Checacmonte (Ch) (Figura 7)**

UTM 8928944 y 18L 0269812; 4100 msnm. Bosque secundario medianamente alterado; *Polylepis weberbaueri*, en asociación con *Gynoxys* sp. y *Miconia* sp. Se halla ubicado dentro del territorio de la localidad de Challhuayacu, que pertenece políticamente al distrito de Chavín de Huántar de la provincia de Huari.



**Figura 7. Bosque de Checacmonte.**

### **Canrash (C) (Figura 8)**

UTM 8929912 y 18L 0274669; 4490 msnm. Bosque discontinuo moderadamente alterado. La especie arbórea predominante es *Polylepis weberbaueri*, en asociación con *Gynoxys* y poaceas. Áreas expuestas; cobertura de musgo en un 30%.



**Figura 8. Bosque de Canrash.**

### **Juproc (J) (Figura 9)**

UTM 8939306, 18L 0271257; 4100 msnm. Bosque moderadamente conservado de *Polylepis weberbaueri*, en asociación con *Gynoxys* sp., *Miconia*

sp., *Hesperomeles* sp. y *Escallonia resinosa*. Se halla ubicado dentro del territorio de la Comunidad Campesina de Juproc, que pertenece políticamente al distrito de San Marcos de la provincia de Huari.



Figura 9. Bosque de Juproc.

#### *Pachapaqui (Pch)* (Figura 10)

UTM 8900586 y 18L 0271965; 4325 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, en asociación con *Gynoxys* sp.; áreas expuestas en un 40%, cobertura de musgo en un 20%. Sin corriente de agua. Ubicado dentro del territorio de la localidad de Pachapaqui, que pertenece políticamente al distrito de Aquia de la provincia de Bolognesi.



Figura 10. Bosque de Pachapaqui.

#### *Huinco (H)* (Figura 11)

UTM 8893384 y 18L 0275697; 4430 msnm. Bosque heterogéneo de *Polylepis weberbaueri*, *Polylepis pepei* y *Polylepis* sp.; bosque muy húmedo y moderadamente conservado, con árboles de tamaño mediano a grande y abundantes brinzales. Suelo con buena cobertura vegetal, musgo en un 40%.

Políticamente pertenece al distrito de Huasta de la provincia de Bolognesi.



Figura 11. Bosque de Huinco.

#### *Jupaymarca (Jp)* (Figura 12)

UTM 8890698 y 18L 0277212; 4200 msnm. Bosque homogéneo discontinuo de *Polylepis weberbaueri*, en asociación con *Gynoxys* sp. Sin corriente de agua. Localidad de Jupaymarca, distrito de Huasta de la provincia de Bolognesi.



Figura 12. Bosque de Jupaymarca.

#### *Huamanhueque (Hh)*

UTM 8886660 y 18L 0270418; 4406-4434 msnm. Bosque homogéneo de *Polylepis weberbaueri*, húmedo alterado; árboles de tamaño mediano, en asociación con *Miconia* y poaceas. Suelo pedregoso con poca cobertura vegetal, musgo en un 60%. Localidad de Huamanhueque, distrito de Aquia de la provincia de Bolognesi.

Tabla 1. Ubicación y situación de los puntos de muestreo en los bosques estudiados.

Bosque	Estación	18L		Altitud msnm	Exposición de trampas	Estado actual
		N	E			
Tacarpo (T)	A	8938734	267873	4312	2	Levemente impactado
	B	8938776	267943	4370	2	Levemente impactado
Gague 1 (G1)	A	8935897	267780	4100	1	Conservado
	B	8935898	267679	4180	4	Impactado
Gague 2 (G2)	A	8935678	267886	3943	3	Medianamente impactado
	B	8935890	266698	3990	1	Conservado
Pacchac (P)	A	8934400	267532	4193	4	Fuertemente impactado
	B	8934476	267457	4269	3	Medianamente impactado
Yanacocha (Y)	A	8932106	265683	4409	2	Levemente impactado
	B	8932246	265650	4390	3	Levemente impactado
Pumahuain (Ph)	A	8931180	266317	4181	1	Conservado
	B	8931226	266754	4294	2	Levemente impactado
Chacacmonte (Ch)	A	8928944	269812	4141	2	Levemente impactado
	B	8929032	269069	4224	2	Levemente impactado
Canrash (C)	A	8929912	274669	4499	3	Levemente impactado
	B	8929562	274608	4496	3	Medianamente impactado
Juproc (J)	A	8939464	271179	4149	1	conservado
	B	8939306	271257	4123	4	Fuertemente impactado
Pacahapaqui (Pch)	A	8900586	271965	4325	2	Medianamente impactado
	B	8900676	271889	4274	4	Medianamente impactado
Huinco (H)	A	8892832	275697	4423	3	Levemente impactado
	B	8893048	275788	4466	3	Levemente impactado
Jupaymarca (Jp)	A	8890698	277212	4409	4	Medianamente impactado
	B	8890588	277368	4259	4	Medianamente impactado
Huamanhueque (Hh)	A	8886660	270418	4406	3	Levemente impactado
	B	8886678	270344	4434	4	Fuertemente impactado

## Metodología:

### Colectas en Campo

Las colectas se realizaron mediante la instalación de trampas, manguero, aspiración, revisión de musgo y corteza, y muestreos en las corrientes de agua.

**Instalación de trampas** - En cada bosque evaluado se determinaron dos estaciones de muestreo a diferentes altitudes y tomando las consideraciones del caso: área a estudiar, pendiente y exposición. Cada estación consistió en un transecto a favor de la gradiente altitudinal con una trampa Malaise, complementada por una batería de bandejas en su parte inferior, y un juego de 15 trampas de caída (pitfall) distanciadas tres metros una de otra.

**Trampas Malaise** - Es una trampa de malla sintética a manera de tienda o carpa tensada por cuerdas en cuya parte superior se halla un frasco colector conteniendo cianuro de potasio (Figura 13).



Figura 13. Trampa Malaise.

El principio de esta trampa, que sirve principalmente para insectos voladores, es que los insectos interceptados, por un instinto natural, suben a la parte superior entrando al frasco colector. Adicionalmente, se dispusieron bandejas de aluminio bajo la trampa para coleccionar aquellos insectos que no suben al frasco colector (Figura 14). Estas bandejas contenían



Figura 14. Bandejas con solución colectorora.

una solución colectorora a base de agua saturada de sal y unos gramos de detergente (lo suficiente para romper la tensión superficial). Las trampas Malaise proporcionan entonces dos datos: las muestras colectadas en el contenedor como propias de Malaise y las colectadas en las bandejas que contienen una solución colectorora, consideradas como de intercepción.

**Trampas de caída** - Consistente en vasos plásticos de 8 cm de alto que contiene una solución colectorora, instalados a profundidad, de manera que la boca quede a ras del terreno (Figura 15). Este método proporciona datos de artrópodos de hábitos terrestres. Como solución colectorora se utilizó la misma solución que en las bandejas de intercepción.



Figura 15. Trampa de caída.

**Manguero** - Mediante el uso de mallas entomológicas para la obtención de muestras en el follaje de *Polylepis* y flora asociada (*Gynoxys*,

*Myconia*, *Myrcinus*). El manguero se realizó en un promedio de ocho árboles próximos a cada uno de los transectos a razón de 10 “golpes” por árbol.

**Colecta directa y por aspiración** - La colecta directa se realizó con el uso de pinzas flexibles y aspiradores entomológicos para la colecta de artrópodos de la corteza de los árboles de *Polylepis* y del musgo circundante a los transectos.

**Colecta y crianza de inmaduros** - Se colectaron muestras de insectos inmaduros, en especial de pupas de los órdenes Lepidóptera (mariposas y polillas), Diptera (moscas, mosquitos) e Hymenoptera (avispas) con el propósito de obtener adultos y/o posibles parasitoides.

Las muestras obtenidas fueron depositadas en cámaras de crianza consistentes en bandejas plásticas con divisiones individuales de 2x3 cm y con adecuada ventilación (Figuras 16 y 17). Todo el proceso de crianza se realizó bajo condiciones de campo y temperatura ambiente.



Figura 16. Bandeja de crianza y transporte (abierta).



Figura 17. Bandeja de crianza y transporte (cerrada).

