

CALIDAD DE AGUA EN CABECERAS DE CUENCAS ALTOANDINAS EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Una aproximación para evaluar la calidad del agua y potencial remediación en la subcuenca de Quillcay



Esta publicación forma parte de la Serie "Notas Técnicas sobre Cambio Climático", cuyo objetivo es hacer llegar a un público más amplio los resultados de los estudios, consultorías y sistematizaciones de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos del Ministerio del Ambiente.

Elaborado por:

Raúl Loayza Muro
Laboratorio de Ecotoxicología
Laboratorios de Investigación y Desarrollo
Facultad de Ciencias y Filosofía
Universidad Peruana Cayetano Heredia

Huaraz, marzo de 2014

Impreso en Corporación Globalmark

Esta publicación es posible gracias a la cooperación de los proyectos:

Construyendo capacidades científicas, sociales e institucionales para el manejo y reducción del riesgo de avalanchas de lagos glaciares en la Cordillera Blanca, Perú (HIMAP / TMI)

Implementación de medidas de adaptación al cambio climático en la subcuenca del río Quillcay (MINAM / BID)

CALIDAD DE AGUA EN CABECERAS DE CUENCAS ALTOANDINAS EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Una aproximación para evaluar la calidad del agua y potencial remediación en la subcuenca de Quillcay

Raúl Loayza Muro

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al valioso aporte del Programa de Cuencas Glaciares de Alta Montaña y de Desarrollo de Adaptaciones al Cambio Climático (HIMAP-CCRD) de la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID), del Instituto de Montaña (IM), del Proyecto 'Implementación de Medidas de Adaptación al Cambio Climático en la Subcuenca del Quillcay – Cuenca del Santa' (IMACC-Quillcay) del Ministerio del Ambiente y el Banco Interamericano de Desarrollo (MINAM-BID), de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) y de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH).

Quiero agradecer de manera especial el esfuerzo y apoyo de Rolando Cruz, Christine Giraud, Mario Guillén, Diego Justiniano, Fiorella La Matta, Carlos Merino, Julio Palomino, Laura Read, Jorge Recharte, Josefa Rojas, Julio Sánchez, Laura Trejo, Diana Vargas y Anaïs Zimmer, que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.



UNA APROXIMACIÓN PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA Y POTENCIAL REMEDIACIÓN EN LA SUBCUENCA DE QUILLCAY

Panorama general	2
La biodiversidad y la calidad del agua	3
Ámbito del proyecto	4
Objetivos del estudio	4
Metodología	5
Lugares de muestreo	5
Evaluación de la calidad del agua y sedimentos	5
Vegetación nativa para la remediación de aguas	6
Evaluación de la diversidad de bioindicadores	6
Cálculo de un índice de la calidad del agua	7
Análisis de resultados	7
Organización de talleres participativos	7
Resultados e interpretación	7
Calidad del agua y sedimentos	7
Bioacumulación de metales en plantas	8
Diversidad de bioindicadores	10
Talleres participativos	12
Repercusión del proyecto	16
Referencias	16
Anexos	17

Panorama general

La Cordillera Blanca abarca el 70% de los glaciares tropicales del mundo. Sus nevados, además de ser la fuente más importante de agua para las poblaciones de la cuenca media y baja, son indicadores sensibles de los cambios del clima a nivel global (Mark and McKenzie, 2007; Vuille et al., 2008). El rápido retroceso de los glaciares en las últimas décadas tiene profundas implicancias en el abastecimiento de agua, y plantea importantes limitaciones para las poblaciones que dependen del deshielo de los glaciares para el consumo y otros usos económicos, sobre todo en época seca (Fig. 1). Por otro lado, el deshielo ha dejado expuestas a la intemperie rocas mineralizadas, que al oxidarse producen drenaje ácido y liberan metales desde las cabeceras de cuenca hasta los ríos (Fig. 2; Loayza-Muro et al., 2014). Este fenómeno altera la calidad del agua y del ambiente, y pone en riesgo la salud de las personas e importantes actividades económicas, como la agricultura, la ganadería y el turismo.



Figura 1. Efecto del cambio climático en el nevado Pastoruri entre 2001 y 2007 (Cordillera Blanca).

La creciente demanda por recursos hídricos en el ámbito de influencia de la Cordillera Blanca debido al incremento de las poblaciones y de las actividades económicas, así como la rápida disminución de la oferta calculada para las siguientes décadas debido al cambio climático, está generando una urgente necesidad de utilizar el agua de manera racional y equitativa, satisfaciendo las necesidades y expectativas de todos los sectores. Esto supone que la

gestión y el manejo de los recursos hídricos garanticen la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, siendo imprescindible la aplicación de metodologías confiables de evaluación de la calidad del agua para un diagnóstico y aprovechamiento apropiados, que involucren de manera activa a las comunidades rurales y a los sectores académico, social y político (Giraud, 2013).



Figura 2. Los drenajes ácidos de roca en las partes altas afectan la calidad de los ecosistemas río abajo a lo largo de la cuenca. Quebrada Shallap.

La biodiversidad y la calidad del agua

En nuestro país, el método más empleado para evaluar los impactos originados por diversos contaminantes en ríos y lagunas es el análisis químico del agua. Si bien éste brinda datos precisos sobre las condiciones en el instante de la toma de muestra, no ofrece información sobre aquellos contaminantes que se encuentran por debajo de los límites de detección ni una evidencia clara sobre relaciones de causa-efecto entre contaminantes e impactos ecológicos (Karr, 1993). Una forma de complementar este método y caracterizar de forma integral la salud de estos ecosistemas es el uso del monitoreo biológico, el cual permite evaluar los efectos de la contaminación a través de las respuestas de las comunidades de organismos indicadores (Hopkin, 1993). A pesar de que estos modelos son parte de los criterios de evaluación de calidad del agua y de la legislación ambiental en otros países, como Canadá, Costa Rica y España, en el Perú son poco conocidos.

El biomonitoreo mediante organismos indicadores es un método conveniente para determinar tendencias espaciales y temporales de la contaminación y del cambio climático, para evaluar sus impactos ecológicos y el deterioro o recuperación de ecosistemas acuáticos

(Rosenberg & Resh, 1993). Dentro de esta aproximación, los macroinvertebrados acuáticos han sido utilizados con éxito como centinelas de la calidad del agua por su amplia distribución, su rol ecológico en diversos hábitats, y por su sensibilidad frente a cambios ambientales y presencia de contaminantes (Jacobsen, 1998; Clements et al., 2008). Las variaciones en la composición de las comunidades indicadoras son respuestas que pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación o estrés ambiental (Loayza-Muro et al., 2014). La cuantificación de tales variaciones es el fundamento para la aplicación de índices bióticos con el fin de clasificar la calidad del agua. Otra ventaja importante de este método es que es económico, por lo que el ahorro generado puede servir para canalizar los recursos en zonas de conflicto, donde se requiera caracterizar de forma exhaustiva las condiciones del agua. Por otro lado, se puede obtener resultados 'a pie de río' en diferentes puntos y en un solo día, y sólo se requiere identificar los organismos sin necesidad de ser un taxónomo especialista. Estos resultados pueden representarse mediante colores en el mapa de una cuenca, de manera que sea posible apreciar en forma sencilla las variaciones de la calidad del agua en el tiempo.