## Transporte

Las muestras colectadas en las trampas Malaise, por manguero, colecta directa y aspiración se acondicionaron en papel toalla y luego fueron depositadas en contenedores de plástico. En el caso del material colectado por las trampas de caída (pitfall), intercepción y muestras acuáticas, se utilizaron viales plásticos y alcohol al 70% como medio de conservación.

## Preparación, Montaje e Identificación

Las muestras se dispusieron en cámaras húmedas para devolverles la flexibilidad y facilitar su manipulación. Se procedió al montaje y etiquetado. Las identificaciones se realizaron con el uso de un microscopio estereoscópico de 40x-80x. Para facilitar el manejo de los modelos estadísticos y poder relacionar la diversidad a niveles de jerarquía taxonómica (Martín-Piera, 2000), las muestras fueron identificadas hasta el nivel de familia. La identificación del material continúa para llegar al nivel de género.

Todo el material se encuentra actualmente en la Colección Entomológica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

## Resultados y Discusión

Sobre la base del conteo de individuos por familia (jerarquía taxonómica) y adicionalmente por método de captura (Tabla 7), se realizaron los análisis estadísticos de diversidad por orden por bosque (Tabla 2), diversidad y uniformidad por órdenes (Tabla 3) y por familias (Tabla 4) por bosque, similitud de familias por bosque (Tabla 5) y porcentaje de similitud de artrópodos bentónicos por bosque (Tabla 6). Para la realización de los análisis se utilizó el paquete estadístico DIVERS (Pérez-López y Sola-Fernández, 1993). En la identificación y registros de la artropodofauna acuática se utilizó la *Guía para la Determinación de lo Artrópodos Bentónicos Sudamericanos* (Fernández y Domínguez, 2001).

Se registran 13 órdenes y 32 familias para el bosque de Tacarpo. El índice de diversidad ( $H'$ ), según Shannon, es de 1.73 con una uniformidad de 49.95%, lo que significa que este es uno de los bosques menos diversos en artropodofauna de la

zona de Conchucos. Su índice de similaridad, a su vez, nos indica que este bosque se halla mejor relacionado con el bosque de Yanacocha en un 80% y en menor relación con Canrash (23%). Las familias más abundantes son Mycetophilidae y Phoridae, ambas del orden Diptera. Su presencia se explica por la humedad presente en este tipo de bosques. En el caso de Mycetophilidae, su presencia es debido a que su principal fuente de alimentación son los hongos; Phoridae se ve atraído por la materia animal y vegetal descompuesta. En el orden Coleóptera, la familia Silphidae, al igual que Phoridae, es atraída por materia en descomposición. Los homópteros de las familias Psyllidae y Cicadellidae son presencia normal en bosques debido a sus hábitos fitófagos. En el caso de los collémbolos de las familias Etmobryidae y Poduridae, son conocidos grupos de hábitos hidrófilos. La artropodofauna bentónica está representada por las familias de dípteros Chironomidae (género *Chironomus*) y Simuliidae, caracterizadas por sus estadios juveniles acuáticos. Se hallan presentes mayormente en zonas con gran presencia de humedad (no es necesaria la presencia de una corriente de agua). La familia Simuliidae incluye especies de interés médico veterinario (no se puede precisar el género encontrado). Las familias Leptophlebiidae, Baetidae (orden Ephemeroptera) e Hydrobiosidae (orden Trichoptera) son los grupos propiamente acuáticos. Leptophlebiidae con el género *Thraulodes*, Baetidae con *Baetis*, e Hydrobiosidae con el género *Cailloma* se constituyen en registros nuevos para el Perú, anteriormente solo registrados en la entomofauna bentónica de Argentina, Chile y Ecuador. La importancia de estos grupos es su poca tolerancia a agentes extraños al agua. lo que los convierte en potenciales indicadores de la calidad ambiental. La presencia de grupos como Carabidae y Staphylinidae se debe a que son habitantes de las márgenes de cuerpos de agua o zonas muy húmedas, lugares donde realiza la oviposición o simplemente busca alimento (no son propiamente acuáticos).

En el bosque de Gague 1, se reporta un total de 10 órdenes y 31 familias. El índice de diversidad de Shannon indica que posee una baja diversidad, con uniformidad de 37%, existiendo abundancia de dos familias: Chironomidae (Diptera) y Etmobryidae (Collembola). El índice de similaridad cuantitativo en representantes terrestres relaciona este bosque con el bosque de Pacchac en un 81% y en menor grado con Juproc (40%). Es importante resaltar que Gague 1 alberga a cuatro de las ocho familias de collémbolos

registradas a nivel mundial: Entomobryidae, Isotomidae, Poduridae y Smythuridae.

En el bosque Gague 2 existen 9 órdenes y 32 familias, siendo los órdenes más representativos Diptera y Collembola, por el número de individuos registrados. A diferencia del bosque Gague 1, Gague 2 posee una mayor uniformidad en cuanto a los taxones encontrados, no existiendo dominancia de ningún taxón, con una uniformidad de 73.72% y una diversidad de 2.53. Haciendo un análisis de similitud entre las Estaciones A y B, no se ha hallado diferencia significativa. Cuantitativamente, Gague 2 se encuentra estrechamente relacionado con el bosque de Pumahuain (84.5%) y en menor escala con Canrash (28.4%), en términos de insectos terrestres.

En los bosques de Gague, la artrópodo-fauna bentónica está constituida por los dípteros de las familias Chironomidae (*Chironomus*), Simuliidae y Psychodidae, estas dos últimas de interés médico veterinario (no se determinaron los géneros). Las familias Leptophlebiidae y Baetidae (*Thraulodes* y *Baetis*) se hallan acompañadas de la familia Limnephilidae (género *Anomalocosmoecus*) del orden Trichoptera y *Perlesta* (Perlidae: Plecoptera) dentro del grupo de los insectos verdaderamente acuáticos, todos estos con la misma característica de poca resistencia a los agentes extraños. *Perlesta* y *Anomalocosmoecus* son registros nuevos a la entomofauna acuática del departamento de Ancash (*Anomalocosmoecus* es registro nuevo para el Perú). La familia Elmidae (Coleoptera), con el género *Stenelmis*, es uno de los pocos coleópteros susceptible a ser usado como indicador de calidad ambiental, pues vive dentro del agua a nivel de larva y adulto. Este es un nuevo registro para Ancash (anteriormente reportado en Cusco).

El bosque de Pacchac, de acuerdo con el número de taxones encontrados, se caracteriza por poseer una mediana a alta diversidad (2.54), con uniformidad de 69.02%, siendo este bosque uno de los más representativos en cuanto a artrópodos de queñuales, pues los índices de similaridad lo relacionan en un 80% con los bosques de Yanacocha, Pumahuain, Checacmonte y Juproc, y en menor grado con Canrash y Huamanhueque, con 57.3% y 56.4% respectivamente. En este bosque se reportan 40 familias distribuidas en 14 órdenes de artrópodos, y se aprecia la dominancia de quironómidos, fóridos y entomobríidos. El bosque de Pacchac incluye en su entomofauna

bentónica a dípteros de la familia Tabanidae, solo de interés entoveterinario (posiblemente *Tabanus*). Los insectos puramente acuáticos son *Thraulodes* (Leptophlebiidae) y Elmidae con *Stenelmis*. Las familias Carabidae, Curculionidae y Chrysomelidae son grupos más bien riparios. Respecto a artrópodos bentónicos, cualitativamente Pacchac es más similar a Juproc y Canrash en un 26.7%

En el bosque de Yanacocha, se reportan 40 familias de artrópodos distribuidas en 14 órdenes. En este bosque se reporta el primer registro del orden Psocóptera, con la familia Psocidae (tres ejemplares obtenidos en las trampas de intercepción). Los órdenes más abundantes en este bosque son Diptera y Collembola. Los índices de diversidad y similitud de artrópodos terrestres nos indican que este bosque es medianamente diverso con uniformidad de 69.03% y una similitud de hasta 91.6% con el bosque de Pumahuain, un 80% con los bosques de Pacchac, Checacmonte y Juproc, y en menor porcentaje con Canrash (38.4%). En cuanto a artrópodos bentónicos, su fauna acuática guarda mayor relación con la fauna acuática de muestras obtenidas de cuerpos de agua cercanos al bosque de Canrash. La artrópodo-fauna acuática está constituida por *Helicopsyche* (Helicopsychidae), *Smicridea* (Hydropsichidae) y *Anomalocosmoecus* (Limnephilidae) en el orden Trichoptera. *Smicridea* y *Helicopsyche* son registros nuevos para el Perú, anteriormente solo reportados en Argentina y el norte de Chile. La familia Corixidae representa un nuevo registro para Ancash, el género no ha sido determinado. Se determinó también a un ejemplar de la familia Dytiscidae (Coleoptera) perteneciente al género *Rhantus* (reporte nuevo para Ancash).

El bosque de Pumahuain es un bosque medianamente diverso con un índice de diversidad de 2.44 y uniformidad de 67.69%. Se registran 11 órdenes con 37 familias, con abundancia de las familias Phoridae, Chironomidae, Sciaridae y Entomobryidae. Existen diferencias significativas entre los índices de similitud de los artrópodos terrestres y bentónicos encontrados para este bosque. Pumahuain tiene en su entomofauna bentónica a los dípteros Chironomidae y Simuliidae (propios de zonas húmedas). Leptophlebiidae (*Thraulodes*?), Baetidae (*Baetis*) del orden Ephemeroptera, Notonemouridae (*Neonemoura*, nuevo registro para el Perú) del orden Plecoptera y Limnephilidae (*Anomalocosmoecus*) del orden Trichoptera son los acuáticos presentes en las

corrientes de agua de Pumahuain. Este bosque resulta ser uno de los más interesantes al presentar los tres grupos más importantes de insectos acuáticos en un mismo punto (adicionalmente Notonemouridae es un nuevo registro para Ancash). Para complementar a las anteriores familias, se halla presente Psephenidae del orden Coleoptera. Esta familia es otra de las posibles alternativas para uso como indicador ambiental, ya que, al igual que Elmidae también presente en este boque, usa el oxígeno disuelto en el agua para su respiración. Psephenidae es un nuevo registro para el Perú, pudiendo tratarse de una nueva especie, ya que solo se reportan cuatro géneros con ocho especies en América del Sur.

Para el bosque de Checacmonte, se reportan 38 familias distribuidas en 13 órdenes, con un índice de diversidad de 23.5 y uniformidad de 64.06%. El índice de similitud de artrópodos terrestres lo relaciona en mayor porcentaje con el bosque de Juproc (97.8%) y Pumahuain (96.2%). Existe predominancia de quironómidos, fóridos, Sciaridae (*Sciara* y *Rhynchosciara*) y Entomobryidae. Checacmonte presenta las familias Chironomidae y Simuliidae (no se pudo establecer los géneros). Nuevamente la entomofauna acuática está representada por *Thraulodes*, *Baetis* (Ephemeroptera), *Cailloma*, *Anomalocosmoecus* (Trichoptera) y *Stenelmis* (Elmidae: Coleoptera). Se hallan también presentes representantes del orden Ácari (Hydrachnidae). El índice cualitativo de similitud de artrópodos bentónicos demuestra que los bosques más relacionados con Checacmonte son Jupro y Canrash.

En el bosque de Canrash, se registra un total de 40 familias distribuidas en 12 órdenes. El índice de diversidad para este bosque lo califica como un bosque poco diverso, con uniformidad de 26.73%. De acuerdo con el índice de similitud para artrópodos terrestres, el bosque de Canrash alcanza un máximo de similitud con el bosque de Gague 1 (77.1%), con gran predominancia de quironómidos, lo que no sucede con artrópodos bentónicos, cuyos índices, si bien no son altos, relacionan a Canrash con Pumahuain, Checacmonte, Juproc y Tacarpo por encima del 50%. En la entomofauna acuática encontramos quironómidos (*Chironomus*) y simúlidos dentro del orden Diptera (sin identificar). *Cloeodes* de la familia Baetidae (nuevo registro para el Perú), Notonemouridae (Plecoptera), Helicopsychidae y Limnephilidae son los insectos acuáticos, junto a *Stenelmis* (Elmidae: Coleoptera) y Corixidae. En el

caso de Corixidae, no se puede determinar su uso como indicador.

El bosque de Juproc registra el mayor número familias de artrópodos, con un total de 50 familias distribuidas en 14 órdenes. De acuerdo con el índice de diversidad, se le califica como bosque medianamente diverso (2.55), con uniformidad de 65.4%, y un porcentaje de similitud en artrópodos terrestres que supera el 90% con los bosques de Checacmonte y Pumahuain. Para este bosque se reporta la presencia de áphidos alados y ápteros, lo que nos indica la presencia de colonias de este grupo (Homóptera), cuya situación requiere un mayor estudio. Para los artrópodos bentónicos se tiene un porcentaje de similitud superior al 60% con los bosques de Pumahuain, Checacmonte y Canrash. Chironomidae, Simuliidae y Blephariceridae (registro nuevo para Ancash) representan al orden Diptera. *Thraulodes*, *Baetis* (Ephemeroptera), *Helicopsyche*, *Cailloma*, *Anomalocosmoecus* (Trichoptera) y Corixidae (orden Hemiptera) son los principales taxones acuáticos en el bosque de Juproc.

El bosque de Huinco reporta 10 órdenes con 36 familias. Para este bosque se realizó un estudio comparativo independiente de las dos estaciones de muestreo, donde la Estación A y la Estación B tienen un porcentaje de similitud no mayor del 50% en cuanto a artrópodos terrestres capturados por las trampas Malaise e intercepción, y un 78% de similitud de las trampas de caída. Las diferencias más marcadas en este bosque se dan con las familias de dípteros e himenópteros, colectados en la Estación A. Para el estudio de artrópodos terrestres, el índice de diversidad lo califica como el bosque más diverso de todos los estudiados con un índice de diversidad de 2.66 y uniformidad de 74.24%. La mayor diversidad de artrópodos encontrados en este bosque se daría como respuesta la composición misma de bosque. En Huinco se pudo hallar, fuera de *Chironomus*, al limnephílido *Anomalocosmoecus*. Huinco se constituye de esta manera como el bosque menos diverso en artropodofauna y entomofauna bentónica.

En el bosque de Huamanhueque se registra un total de 10 órdenes y 30 familias de artrópodos terrestres, con una diversidad media (2.38) y uniformidad de 70%. El estudio comparativo entre las dos estaciones de muestreo instaladas en este bosque nos permite hacer una distinción más clara de la diversidad de artrópodos presentes en una estación

totalmente alterada y una estación más conservada, donde la colonización de especies herbáceas juega un rol importante; así que en zonas más alteradas predominan las familias Muscidae, Anthómidae, Syrphidae, y Cicadellidae. El porcentaje de similitud de artrópodos terrestres lo relaciona en un 79% con el bosque de Gague 2.

Los bosques de Pachapaquí y Jupaymarca se les ha excluido del análisis estadístico general por motivo de alteración en las muestras obtenidas; solo se considera el análisis a nivel de trampas Malaise. Estos dos bosques guardan un porcentaje de similitud de 71.4%. Para Pachapaquí se registra un total de 36 familias en siete órdenes. Para Jupaymarca se reportan nueve órdenes con 30 familias de artrópodos terrestres. Chironomidae con *Chironomus*, *Thraulodes* (Leptophlebiidae: Ephemeroptera) y *Baetis* (Baetidae: Ephemeroptera) representan a la entomofauna bentónica de Pachapaquí, haciendo de este bosque uno de los menos diversos en cuanto a artropodofauna bentónica. Jupaymarca cuenta con *Chironomus* (Chironomidae) y la familia Blephariceridae en el orden Diptera. Leptophlebiidae, Baetidae (Ephemeroptera), Helicopsychidae, Limnephilidae (Trichoptera) y Elmidae (Coleoptera) son los taxones netamente acuáticos.

## Conclusiones

Por sus características ecológicas, los bosques de *Polylepis* presentan condiciones favorables para albergar comunidades de artrópodos hidrófilos, muchos de ellos considerados como bioindicadores para determinar los grados de toxicidad en el ambiente por su sensibilidad a bajas concentraciones de sedimentos, contaminación por metales pesados y acumulación de biocontaminantes asociados a cuerpos de agua y suelos hidrófilos.

Se reporta un total de 19 órdenes y 62 familias de artrópodos terrestres en trece bosques de *Polylepis* evaluados. Los órdenes ampliamente representativos en bosques de *Polylepis* son los órdenes Diptera y Collembola.