Ámbito del proyecto

La subcuenca de Quillcay es tributaria del río Santa, y está conformada por las microcuencas de Paria y de Auqui (Fig. 3). El río Paria nace en la laguna de Palcacocha y recorre la quebrada de Cojup, hasta desembocar en el río Auqui, formado a su vez por los ríos Quilcayhuanca y Shallap. El Quilcayhuanca recibe las aguas de las lagunas Cuchillococha y Tullparaju, y el Shallap las aguas de la laguna del mismo nombre. La microcuenca de Paria está ubicada íntegramente en el territorio del distrito de Independencia de la provincia de Huaraz, y la

microcuenca de Auqui en territorio de Independencia y de Huaraz. En el área urbana, el cauce del río Quillcay marca el límite entre ambos distritos.

Debido a la relevancia de la subcuenca de Quillcay para el abastecimiento de agua en la ciudad de Huaraz y el desarrollo de actividades económicas de importancia, fue elegida para evaluar la calidad de las aguas y sedimentos de los ríos, y para identificar especies de flora nativa como potencial herramienta de la remediación de metales y aguas ácidas.

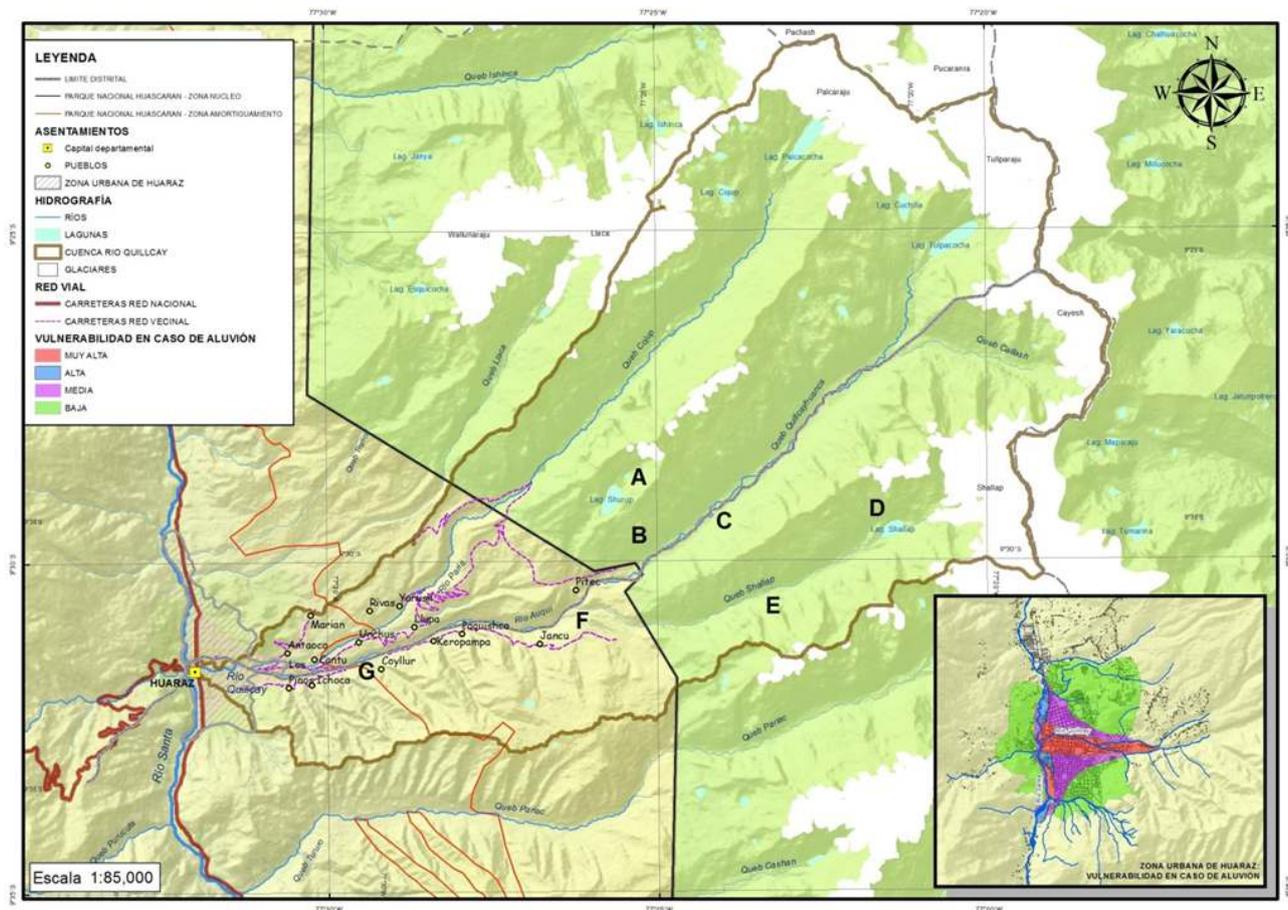


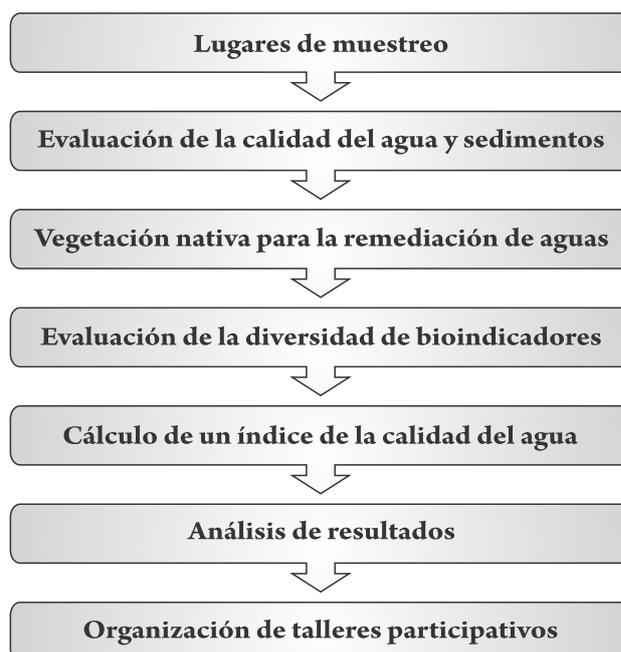
Figura 3. Los drenajes ácidos de roca en las partes altas afectan la calidad de los ecosistemas río abajo a lo largo de la cuenca. Quebrada Shallap. Fuente: Denny Rivas / Instituto de Montaña.

Objetivos del estudio

1. Realizar un diagnóstico de la calidad del agua y de sedimentos en diferentes sectores de la subcuenca de Quillcay e identificar las fuentes de contaminación.
2. Evaluar la capacidad de acumulación de metales en plantas nativas e identificar potenciales candidatas para un posterior estudio de remediación de aguas ácidas mediante pantanos artificiales.
3. Determinar la diversidad de bioindicadores (larvas de invertebrados) en estos sectores y determinar su potencial aplicación como herramienta de evaluación y diagnóstico de la calidad del agua.
4. Realizar talleres de difusión e intercambio de ideas sobre la calidad del agua y el cambio climático, donde participen comunidades locales, autoridades municipales, instituciones educativas y organismos encargados de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Santa.