El índice de diversidad de Shannon nos indica que el bosque más diverso en cuanto a familias de artrópodos terrestres es el bosque de Huinco con un índice de diversidad de 2.66 y uniformidad de

74.24%; y el bosque menos diverso es Canrash, con un índice de diversidad de 0.98 y uniformidad de 26.73%. Ambos bosques no alcanzan un porcentaje mayor al 70% y 80% de similitud, respectivamente, con los demás bosques evaluados.

Los índices de similitud entre los doce bosques evaluados cuantitativamente (Tabla 5), definen como bosques más similares entre sí a Pumahuain, Juproc, Checacmonte y Yanacocha con un índice mayor a 0.90. La mayor diversidad de insectos se presenta en los bosques heterogéneos de *Polylepis* (p. ej. Huinco), en comparación con bosques donde hay predominancia de una sola especie de queñua. A su vez se puede considerar como una variable de importancia la presencia de especies herbáceas y arbustivas en bosques impactados, lo cual conlleva que los índices de diversidad sean más altos en los bosques con mayor actividad antropogénica.

Dytiscidae (*Rhantus*), Elmidae (*Stenelmis*), Psephenidae, Cucujidae y Dascillidae (Orden Coleoptera); Notonemouridae (*Neonemoura*) (Orden Plecoptera); Baetidae (*Baetis*, *Cloeodes*) y Leptophlebiidae (*Thraulodes*) (Orden Ephemeroptera); Limnephilidae (*Anomalocosmoecus*), Helicopsychidae (*Helicopsyche*) y Hidropsychidae (*Cailloma*) (Orden Trichoptera); y Corixidae (Orden Hemiptera) constituyen nuevos reportes de entomofauna en los bosques de *Polylepis*, a la vez que en el departamento de Ancash y a nivel del país.

De la revisión de la artropodofauna bentónica y en base a los taxones encontrados donde se pueden observar los grupos Ephemeroptera y Trichoptera, además de representantes del orden Plecoptera y las dos familias de coleópteros acuáticos (Elmidae y Psephenidae), todos ellos con características conocidas de baja tolerancia a agentes extraños en su medio, se podría concluir que aunque las zonas de estudio se hallan sometidas a la presión antropogénica, ésta no altera los cuerpos de agua con la introducción de agentes sintéticos ni el exceso de materia orgánica. Además, el hecho de que grupos como los trichópteros, élmidos y ephemerópteros requieran agua con alto grado de oxigenación y corriente rápida indicaría que estos cuerpos de agua todavía no han sido afectados en proporción a la reducción de los bosques de *Polylepis*.

**Tabla 2. Diversidad de artrópodos por orden en 11 bosques de *Polylepis*.**

	T	G1	G2	P	Y	Ph	Ch	C	J	H	H
Acari	4	5	5	22	13	3	5	3	7	0	5
Aranea	30	10	19	26	16	22	24	22	29	75	116
Chilopoda	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Coleoptera	19	10	18	41	30	30	38	75	51	21	59
Collembola	96	212	121	244	192	235	173	293	109	29	477
Dermaptera	0	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0
Diplopoda	2	1	0	1	1	3	1	0	0	0	0
Diptera	1711	577	288	915	1223	1011	1171	4833	1262	766	453
Hemiptera	0	0	0	3	2	1	2	0	1	2	0
Homoptera	28	10	11	72	22	24	55	48	41	62	34
Hymenoptera	17	3	16	40	72	59	73	7	63	27	21
Lepidoptera	16	4	8	15	25	21	11	18	47	29	27
Neuroptera	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Opiliones	2	0	0	1	2	0	1	0	1	0	1
Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pseudoescorpionida	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psocoptera	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0
Thysanoptera	0	0	0	3	20	0	0	11	1	2	0
Trichoptera	1	0	1	0	0	0	1	0	4	4	1

**Tabla 3. Índices de diversidad y uniformidad de la artropodofauna, basados en órdenes, en los bosques de *Polylepis* de la zona de Conchucos.**

Bosque	T	G1	G2	P	Y	Ph	Ch	C	J	H	Hh
H'	0.55086	0.85464	1.23012	1.18047	0.97591	0.98580	1.71584	0.42119	0.94388	1.00192	1.40660
E	0.21477	0.37117	0.55985	0.44731	0.36980	0.41111	0.37262	0.16950	0.35766	0.43513	0.61088

[H' = Índice de diversidad de Shannon; E = Índice de Rarefacción o uniformidad]

**Tabla 4. Índices de diversidad y uniformidad de la artropodofauna, basados en familias, en los bosques de *Polylepis* de la zona de Conchucos.**

Bosque	T	G1	G2	P	Y	Ph	Ch	C	J	H	Hh
H'	1.73146	1.98968	2.53157	2.54615	2.54672	2.44425	2.35245	0.98636	2.55876	2.66051	2.38179
E	0.49959	0.57941	0.73721	0.69022	0.69038	0.67691	0.64061	0.26739	0.65408	0.74243	0.70028

[H' = Índice de diversidad de Shannon; E = Índice de Rarefacción o uniformidad]

**Tabla 5. Índice de similitud de familias de artrópodos por bosque evaluado.**

Bosque	T	G1	G2	P	Y	Ph	Ch	C	H	J	Hh	Jp
T	1	0.335	0.501	0.541	0.805	0.680	0.679	0.231	0.291	0.639	0.206	0.206
G1		1	0.592	0.813	0.499	0.527	0.422	0.775	0.526	0.407	0.616	0.616
G2			1	0.798	0.760	0.845	0.771	0.284	0.694	0.765	0.790	0.790
P				1	0.806	0.879	0.816	0.573	0.620	0.811	0.564	0.564
Y					1	0.916	0.855	0.320	0.529	0.844	0.384	0.384
Ph						1	0.962	0.326	0.533	0.958	0.504	0.504
Ch							1	0.318	0.533	0.978	0.368	0.368
C								1	0.430	0.305	0.193	0.193
H									1	0.575	0.419	
J										1	0.356	
Hh											1	
Jp												1

**Tabla 6. Porcentaje de similitud de artrópodos bentónicos de los bosques de la zona de Conchucos.**

Bosque	T	G1	P	Y	Ph	Ch	C	J	Pch	H	Jp	Hh	
T		53.3	18.2	16.7	55.6	82.4	55.6	66.7	72.7	20.0	40.0	44.4	% de Sorenson
G1	36.4		16.7	15.4	63.2	66.7	52.6	52.6	50.0	36.4	62.5	20.0	
P	10.0	9.1		22.2	13.3	14.3	26.7	26.7	25.0	00.0	16.7	00.0	
Y	9.1	8.3	12.5		25.0	26.7	50.0	37.5	00.0	25.0	30.8	00.0	
Ph	38.5	46.2	7.1	14.3		66.7	72.7	72.7	53.3	42.9	73.7	15.4	
Ch	70.0	50.0	7.7	15.4	50.0		66.7	66.7	57.1	30.8	55.6	33.3	
C	38.5	35.7	15.4	33.3	57.1	50.0		63.6	40.0	28.6	52.6	15.4	
J	50.0	35.7	15.4	23.1	57.1	50.0	46.7		53.3	42.9	73.7	30.8	
Pch	57.1	33.3	14.3	00.0	36.4	40.0	25.0	36.4		28.6	50.0	33.3	
H	11.1	22.2	00.0	14.3	27.3	18.2	16.7	27.3	16.7		54.5	00.0	
Jp	25.0	45.5	9.1	18.2	58.3	38.5	35.7	58.3	33.3	37.5		54.5	
Hh	28.6	11.1	00.0	00.0	08.3	20.0	08.3	18.2	20.0	00.0	11.1		
	% de Jaccard												

## Agradecimientos

A la Asociación Ecosistemas Andinos (ECOAN) y a American Bird Conservancy por la utilización de los datos del proyecto “Diversidad Biológica de los Bosques de *Polylepis* del Sur de los Conchucos, Ancash, Perú”.

## Referencias

- Arce de Hamity, M. y Neder de Román, E. (1992). *Los artrópodos de la Reserva de Biósfera Laguna de Pozuelos: I – Diversidad de taxones* [cap. 4, 1-14]. Disponible en: <http://www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/puna4.pdf>
- Fernández, H. R. y Domínguez, E. (Eds.) (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Fjeldså, J. (1993). The avifauna of the *Polylepis* woodlands of the Andean highlands: The efficiency of basing conservation priorities on patterns of endemism. *Bird Conservation International*, 3(1), 37-55.
- Hjarsen, T. (1997). The effects of plantations in the Andes. *Tropical Forest Update*, 7(2), 15.
- Kessler, M. (1995). The genus *Polylepis* (Rosaceae) in Bolivia. *Candollea*, 50, 131-171.
- Martín-Piera, F. (2000). *Estimaciones prácticas de biodiversidad utilizando taxones de alto rango en Insectos. Exploración de funciones predictivas basadas en la relación de riqueza a diferentes niveles de la Jerarquía Taxonómica (modelos 'RESTAR')*. Disponible en: <http://entomologia.rediris.es/pribes/FERMIN/Subproyecto1.html>
- Ormazábal, C. S. (1991). Silvopastoral systems in arid and semiarid zones of northern Chile. *Agroforestry Systems*, 14(3), 207-217.
- Pérez-López, F. J. y F. M. Sola-Fernández (1993). *DIVERS: Programa para el cálculo de los índices de diversidad* [programa informático en línea]. Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/jp-l/descargas.htm>
- Sánchez, D. (2003). *Coleópteros acuáticos y áreas prioritarias de conservación en la Región de Murcia*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia, España. [Refr: *Ecosistemas*, 12(2), mayo-agosto, 2003].
- Simpson, B. B. (1979). A revision of the genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). *Smithsonian Contributions to Botany*, 43, 1-62.

Tabla 7. Abundancia de artrópodos, por órdenes y familias, según el método de captura en los bosques de *Polylepis* de la zona de Conchucos.

ORDEN	FAMILIA	Canrash			Checac monte			Gague 1			Gague 2			Huaman hueque			Huinco			Jupay marca			Juproc			Pacchac			Pachapaqui			Pumahuain			Tacarpo			Yanacocho														
		I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P															
Acari	Acari	3	1	28			5	5		3	2	2	2	3									1					22										3			4	1	12									
Araneae	Araneae	5	2	22	12	1	11	1	11	1	2	13	15	10	1	4	7	1	4				44	3				9	2	13		7	1	14	8	26	2	2	14													
Chilopoda	Chilopoda																			1						1																		1								
	Bruchidae			1																																																
	Carabidae			36	6	5	1	4			6			49			9						3			20	3	2	2	1		1			6			9	7													
	Chrysomelidae	1	2	3	5	1	4																			1	2	3				2	10	1	1	4																
	Coleoptera 1	1																					1			1																										
	Coleoptera 2	2																																																		
Coleoptera	Curculionidae	8	6					1			1						2									5			1	1		1	2														2	2				
	Dytiscidae	1																																																		
	Ptilidae	2									3									2						2			9	1		1																				
	Scolytidae	2	3																																																	
	Silphidae	1																																																		
	Staphylinidae	17	2	47	9	8	1	2	4	1	1	2	4	2	4		1	6	9	1	1	1	1	1	1	11	2	8	3	2		3	1	10	1	8	4	2														
	Entomobryidae	44	302	34	34	98	14	14	9	9	97	46	38	19	10	3	7	7	7	7	7	7	98	11	1	19	1	19	2	16	17	4	77	5	86																	
	Isotomidae	2																					2			2			1	2																						
Collembola	Poduridae	1	26	13	13	26	11	35	11	11	11	48	48										2	1	36	2	1	36	5	37		14	1	65																		
	Smythuridae	12	15					1	2	7	2									1									2	1	1	1	1	65																		
Dermaptera	Forficulidae	1																					1			1	1	1	1	1																						
Diplopoda	Diplopoda							1	1	1																			1																							
	Agromyzidae	5	9					2				3					15			2	1		1	3		1	3		1	2																						
	Anisopodidae	1	1	12	1	4	1	1	1	1	1	2					9	1								1	1	3	5	1		1	1	28																		
	Anthomyidae	5	1	2	13						4	86	3	3	1		3	1		135	127	5	3	3		3	3		48	1	14																					
	Aphidae																						4																													
	Apoidea																						1	1		1	1																									
Diptera	Bibionidae	8	50	3	14	2	2	2	1	3							7	1					3	27		3	27		3	11	62	2	2	1	24	119	3															
	Braconidae																						1	2		1	2																									
	Calliphoridae	2																		2						2																										
	Cecydomidae	12		2	2	9	9	5									1	1		1	1		8	8		8	8		1	1		1	2																			
	Chalcididae																						2	14		2	14																									
	Chironomidae	2500	2008	14	22	205	1	196	57	19	36	9	9	81	3		51	136	7	39	22	3	104	108		3	104		8	200	164	7	10	12	60	125	13	75	144								64	160	2			



ORDEN	FAMILIA	Canrash			Checac monte			Gague 1			Gague 2			Huaman hueque			Huinco			Jupay marca			Juproc			Pacchac			Pachapagui			Pumahuain			Tacarpo			Yanacocha		
		I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P	I	M	P			
Hymenoptera	Ichneumonidae	2	33	3	3	17	1	1	3	8	3	8	1	12	5	14	1	6	13	6	13	1	15	2	30	1	12	1	1	12	6	44								
	Proctotrupidae	3	3	1				1	1	1				1									2	1								2	2							
Lepidoptera	Gelechiidae	1	6	4										1	1	1									3						5									
	Geometridae	13	23	7	2	3	1	1	1	3	4	15	3	3	5	2	10	15	5	7	3	3	9	10	5	3	6	6	6	10										
	Gracillariidae												18																											
	Noctuidae	6	8	1	2	2	3	3	1	1	8	8	2	2	1	1	5	5	5	5	5	5	3	3	1	5	2	2	3	1										
Mecoptera															1																									
Neuroptera	Hemerobiidae																								1															
Opiliones	Opiliones			1									1									1						2			2									
Plecoptera	Notonemouridae			1																																				
Pseudoscorpion	Pseudoscorpion						1																					2												
Pseudoscorpion	Pseudoscorpion			2																																				
Psocoptera	Psocidae			1																											3									
Thysanoptera	Phlaeothripidae			1																		3						19			1									
Trichoptera	Hidrobyosidae																											1												
	Limnephilidae	2	2				1			1																														
<b>Total</b>		3418	2897	613	522	851	184	430	167	233	79	166	368	202	622	226	688	135	434	393	94	200	612	420	352	356	264	430	672	308	1336	347	250	580	659	292				

[Métodos de Captura: Trampa de Intercepción (I), Trampa Pitfall (de caída) (P), y Trampa Malaise (M)]

# *Puya raimondii* Harms del Santuario Nacional de Calipuy, La Libertad

*Puya raimondii* Harms of the Calipuy National Sanctuary, La Libertad

Elbert H. Zavaleta Zavaleta<sup>1</sup> (ezavaleta@sernanp.gob.pe)

<sup>1</sup>Jefe del Santuario Nacional de Calipuy, Santiago de Chuco, La Libertad. [El autor principal desea compartir la autoría con todo el personal del SN Calipuy y con los guardaparques voluntarios del mismo.]

## Introducción

El Santuario Nacional de Calipuy, es un Área Natural Protegida ubicada en el ámbito geográfico del Centro Poblado de Calipuy, comprensión de la provincia y distrito de Santiago de Chuco – Departamento de la Libertad, donde se protege algunos de los rodales más densos de *Puya raimondii* Harms en el Perú, llamado localmente también “cahuas” (Figura 1). El Santuario es administrado por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), organismo técnico especializado adscrito al Ministerio del Ambiente y cuya labor es asegurar la conservación de la diversidad biológica y contribuir al desarrollo socioeconómico del país.

La *Puya raimondii* Harms es una especie del género *Puya*, subfamilia Pitcairnioideae, familia Bromeliaceae, orden Poales, clase Monocotyledoneae. Fue descubierta por el francés Alcide d’Orbigny en 1830 en la región la Vacas, Cochabamba, Bolivia; posteriormente identificada y nombrada por el naturalista italiano Antonio Raimondi en 1874 como

*Pourrettia gigantea*, y finalmente reclasificada por el alemán Hermann Harms en 1928 como *Puya raimondii* Harms (Waite, 1978). Los rodales de puya se encuentran distribuidos en nuestro país desde los 3200 a 4800 msnm en los departamentos de Puno, Cusco, Apurímac, Junín, Ayacucho, Huancavelica, Lima, Ancash y La Libertad.