Metodología

Para lograr los objetivos propuestos, se determinaron los lugares de muestreo donde se realizaron las evaluaciones de metales y de parámetros físicos y químicos de calidad de agua, las colectas de vegetación nativa como potencial medida de remediación, y la evaluación de la diversidad de bioindicadores para la elaboración de un índice biótico de calidad de los arroyos. Los datos fueron analizados y comparados con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes en el Perú para determinar los lugares más vulnerables donde se requiera la implementación de medidas de remediación.



Lugares de muestreo

Los muestreos que se describen a continuación se realizaron por triplicado durante marzo, julio y noviembre de 2013 para cubrir las estaciones de lluvia y de estiaje.

Los puntos A y B (en azul) representan lugares limpios; los puntos C, D, E, F y G, representan lugares impactados por metales y aguas ácidas (mapa de la Figura 3).

Tabla 1. Lugares de muestreo

Punto	Coordenadas (UTM)	Altitud (msnm)
A – Laguna Churup	18L 233156.70 E 8950482.05 S	4467
B – Río Churup	18L 232234.65 E 8948414.30 S	3852
C – Río Quilcayhuanca	18L 235061 E 8949655 N	3854
D – Laguna Shallap	18L 240725.69 E 8949436.77 S	4280
E – Río Shallap	18L 240020 E 8949098 S	3876
F – Confluencia ríos Shallap-Quilcayhuanca	18L 232324.07 E 8947681.25 S	3711
G – Río Auqui	18L 228024.22 E 8946688.63 S	3301

Evaluación de la calidad del agua y sedimentos

En cada lugar se evaluó el pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y sólidos totales disueltos (STD) con un equipo portátil (Hach - HQ40d, USA). El análisis de metales en las muestras de agua y sedimento se realizó por espectroscopía de emisión acoplada a plasma (ICP-ES), que permite la detección simultánea de más de 25 metales (Fig. 4).

Vegetación nativa para la remediación de aguas

Se seleccionaron especies de plantas presentes en arroyos, lagunas y suelos impactados por drenajes ácidos. Los ejemplares se removieron con palas, incluyendo el sustrato asociado a la raíz, y se colocaron en bolsas de plástico para el análisis de metales por ICP-ES. Para calcular la capacidad o factor de bioacumulación (FBA) de metales en las plantas con respecto al agua o los sedimentos, se dividió la concentración de metales en el tejido vegetal entre la del agua o del sedimento.

Evaluación de la diversidad de bioindicadores

El muestreo se realizó en las riberas de los arroyos y lagunas, y en aguas de baja profundidad. Se colectaron larvas de macroinvertebrados en las piedras y hojas del fondo, superficie y orilla de los ríos, y en la vegetación flotante por 30 minutos, utilizando cepillos, pinceles y pinzas. En los ríos de mayor profundidad y con sedimento de arena, rocas pequeñas y cantos rodados, se utilizaron redes de 'patada' con malla de 300 μm y 30 cm de abertura, que se colocaron contra corriente para recibir el material removido por el pateo por espacio de 3 minutos. Para limpiar la muestra del exceso de



Figura 4. Equipos utilizados en la evaluación de la calidad del agua.

sedimento, se lavó a través de tamices de acero inoxidable (Fig. 5; Jáimez-Cuéllar et al., 2002).

En cada caso, las larvas se colocaron en bandejas plásticas para identificarlas directamente con lupas y con ayuda de cartillas, o se guardaron en alcohol al 70% para su identificación en el laboratorio con las claves taxonómicas de Roldán (1996), y Domínguez y Fernández (2009). Luego de determinar las familias de larvas, se calcularon los valores de los índices bióticos para cada punto del estudio.

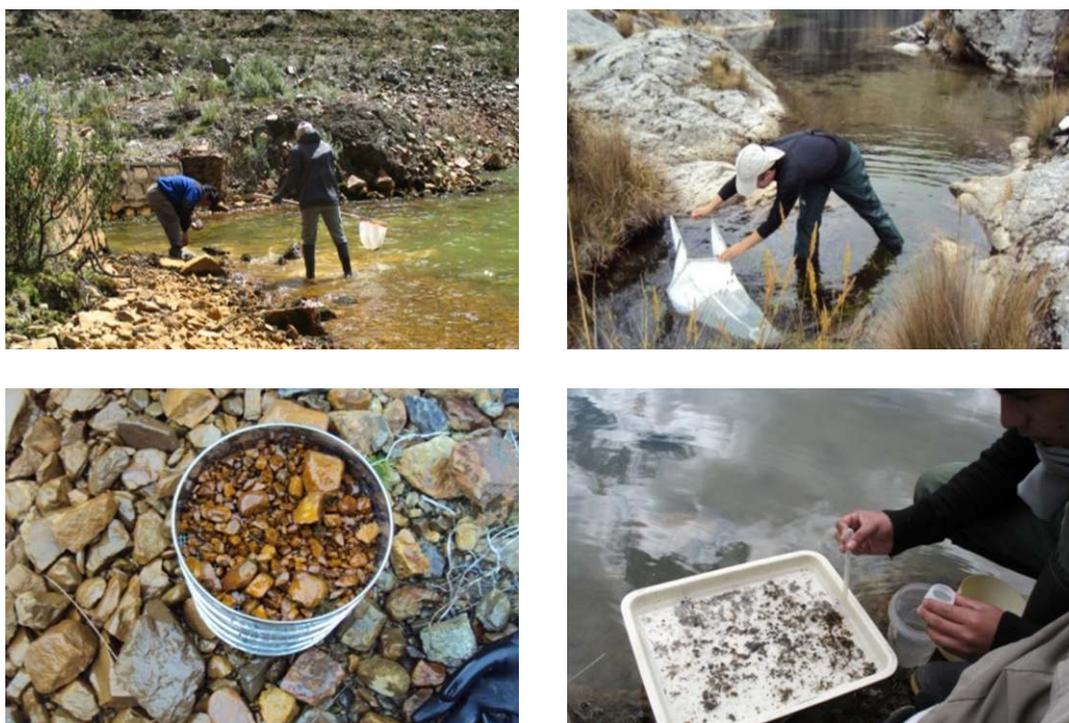


Figura 5. Métodos de colecta de bioindicadores (Lagunas Churup y Shallap)

Cálculo de un índice de la calidad del agua

Para determinar y clasificar la calidad del agua se usó el índice ABI (Andean Biotic Index – Índice Biótico Andino). Este clasifica a las familias de macroinvertebrados de acuerdo a su sensibilidad a la contaminación en una escala del 1 al 10. De acuerdo a ello, las familias más tolerantes tienen un puntaje de 1 y las más sensibles un puntaje de 10 (Anexo 1). Cuando se identifica un miembro de una familia, se anota el puntaje una única vez. Luego de la identificación de todos los organismos de la muestra, se suman los puntajes de las familias encontradas y se obtiene el puntaje total ABI. Luego, este valor se ubica en un rango de puntajes para clasificar la calidad de aguas y se le asigna un color que se representa en un mapa de la cuenca (Anexo 2).