En el Perú, la *Puya raimondii* Harms se encuentra protegida desde 1973 por el Decreto Supremo 1014 del Ministerio de Agricultura (Rivera, 1985; Venero y Hostning, 1986). La legislación nacional consideraba a esta especie como amenazada según la Resolución Ministerial N° 01710-77-AG/DGFF, promulgada el 30 de setiembre de 1977, en donde incluía la *Puya raimondii* en la categoría de “Especie en vías de extinción”. En la actualidad el Decreto Supremo N° 043-2006-AG, promulgada el 13 de julio de 2006, aprueba la categorización de especies amenazadas de flora silvestre donde la *Puya raimondii* es declarada en peligro (EN). Así mismo, a nivel mundial, la UICN lo considera dentro del listado de su Libro Rojo como especie en peligro de extinción.



Figura 1. Vista de rodales de *Puya raimondii* en el Santuario Nacional de Calipuy. Foto: SNCA-SERNANP.

[Nota del Editor: El Jefe del Santuario Nacional de Calipuy nos ha proporcionado este importante informe sobre el Santuario y algunas de las actividades que han realizado en relación a la bromelia más grande del mundo.]

Hay que tener en cuenta que la condición en que se encuentra no solo afecta a la especie en sí, sino a todo su ecosistema, ya que diversos investigadores plantean que el néctar de esta especie podría constituir un importante recurso para picaflores altoandinos. Su pérdida no solo implicaría un dramático empobrecimiento del hábitat altoandino, incluida la erosión y desertificación de suelos, sino la desaparición de una especie única en el mundo.

### La *Puya raimondii* o “Cahua” en el Santuario Nacional de Calipuy

En el Perú existen cinco Áreas Naturales Protegidas que conservan la puya, siendo estos el Santuario Nacional de Calipuy, el Parque Nacional Huascarán (Ancash), la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (Lima y Junín), el Área de Conservación Regional Titankayoc (Ayacucho) y el Área de Conservación Privada Pampacorral, ubicada en el distrito de Lares, provincia de Calca (Cuzco).

El territorio donde se ubica actualmente el Santuario Nacional de Calipuy perteneció, hace más de 50 años, a la extinta hacienda de Calipuy, de propiedad de la familia Ganoza Porturas. A principios de los años 70, durante el gobierno de Juan Velasco Alvarado, el Estado Peruano expropió esta hacienda, entregándola a las poblaciones rurales cercanas, formándose así la Sociedad Agrícola de Interés Social Libertad (SAIS –Libertad), organización que era la responsable de la administración de la ex hacienda, pero le dio poca importancia a la protección de la *Puya*, iniciándose así un uso indiscriminado de su población que llegó a disminuir de manera preocupante, estimándose que cuando se creó el Santuario Nacional de Calipuy en 1981, la población alcanzaba más de 200,000 ejemplares.

Durante los primeros 18 años desde su establecimiento, el Santuario estuvo a cargo de la Agencia Agraria de Santiago de Chuco, asignando ésta un personal para el cuidado de la misma, quienes efectuaron un manejo inadecuado del área, agravando la situación de amenaza de la *Puya*. Posteriormente, la Dirección Regional Agraria La Libertad asumió el pago de dos guardianes, a quienes se les encargó el control de esta ANP hasta la llegada del primer jefe, asignado por el INRENA en el año 1998.

La conservación y protección de los ecosistemas del Santuario Nacional de Calipuy constituyen

objetivos muy importantes para el desarrollo de la provincia de Santiago de Chuco y del departamento de La Libertad, no sólo por las posibilidades del aprovechamiento sostenible de los recursos, sino también por los servicios ecosistémicos que genera para el bienestar de las poblaciones en general.

### Características Botánicas

La *Puya raimondii* Harms es una planta monocárpica que con la inflorescencia alcanza a 9.5 m de alto, pero que puede llegar a 14 m, con tallo erguido simple de 4 a 6 m de alto y 0.6 m de diámetro. Hojas dispuestas en roseta alrededor del tallo, el cual se levanta a medida que crece. Limbo (la parte principal de la hoja) lanceolado y coriáceo, de 1 a 1.25 m de longitud y de 15 a 20 cm de ancho, subglabro, cara adaxial y abaxial cubierta con tricomas compuestos (Smith y Downs, 1974; Morales y Suni, 2003), con bordes provistos de garfios (espinas) coriáceos 1 cm de largo, dirigidos en todas direcciones. La vaina es carnosa, blanca, de 20 a 25 cm de ancho y 15 cm de largo.

Inflorescencia panícula, densa, cilíndrica, atenuada en el ápice, de 4 a 4.3 m longitud y de 0.6 m de diámetro, densamente lanuda blanca, brácteas primarias que cubren a los racimos ampliamente ovadas, apiculadas, más cortas que los racimos, enteras, subglabracentes, membranáceas, verdosas; racimos extendidos o reflexos; brácteas de las flores densamente imbricadas, ovado lanceoladas, acuminadas, sobrepasan los sépalos, membranáceas, subglabracentes. Flores pediceladas; pedicelo robusto de 1.5 cm de largo; flor heteroclamídea, trímera; sépalos lanceolados agudos, densamente pilosos, de 4 cm de longitud, verdosos; pétalos de 4 a 7 cm de longitud, verde-blancuecinos, a veces azulados o purpúreos (Figura 2).



Figura 2. Detalle de la inflorescencia de la *Puya raimondii*.  
Foto: SNCA-SERNANP.

Estructuras reproductivas: Estambres, seis en dos verticilos, basales, insertos; filamento glabro, blanquecino, semiterete, longitud de 2 a 2.5 cm; anteras bitecas, basifijas, paralelas, amarillo-naranja, largos de 1.5 a 1.7 cm de longitud, mucronadas; mucrón 2 mm. Ovario cónico de 1 a 1.1 cm de largo y de 0.5 a 0.6 cm de ancho, blanquecino con tres carpelos y seis lóculos; estilos de 3 cm de largo, blanquecino en la base y verdoso en el extremo; estigmas tres, enroscados, pilosos, verdosos 0.2 cm.

Fruto cápsula, globoso, ovoide, de 25 a 30 mm de longitud con pétalos enredados en la parte apical (Smith y Downs, 1974). Semilla alada, triangular (Rivera, 1985; Pascual et al., 2003; Vadillo et al., 2004) coriácea, ornamentada, marrón, de 3 a 5 mm incluyendo el ala que lo rodea, embrión linear basal de 0.7 mm (Vadillo et al., 2004), semilla amilácea con gránulos de almidón tricompuestos de 100-110  $\mu\text{m}$  (Pascual et al., 2003). Óvulo anátropo. Número cromosómico 50 (2n) (Smith y Downs, 1974).

### Ciclo de Vida

*Puya raimondii* Harms es una planta monocárpica que se reproduce únicamente por semillas. Las plantas se mantienen en estado vegetativo por muchos años (Figura 3), entre 40 (Rivera, 1985) y 100 años, después del cual desarrolla una inflorescencia que comienza a visualizarse entre los meses de mayo y junio (Suni et al., 2002; Figura 4), pero su inicio se dio meses antes. La floración se inicia a principios de julio y continúa hasta octubre, desde la parte inferior hacia el ápice de la inflorescencia (Hartmann, 1981; Rivera, 1985; De La Cruz, 2000; Suni et al., 2002; Figura 5).



Figura 3. *Puya raimondii* en estado juvenil.  
Foto: SNCA-SERNANP



Figura 4. Tallos de *Puya raimondii* en la etapa de crecimiento, antes de florecer. Foto: Christian Quispe.

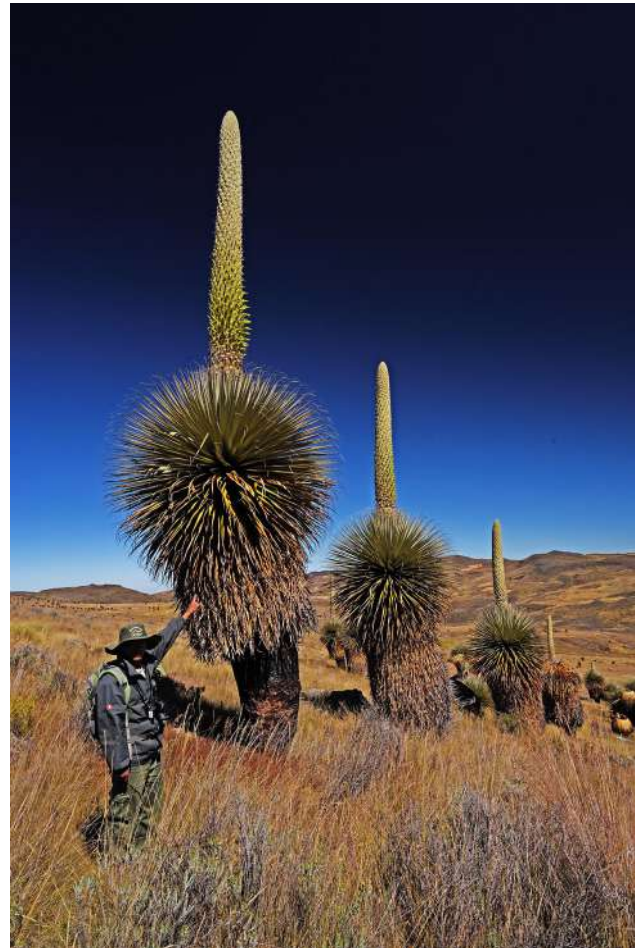


Figura 5. *Puya raimondii* en plena floración.  
Foto: Christian Quispe.

La fructificación se inicia en enero del año siguiente hasta julio, dispersando luego millones de semillas aladas en los meses siguientes (Hartmann, 1981; Rivera, 1985; Cano et al., 2000; Suni et al., 2002). La planta comienza a fenecer al momento de iniciarse la fructificación (Suni et al., 2003), dispersando más de 11 millones de semillas (Cano et al., 2000) con alta viabilidad (Vadillo et al., 2004).

## Conservación de la Puya en el SN Calipuy

La actividad ganadera fue extensiva desde antes de la creación del SNCA. Las invasiones suscitadas y las actividades agrícolas incompatibles con el ANP han deteriorado en diferentes grados sus ecosistemas.

De la misma manera, en ciertas partes del Santuario Nacional de Calipuy, donde el acceso es restringido por el mismo relieve y características del sustrato, existen zonas donde los ecosistemas no han sufrido un daño significativo por actividades antrópicas. Esto se demuestra en evaluaciones de zonas donde los índices de diversidad alcanzan un nivel más alto que otros lugares del SNCA. Esto también demuestra que las “puyas” del Santuario son frecuentes en zonas donde la riqueza de especies es mayor que las demás reportadas en el SNCA.

## Monitoreo de la *Puya raimondii* “Cahua” en el SN Calipuy

Antes de contar con el Plan Maestro, los censos se realizaban anualmente. En la actualidad, con la aprobación del Plan Maestro 2015-2019 del Santuario Nacional de Calipuy, el monitoreo de la *Puya raimondii* Harms se realiza a través de censos bianuales con la estratificación o división del área total del Santuario (4500 ha) en cuatro sectores de acuerdo a su topografía: Collayguida, San Jerónimo, Victoria y Chalacpampa. La metodología empleada

durante el desarrollo de los censos bianuales es el conteo directo. Para el éxito y cumplimiento de esta importante actividad, se cuenta con el apoyo de los pobladores de los caseríos aledaños al Área Natural Protegida.

Aparte de este monitoreo directo que se realiza con la población local, también, con la participación de la Blga. Giovana Vadillo, se han instalado 18 parcelas permanentes de 50x50 m, 14 dentro del Santuario y cuatro afuera. Las parcelas fueron ubicadas en diferentes zonas representativas dentro del Santuario y en las zonas más representativas fuera del Santuario en el área colindante que se llama la “zona de amortiguamiento”, donde se harán las evaluaciones respectivas para determinar la situación poblacional de la *Puya raimondii* a mayor detalle.

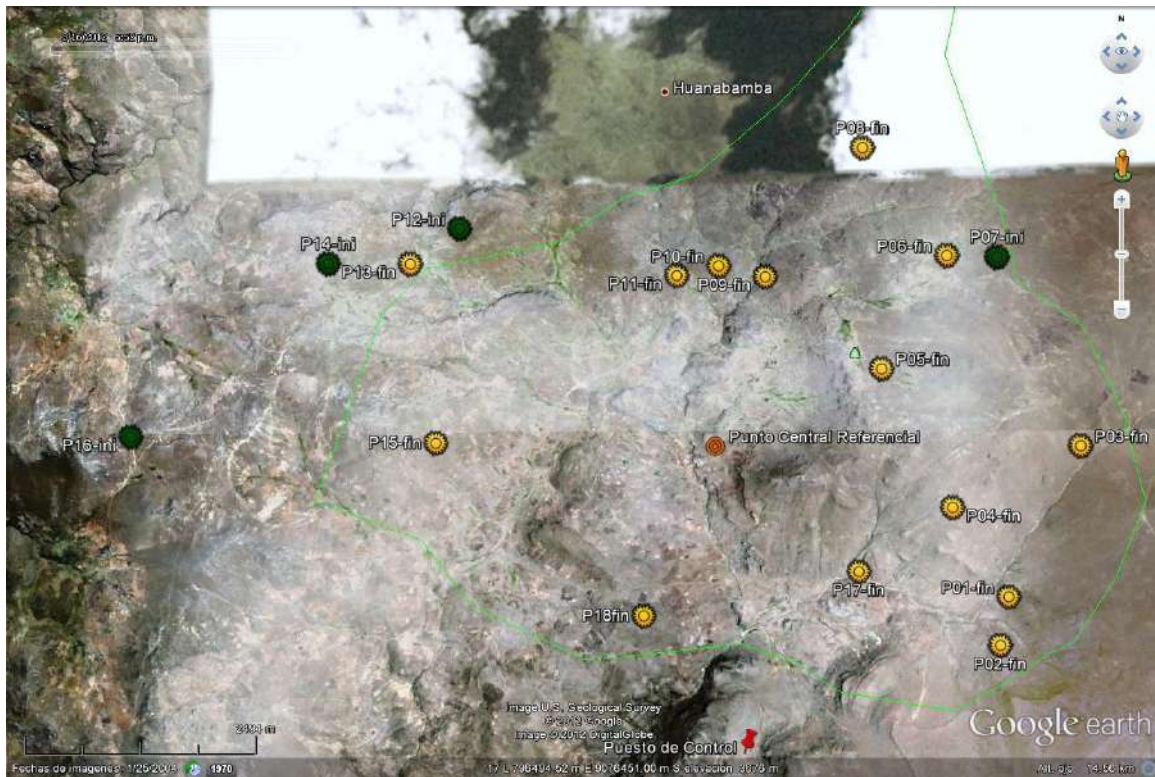
Por otra parte, con el apoyo de voluntarios se ha logrado georreferenciar la mayoría de los individuos de “cahuas” en el Santuario, lo cual ha servido para elaborar el mapa de su distribución y densidad (véase Figura 9).

## Algunos Resultados Obtenidos

Figura 6 muestra los resultados de los censos realizados a través de conteo directo con la población local, considerando el total de puyas vivas (vegetativas y reproductivas).



Figura 6. Censos de *Puya raimondii* en el Santuario Nacional de Calipuy entre 1980 y 2016.



**Figura 7. Distribución de las parcelas de monitoreo permanente. Las de color amarillo están dentro del Santuario y las de color verde oscuro están fuera del Santuario. Foto: Google Earth.**

Figura 7 muestra la distribución de las parcelas de monitoreo permanente para determinar a mayor detalle el estado situacional de esta especie. Figura

9 es un mapa de la distribución y la densidad de las puyas en el SNCA.



**Figura 8. Rodal de *Puya raimondii* con individuos juveniles, adultos, floreciendo, en declive y dañados por actividad antrópica. Foto: SNCA-SERNANP.**

Finalmente, es de mencionar que, con las evaluaciones preliminares que se viene realizando referente a la estructura poblacional, se observa un promedio de 7.25 ind/ha (individuos por hectárea) en estado juvenil (carente de inflorescencia), 0.97 ind/ha en estado adulto, 0.58 ind/ha en estado de declive y 0.86 ind/ha con daños visibles por actividad antrópica (Figura 8). En este sentido, los resultados promedios observados indican que la población de *Puya raimondii* que tiene mayor densidad en el Santuario Nacional de Calipuy consiste en las “cahuas” en estado juvenil, que le confiere la importancia del potencial biótico de la especie.