Análisis de resultados

Los valores de metales en el agua se compararon con los estándares de calidad ambiental (ECA) vigentes para la Categoría I (aguas de uso poblacional que pueden ser potabilizadas) para determinar si existe un potencial riesgo sobre la salud humana a través del consumo del agua, y con los ECA para la Categoría III (riego de vegetales y bebida de animales) para determinar potenciales impactos de la contaminación en la salud humana a través del consumo de vegetales y carne animal.

Organización de talleres participativos

Con el fin de involucrar a las poblaciones rurales, se realizaron talleres informativos donde se presentaron los objetivos y resultados del proyecto, invitando a las comunidades a compartir experiencias y percepciones sobre la importancia de conservar las fuentes de agua en las cabeceras de cuenca y de adaptarse al cambio climático. Se realizó también un taller de capacitación sobre el muestreo de indicadores biológicos para la determinación e interpretación de la calidad del agua mediante el uso de cartillas con las imágenes de los bioindicadores (larvas).

Resultados e interpretación

Calidad del agua y sedimentos

Hubo diferencias importantes en la calidad del agua entre los lugares de referencia y los impactados por drenajes (Fig. 6). Los primeros (A, B) mostraron un pH casi neutro, una baja conductividad, STD y concentración de metales (Tabla 2). Por el contrario, los lugares impactados (C, D, E, F y G) mostraron un pH ácido, y una mayor conductividad, STD y niveles de metales. Entre estos últimos, como en el caso de los sedimentos (Tabla 3), el aluminio, hierro, manganeso, arsénico, cadmio y cromo excedieron los estándares de calidad ambiental (ECA) (Tabla 4).

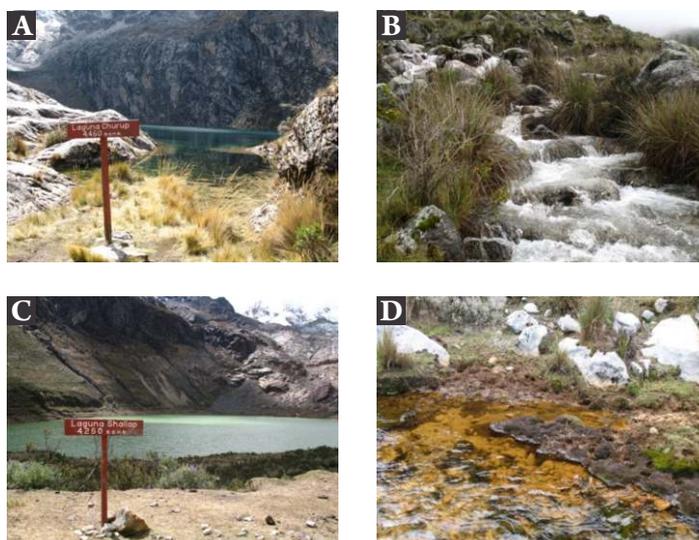


Figura 6. Algunos lugares de muestreo: A – Laguna Churup y B – río Churup (referencia); C – Laguna Shallap y D – Río Shallap (acidificados).

El retroceso de los glaciares ha expuesto a la intemperie rocas ricas en minerales y sulfuros, los que al oxidarse producen ácidos que favorecen la disolución de los metales y los movilizan hacia las lagunas y los ríos. Si bien algunos de estos metales pueden considerarse de riesgo porque exceden los ECA para el agua destinada a potabilización, riego de vegetales y consumo de animales, aquellos que se encuentran en concentraciones menores podrían alcanzar, en el tiempo, concentraciones tóxicas en el ambiente. Este fenómeno se denomina biomagnificación, y representa el incremento de las concentraciones y toxicidad de un contaminante, como los metales, a lo largo de las cadenas tróficas. Esto podría producir efectos nocivos a largo plazo en la biota acuática, las plantas, animales de consumo e incluso el hombre, sobre todo en las quebradas de Shallap y Quilcayhuanca, donde las

concentraciones de metales son elevadas.

En el caso de los sedimentos, los metales pueden adherirse a las partículas en el agua y ser arrastrados por la corriente río abajo. Son de particular riesgo los metales tóxicos que exceden los ECA para suelos agrícolas, como el arsénico, cadmio y cromo. Como en el caso del agua, otros metales en menor concentración, como el aluminio, cobalto, manganeso y estroncio, pueden incrementarse en el tiempo en las lagunas y ríos llegando a niveles tóxicos. Esto puede tener implicancias negativas para el consumo de la población y de animales, y para la agricultura, pues los metales transportados en los sedimentos podrían entrar en contacto con ellos y ser acumulados en periodos largos de tiempo para producir efectos crónicos.

Bioacumulación de metales en plantas

Se evaluó la concentración de metales en ejemplares de *Stipa ichu* (río Quilcayhuanca); en un musgo negro (no identificado) y ejemplares de los géneros *Lupinus* y *Baccharis* (Laguna Shallap); en dos macrofitas acuáticas, un alga (no identificadas) y ejemplares del género *Werneria nubigena* (río Shallap); y en ejemplares del género *Cortaderia* en la confluencia de los ríos Shallap y Quilcayhuanca (Tabla 5, Fig. 7). Se calculó además el Factor de Bioacumulación (FBA) (Tabla 6), que permitió

identificar especies acuáticas, como el musgo negro, las macrofitas y el alga, con gran capacidad de bioacumulación de aluminio, hierro, manganeso, estroncio y zinc. Entre las plantas terrestres, el género *Werneria* tuvo una mayor afinidad por cobre y zinc. Esto sugiere que algunas de estas especies podrían ser utilizadas en un sistema de tratamiento de pantanos artificiales para remover metales de cuerpos de agua afectados por drenajes ácidos (López Pamo et al., 2002).

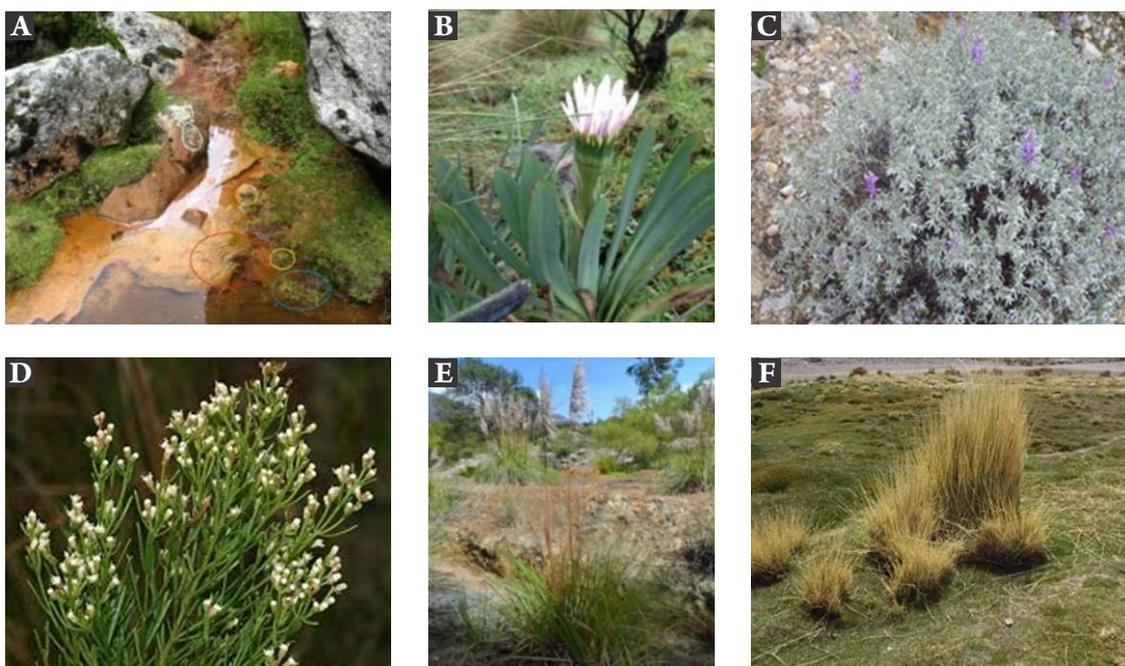


Figura 7. Géneros de plantas colectadas en la subcuenca de Quilcay: A – algas y macrofitas acuáticas, B – *Werneria nubigena*, C – *Lupinus* sp., D – *Baccharis* sp., E – *Cortaderia* sp. y F – *Stipa ichu*.