## Referencias

- Cano, A., La Torre, M. y Ramírez, A. (2000). Aspectos cuantitativos sobre la biología de la *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Botánica*, 12. Arequipa.
- De la Cruz, O. (2000). Estudio de la densidad poblacional e importancia económica de *Puya raimondii* Harms, Ayacucho-1998. *Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Botánica*, 57. Arequipa.
- Hartmann, O. (1981). *Puya raimondii* cada vez son menos. *Boletín de Lima*, 10 (enero 1981), 79-83.
- Morales, M. y Suni, M. (2003). Estudio anatómico foliar de *Puyaraimondii* Harms (Bromeliaceae). *Resúmenes de la XII Reunión Científica ICBAR*, 69. Lima, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pascual, E. P., Suni, M. y Vadillo, G. (2003). Características anatómicas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Resúmenes de la XII Reunión Científica ICBAR*, 70. Lima, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rivera C., C. A. (1985). *Puya raimondii* Harms. *Boletín de Lima*, 38, 85-91.
- Smith, L. B. y Downs, R. J. (1974). *Pitcairnioideae (Bromeliaceae)*. Flora Neotrópica Monograph 14. Part 1. Organization for Flora Neotropica. New York, Hafner Press.
- Suni, M., Cano, A., Fernández, J. y Vadillo, G. (2002). Avances en el estudio de la floración de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Resúmenes de la XI Reunión Científica ICBAR*, 57. Lima, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Vadillo, G., Suni, M. y Cano, A. (2004). Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*, 11(1), 71-78.
- Vadillo, G. y Suni, M. (2006). Evaluación de sustratos para el establecimiento en laboratorio de plántulas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*, 13(1), 139-141.
- Venero, J. L. y Hostning, R. (1986). Las “titánicas” de Aymaraes (Apurímac). *Boletín de Lima*, 48, 83-88.
- Waite, B. H. (1978). *Puya raimondii*: Wonder of the Bolivian Andes. *Journal of the Bromeliad Society*, 28(5), 200-208.

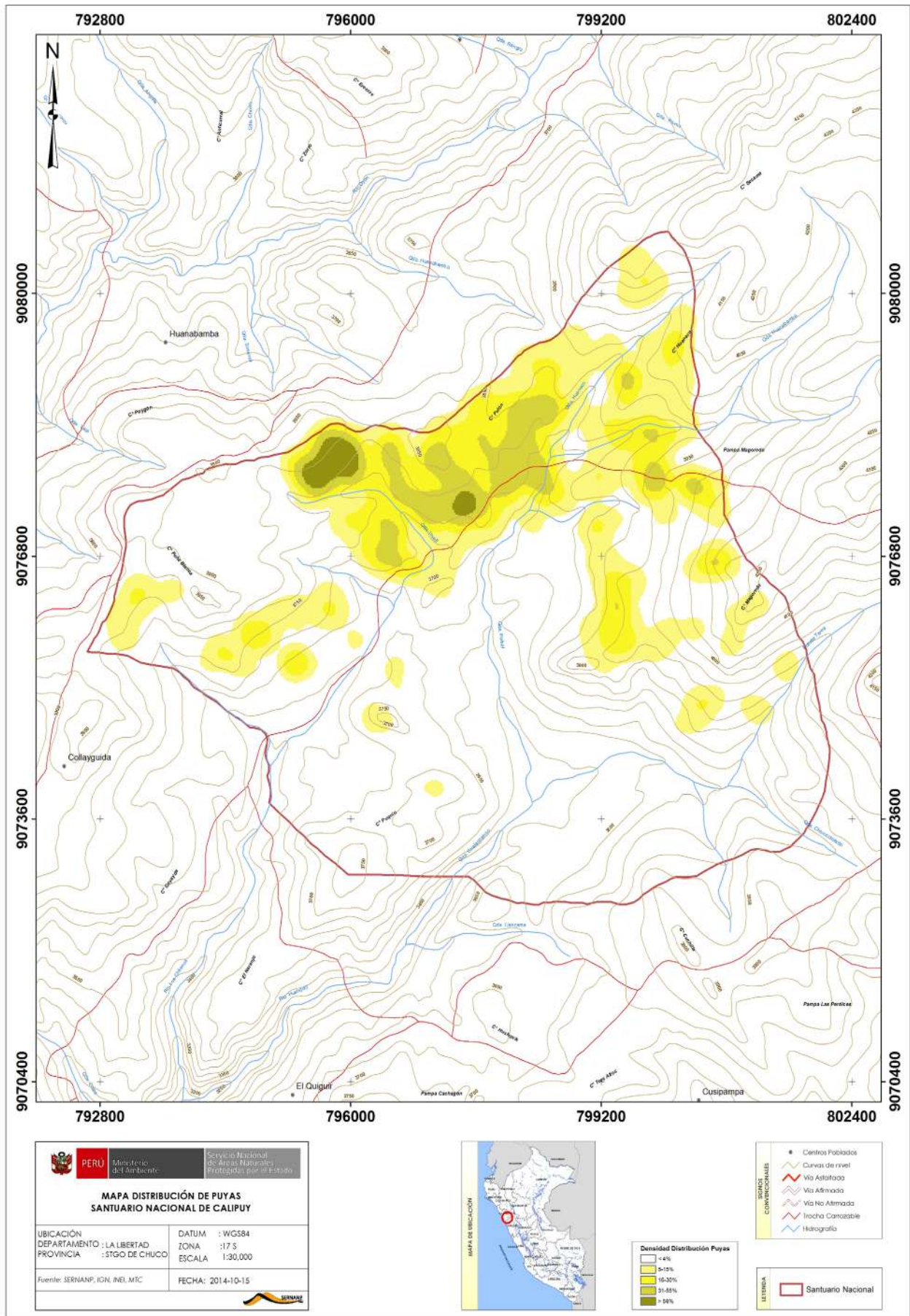


Figura 9. Mapa de distribución y densidad de *Puya raimondii* dentro del Santuario Nacional Calipuy.

Los colores más oscuros reflejan áreas de mayor densidad de plantas.

[Nota del Editor: La clave indica el número de individuos por hectárea, no un porcentaje.]

---

## Guía para Autores

La *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* publica artículos científicos originales e inéditos en las áreas de glaciología y ecología de ecosistemas de montaña. Los trabajos recibidos son evaluados por árbitros externos según criterios de calidad.

Las pautas principales para manuscritos enviados a la *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* del INAIGEM son las siguientes:

- a) Temática relacionada con glaciares y ecosistemas de montaña en los Andes, directamente y por medio de disciplinas afines como la geología, geografía, meteorología, botánica, zoología, antropología, etc.
- b) Un límite máximo de 10,000 palabras, contando todos los textos (el resumen en castellano, abstract en inglés, las referencias, las leyendas de figuras, etc.).
- c) Texto en castellano o inglés.
- d) Resumen en castellano y abstract en inglés (podemos ayudar a refinar la versión no nativa) de un máximo de 300 palabras.
- e) Cinco palabras clave (en los dos idiomas).
- f) Formato profesional, como el de muchas revistas técnicas en el mundo, pero con mayor flexibilidad, sin requisitos muy estrictos, lo que favorece la diversidad del material tratado en sus trabajos.
- g) Ser dividido en secciones que incluyen una introducción; la metodología, los datos y los resultados, si son pertinentes; una conclusión y breves agradecimientos antes de la lista de referencias citadas.
- h) Una lista de referencias citadas que contenga todas las obras citadas en el texto y ninguna otra.
- i) Referencias completas en orden alfabético por el apellido del primer autor, en estilo APA (American Psychological Association), con precisión y consistencia. Como ejemplos se puede usar las listas de Referencias de los artículos publicados en los tres números de la *Revista*.
- j) Figuras, tablas y mapas muy legibles, proporcionadas aparte en formato JPG (.jpg).
- k) Pueden enviar cualquier pregunta al correo electrónico del editor: [swegner@inaigem.gob.pe](mailto:swegner@inaigem.gob.pe).

[Nota: Las instrucciones más detalladas y actualizadas se pueden encontrar en la página web del INAIGEM – [www.inaigem.gob.pe](http://www.inaigem.gob.pe) ]



*Trabajando para  
todos los peruanos*