Tabla 2. Promedio anual de las condiciones fisicoquímicas y concentraciones de metales en aguas de los lugares de referencia (Ref; A – Laguna Churup y B – Río Churup) e impactados por metales (Met; C – Río Quilcayhuanca, D – Laguna Shallap, E – Río Shallap, F – Confluencia de los ríos Quilcayhuanca y Shallap, y G – río Auqui). En rojo se destacan los valores que exceden los ECA vigentes. ND = valores no detectables.

Lugar	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	OD (mg/L)	STD (ppm)	Al	Ca	Co	Fe (mg/L)	Mg	Mn	Si	Sr	Zn
Ref A	44	6.95	11.6	5.7	33	ND	6.51	ND	ND	0.30	ND	1.82	0.02	ND
Ref B	40	7.13	8.57	6.85	19	ND	6.22	ND	0.034	0.28	ND	2.02	0.02	0.006
Met C	217	3.60	11.4	6.6	110	1.74	16.71	0.01	1.53	5.44	0.73	3.95	0.07	0.19
Met D	218	3.63	9.6	5.8	187	2.99	6.77	0.02	2.23	3.73	0.59	1.99	0.02	0.27
Met E	128	4.08	9.2	5.7	101	1.77	6.39	0.01	0.67	2.59	0.36	2.36	0.03	0.18
Met F	155	3.71	12.3	6.5	78	1.45	12.36	0.01	0.70	3.96	0.53	3.48	0.06	0.16
Met G	160	4.42	10.5	6.3	119	1.54	11.49	0.01	0.99	3.83	0.49	3.48	0.05	0.15

Tabla 3. Promedio anual de metales (mg/kg) en sedimentos de los lugares impactados por metales. En rojo se destacan los valores que exceden los ECA vigentes. ND = valores no detectables.

Lugar	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
C	10387	27	19	0.52	2.92	7.6	3.97	29816	317	15.2	5.3	ND	9.6	386	18	51
D	10877	322	57	1.85	6.90	10.1	11.45	87530	508	39.0	5.1	41.7	31.8	757	38	88
E	10100	35	43	ND	4.10	9.7	1.10	27300	279	21.4	ND	ND	18.6	1050	36	48
F	9255	25	19	0.58	3.65	7.8	5.60	30205	265	15.0	ND	ND	8.7	487	19	47
G	10130	34	23	ND	4.95	ND	16.62	19534	204	ND	7.8	ND	11.6	332	24	61

Tabla 4. ECA vigentes de metales en agua (mg/L) y suelos agrícolas (mg/kg). NR = no registrado.

	pH	As	Al	Cd	Co	Cr	Fe	Fe	Mn	Zn
Cat1	5.5-9.0	0.01	0.2	0.003	NR	0.005	0.3	0.3	0.1	3
Cat 3-A	6.5-8.5	0.05	5	0.005	0.05	0.1	1	1	0.2	2
Cat 3-B	6.5-8.4	0.1	5	0.01	1	1	1	1	0.2	24
Cat 4	6.5-8.5	0.01	NR	0.004	NR	0.05	NR	NR	NR	0.03
Cat suelos	NR	50	NR	1.4	NR	0.4	NR	NR	NR	NR

Categoría 1. Aguas superficiales para la producción de agua potable
Categoría 3-A. Riego de vegetales de tallo bajo y alto
Categoría 3-B. Bebida de animales

Tabla 5. Promedio anual de las concentraciones de metales (mg/kg) en tejidos totales de plantas colectadas en lugares impactados por metales. ND = valores no detectables.

	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
Stipa ichu	1804	ND	25.1	ND	1.2	ND	10.3	1396	262	1.1	ND	ND	19	3	ND	30
Musgo negro	12200	149	51.1	ND	ND	8.3	59.1	191800	239	17.8	ND	179	65	859	29	170
Lupinus sp.	295	ND	10.8	ND	ND	ND	9	557	136	ND	5.9	ND	42	7	ND	50
Baccharis sp.	171	ND	5.2	2.6	ND	ND	15.7	686	67	ND	5.4	ND	18	6	ND	99
Macrofita A	362	215	29.1	2.8	4.6	ND	5.9	35500	447	34	ND	ND	167	6.5	64	160
Macrofita B	190	132	24.5	4.2	3.2	ND	3.3	36550	241	21.9	ND	ND	143	7.3	20	139
Alga	2850	790	60.9	ND	6	ND	7.8	184000	195	35.4	ND	13	82	194	17	103
Werneria sp.	743	ND	7.9	ND	13.2	ND	60.2	3910	1100	ND	63.8	ND	28	40	ND	380
Cortadeira sp.	477	8	2.3	ND	2.4	ND	15.1	5143	127	6.9	7.4	ND	5	5	ND	49

Tabla 6. Factor de Bioacumulación en la vegetación de las zonas afectadas por drenajes ácidos y metales. ND = valores no detectables.

	Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn
Stipa ichu	0.17368	1.32105	2.59446	0.04682	0.8265	1.97917	0.58824
Musgo negro	4080.27	ND	ND	86008.97	405.085	3250	629.63
Lupinus sp.	0.02712	0.18947	0.78603	0.006364	0.26772	1.32075	0.56818
Baccharis sp.	0.01572	0.09123	1.37118	0.007837	0.13189	0.56604	1.125
Macrofita A	204.52	ND	ND	52985.07	1241.67	5566.67	888.889
Macrofita B	107.345	ND	ND	54552.24	669.444	4766.67	772.222
Alga	1610.17	ND	ND	274626.9	541.667	2733.33	572.222
Werneria nubigena	0.07356	0.18372	54.7273	0.143223	3.94265	1.50538	7.91667
Cortadeira sp.	0.05154	0.12105	2.69643	0.17027	0.47925	0.57471	1.04255

Diversidad de bioindicadores

Se encontraron diferencias importantes en la composición de las familias de bioindicadores en los lugares de referencia e impactados por metales (Tabla 7, Fig. 8). Por ejemplo, en los lugares limpios, la abundancia y riqueza fue mayor que en los contaminados, probablemente debido a mejores condiciones ambientales, como un pH casi neutro, baja conductividad y poca concentración de metales. Además, se observó un mayor número de familias sensibles a la contaminación, como Gammaridae y Copepoda (crustáceos), Bivalvia (moluscos), Hydrophylidae (escarabajos), Leptophlebiidae ('moscas de mayo'), Perlidae ('moscas de las piedras') y Odontoceridae, Leptoceridae y Hydrobioscidae ('moscas con casilla'). Por el contrario, las familias Hydracarina ('ácaros') Chironomidae ('larvas rojas') y Empididae ('moscas') fueron más abundantes en los lugares ácidos y con metales, lo que sugiere una elevada

tolerancia a condiciones ambientales extremas.

Las diferencias en la composición de la fauna de bioindicadores acuáticos permitieron calcular el índice ABI para estimar la calidad del agua en las lagunas y ríos de la subcuenca de Quillcay (Anexo 1 y 2). Este cálculo permitió clasificar la calidad del agua del río Churup (B) como excelente, la de la Laguna Churup (A) como buena, la del río Quilcayhuanca (C) y la Laguna Shallap (D) entre mala y muy mala, la del río Shallap (E) y la confluencia de los ríos Shallap y Quilcayhuanca (F) como mala, y la del río Auqui (G) entre regular y mala. Esta información fue representada en colores en el mapa de la subcuenca de Quillcay (Fig. 9). Estos resultados corroboran los resultados de los análisis fisicoquímicos, lo que sugiere que el índice ABI podría utilizarse como una herramienta de diagnóstico sencilla, complementaria e integral de la calidad del agua a nivel de la subcuenca de Quillcay.

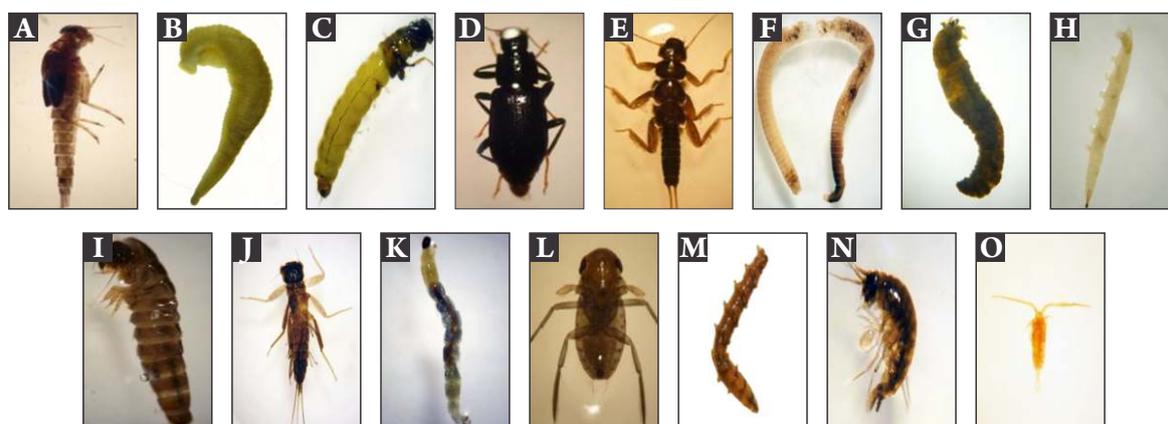


Figura 8. Algunos de los bioindicadores encontrados (de izquierda a derecha y de arriba a abajo): A - Baetidae, B - Hirudinea, C - Odontoceridae, D - Elmidae, E - Perlidae, F - Annelida, G - Tipulidae, H - Empididae, I - Scirtidae, J - Leptophlebiidae, K - Chironomidae, L - Corixidae, M- Tabanidae, N - Gammaridae, O - Copepoda.

Tabla 7. Abundancia, riqueza de familias de bioindicadores, e índice ABI con colores para los lugares de muestreo.

Orden/Familia	REFERENCIA							CONTAMINADO											
	Marzo		Julio		Noviembre			Marzo			Julio				Noviembre				
	A	B	A	B	A	B	D	E	G	C	D	E	F	G	C	D	E	F	G
No-insectos																			
Hydracarina			10	5		2	1					38	1				1		4
Gammaridae	40	1	1046	7	2493	21	1	1											17
Copepoda	3			5															
Annelida	1	2		13	17	3					1						3		
Bivalvia			59		11	2													
Hirudineo					23	3										2		1	1
Insectos																			
Diptera																			
Simuliidae	1	22						1	1										
Chironomidae	7	19	168	84	13	4	49	1	26	108	5	87	202	67	56	30	20	41	80
Tipulidae		4		9		1												1	1
Tabanidae		2							1										
Muscidae		1		3	1		1			3		3							
Empididae							1		1				10	14	12		1	1	24
Ceratopogonidae				12		1		1	2										1
Coleoptera																			
Elmidae		3		12					1			1		2					
Scirtidae				2			1		1										
Hydrophilidae			2																
Ephemeroptera																			
Baetidae		29	89	63		7				2						17	1		1
Leptophlebiidae				3															
Plecoptera																			
Perlidae		1																	
Trichoptera																			
Odontoceridae	3	1	54	1	6	5				1				26					
Leptoceridae	1	3	3		4	3			3										
Hydrobiosidae		1	5		2														
Hemiptera																			
Corixidae	187		92		9	10										180			
Abundancia	243	89	1528	219	2579	62	54	4	36	114	6	129	213	109	68	485	26	44	129
Riqueza	8	13	10	13	10	12	6	4	8	4	2	4	3	4	2	4	5	4	8
ABI	50	74	49	72	51	58	23	17	37	18	7	13	10	21	6	13	19	14	32

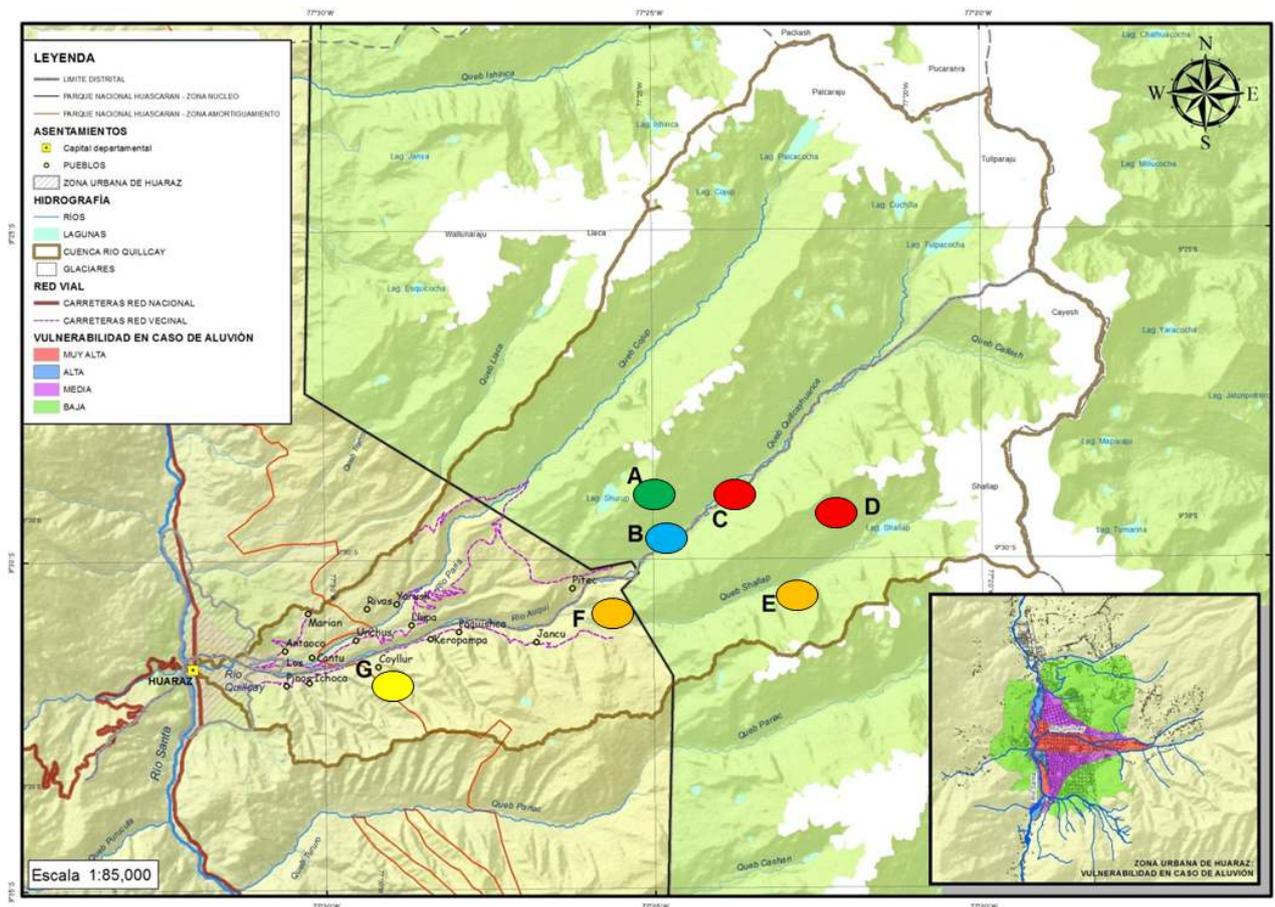


Figura 9. Mapa de la subcuenca de Quillcay señalando la calidad del agua en los lugares de muestreo de acuerdo a la clasificación de colores obtenida mediante el índice ABI (Andean Biotic Index).

Fuente: Denny Rivas / Instituto de Montaña.

Talleres participativos

El objetivo general de los talleres fue presentar el concepto de gestión integral de la subcuenca de Quillcay con enfoque de adaptación al cambio climático. Los objetivos específicos fueron 1) presentar el marco del proyecto “Implementación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Quillcay” del MINAM, y 2) presentar un ejemplo de intervención para la gestión de la subcuenca basada en información científica: calidad del agua (el presente trabajo).

Primer Taller – Huaraz

Se realizó el 1° de marzo de 2013 en el Hotel La Joya, Huaraz, con participación de funcionarios y representantes de los diferentes actores de la subcuenca del río Quillcay: Municipalidades de Huaraz e Independencia, Mancomunidad Municipal Tres Cuencas, Comité de Usuarios de Agua de Cojup, Autoridad Nacional/Local del Agua (ANA/ALA), Dirección Regional Agraria (DRA), Ministerio del Ambiente (MINAM), Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas – Parque Nacional Huascarán (SERNANP - PNH), Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Instituto de Montaña (IM), y Soluciones Prácticas. La dinámica de discusión, luego de las presentaciones, giró en torno a las preguntas y respuestas que se resumen a continuación:



Figura 10. Asistentes al primer taller en Huaraz.

1. ¿Qué experiencias se tiene sobre la medición y mejora de la calidad de agua?

- *Canrey Chico: estudio de la Universidad de Ámsterdam con el IM sobre dinámica, calidad y cantidad del agua. Organización de un Comité de Investigación Local en calidad de agua.*
- *Urpichallay: “Agua para siempre” y comités locales de monitoreo de agua (> 10 comunidades).*
- *Trabajo de minas con comités locales de monitoreo participativo.*
- *En la cuenca del Santa, las estructuras de medición son pocas, lo que hace difícil la gestión del agua y origina diversos conflictos.*
- *Trabajos de medición fisicoquímica y de bioindicadores (larvas de insectos) de calidad de agua en las Quebradas Honda, Aquilpo, Ishinca, Quilcayhuanca, Huancapetí (Aija) y Canrey por la Universidad de Ohio (EEUU), McGill (Canadá), UNASAM y UPCH (Perú). Medición de la acidificación del agua por retroceso glaciar (U. de Ohio). Evaluación de las especies de peces con respecto a la eutrofización de origen humano (lavado de ropa) por universidades de Francia.*
- *Humedales artificiales en Mesapata (UNASAM).*
- *Identificación de fuentes contaminantes (ALA).*
- *Se ha programado realizar un monitoreo de la calidad del río Santa en 2013.*
- *La Unidad de Gestión de Recursos Hídricos tiene estaciones de monitoreo hidrológico, y la UNASAM sistemas de monitoreo climatológico. Hay que reactivar la red hidrometeorológica de la cuenca del río Santa.*
- *Necesidad de establecer un año base que sirva como referencia para la evaluación comparativa de los cambios ambientales.*

2. ¿Qué impactos visibles existen sobre el cambio climático?

- *Retroceso considerable de la masa glaciar que afecta los ciclos hidrológicos, los paisajes y el turismo.*
- *La exposición de la base rocosa por la desglaciación causa drenajes ácidos y contaminación natural de las lagunas y los cursos de agua que descienden de los glaciares.*
- *Aumento de temperatura.*
- *El tiempo de lluvia es más corto y en distintas épocas del año, lo que hace difícil para los campesinos tener agua para los animales y las plantas (no hay almacenamiento en época seca).*
- *Desaparición de especies que antes abundaban en la zona (batracios, libélulas) y aparición de otras de zonas cálidas (ratas, zancudos). Adaptación de especies de flora y fauna fuera de su hábitat.*

3. ¿Qué impactos visibles existen sobre la disminución de la calidad de agua?

- *El agua potable que se consume en Huaraz, a pesar de su tratamiento, sigue siendo de mala calidad.*
- *Perturbación por eventos climáticos extremos, que producen acidificación y metales en arroyos (de aspecto rojizo).*
- *Presencia de sedimentos e incremento de carga orgánica por vertimientos sin tratamiento.*
- *Impactos en la agricultura y en la nutrición y salud de la población, que se manifiestan a través de enfermedades.*
- *Disminución de la biodiversidad. En algunos lugares no se encuentran truchas como antes existían.*

4. ¿Cómo se conecta la calidad de agua con mi sector?

- *Contaminación de las áreas de cultivo (acidificación de suelos), que limita la producción.*
- *PNH: la problemática de la calidad de agua puede ocasionar impactos en la biodiversidad del ANP. Nuestra contribución es apoyar las investigaciones, sobre todo las relacionadas a los objetivos focales de conservación (agua, flora, fauna).*
- *DRA: sensibilización sobre el buen uso de los RR.NN.*
- *IM: Ha apoyado/colaborado con investigadores en calidad de agua de la Universidad de Ámsterdam, UPCH y UNASAM. La calidad de agua tiene que ver con el manejo de información y educación, y se relaciona con diversos conflictos socio-ambientales.*
- *ALA: Se conecta directamente con la función de vigilar y fiscalizar la calidad de agua en fuentes naturales.*
- *UPCH/UNASAM: Oportunidad para validar métodos de evaluación de calidad de agua basados en información científica. Universidad de Ámsterdam/IM: estudio predictivo de calidad de agua en el río Santa.*

Segundo Taller – Coyllur

Se realizó el 2 de marzo de 2013 en el Centro de Salud de Coyllur. Participaron representantes y pobladores locales de Coyllur y de Ichoca. Las respuestas recogidas fueron las siguientes:

1. ¿Qué cambios se observan en el clima y qué afectan?

- *Intenso calor, pero no como antes. Últimamente mucho frío y granizadas, y heladas en tiempo de verano.*
- *El cambio de clima produce enfermedades respiratorias, y afecta tanto a animales como al ser humano. Aparecen plagas.*
- *A veces falta de lluvias, y otras, con caída de lluvias torrenciales con truenos, vientos fuertes y granizos.*
- *Desaparecen más nevados, hay retroceso.*

2. ¿Cómo es la calidad del agua para consumo? ¿Es buena? ¿Dónde es buena? ¿Dónde es mala?

- *Hace 30 años existían truchas en el río Quillcay.*
- *A lo largo del recorrido del río Quilcayhuanca y la Quebrada Shallap hay contaminación con ácido y óxidos de mineral y el agua potable que consumimos es captada de ahí mismo. Agua mala según los análisis.*
- *Hay agua potable en puquiales, el agua sale del subsuelo. Pero también hay agua potable entubada sin tratamiento de minerales, lo que hace peligrar la salud.*
- *La calidad del agua es buena en la laguna Azulcocha y Churup.*

3. ¿Qué soluciones podrían encontrarse para mejorar la calidad del agua?

- *Hacer un estudio del pH, minerales y patógenos (bacterias) en las lagunas y los puquiales. Que los especialistas propongan soluciones para el consumo del agua.*
- *Disminuir la contaminación de las fuentes de agua.*



Figura 11. Asistentes al segundo taller en Coyllur.

Tercer Taller – Marian

Se realizó el 2 de marzo de 2013 en el Centro Comunitario de Marian, con participación de representantes y pobladores locales, de Unchus y Llupa. La dinámica de discusión giró en torno a las preguntas y respuestas siguientes:

1. ¿Qué cambios se observan en el clima y qué afectan?

- *En las mañanas hace mucho calor y más frío en la noche. En las tardes llueve muy fuerte, torrencial. Hay granizo y heladas fuertes. La lluvia llega tarde y se corta en el periodo que era usual. ¿Calentamiento Global?*
- *El cambio es grande en estos años, sobre todo por la desglaciación de los nevados y la pérdida de agua para el consumo.*
- *Hay más contaminación del agua.*
- *Enfermedades a la piel, y también en la flora y fauna.*
- *Nuevos microorganismos y plagas desconocidas.*

2. ¿La calidad de agua es buena? ¿Dónde? ¿Desde cuándo? ¿En qué se nota?

- El agua de ahora es mala, negra, como en Quilcayhuanca. Se observa turbidez y el color cambia a amarillo cuando llueve. No debemos tomar esa agua. Antes era más cristalina y rica (Llupa).
- Contaminación por ganado y minas, desde los años 70. También por el desagüe y aguas servidas del centro poblado de Marian (con bacterias). Se nota en el río y acequias del barrio Antaoco Hay plásticos y pañales descartables que llegan esparcidos.
- En general, el agua de consumo humano es bastante mala. El agua de Marian es regular porque recibe un tratamiento con cloro, pero no es bueno. El agua de Llupa es mala.
- Más niños se enferman del estómago.
- El agua es escasa y ya no alcanza para la agricultura.

3. ¿Qué soluciones podrían encontrarse para mejorar la calidad de agua?

- Coordinación urgente con el gobierno nacional, regional y local para proyectos de inversión: presupuesto y mayor importancia. También con el Distrito de Independencia.
- Examinar, buscar dónde hay contaminación (monitoreos) y analizar el agua. Prevenir en las cabeceras de las cuencas.
- Que se haga una planta de agua potable, mejorando con cloro u otro tratamiento (Municipalidad de Independencia).
- Canalizar las aguas de consumo y mejorar los canales de riego (para evitar derrumbes y llegar a más usuarios).
- La solución es la reforestación (menos eucaliptos), uso de fertilizantes naturales, abonos orgánicos.
- Asumir responsabilidad en la población: quemas, limpieza y control.



Figura 12. Asistentes al tercer taller en Marián.

Cuarto Taller – Coyllur

Se realizó el 15 de febrero de 2014 en la Escuela de Coyllur, con participación de representantes y pobladores locales. La discusión giró en torno a la presentación de los resultados finales del proyecto, de las impresiones y percepciones de los asistentes, y de las sugerencias para enfrentar el problema de la calidad del agua.

¿Qué impresiones tienes sobre los resultados del proyecto?

- Estoy preocupada, no podemos regar con el agua.
- Los resultados de calidad de agua son sorprendentes, preocupantes. ¿Qué consecuencias traerá a nuestra salud, la agricultura, la ganadería?
- Hacer estudios para mejorar la calidad del agua, y eliminar los metales pesados y la acidez con los pantanos artificiales.



Figura 13. Asistentes al cuarto taller en Coyllur.

Repercusión del proyecto

El reto planteado por el cambio climático en la subcuenca de Quillcay en cuanto a la disponibilidad y calidad del agua, implica acciones urgentes de adaptación que contribuyan a disminuir sus impactos ambientales, sociales y económicos. Cualquiera sea la estrategia que se adopte, se requiere un fortalecimiento de las capacidades de los diferentes actores sociales para la protección y el manejo sostenible de los recursos hídricos. En ese sentido, los resultados de este proyecto ofrecen un panorama más completo sobre cómo el retroceso de los glaciares y los procesos biogeoquímicos están afectando la calidad del agua en las cabeceras de la subcuenca.

La generación de herramientas sencillas para evaluar la calidad del agua, como los índices bióticos basados en la biodiversidad acuática, puede integrarse a un modelo descentralizado de seguimiento y conservación de la subcuenca por parte de instituciones estatales, regionales y locales. Debido a que este método permite representar la calidad del agua mediante colores en un mapa, los resultados son fáciles de entender y socializar.

Además de proponer un sistema de monitoreo altamente participativo, estos resultados permiten explorar el rol fundamental del acceso a la información sobre la calidad ambiental en la toma de decisiones para mejorar el manejo de cuencas complejas, como la del río Santa. Evaluar la calidad del agua de manera integrada no sólo garantizaría condiciones adecuadas de salud para las comunidades locales, sino que aseguraría la productividad de actividades económicas de importancia en las cabeceras de cuenca, como la agricultura y la ganadería.

Finalmente, la identificación de especies de flora nativa con capacidad de acumular metales a partir del agua y los suelos es una aproximación importante para el diseño e instalación futura de sistemas de humedales artificiales (wetlands) destinados al tratamiento de aguas ácidas y metales pesados provenientes de procesos naturales de lixiviación de rocas ricas en minerales o de depósitos de minerales provenientes de una intensa minería pasada o actual.

Referencias

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., Prat, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35–64.
- Clements, WH, Brooks, ML, Kashian, DR, Zuellig, RE. 2008. Changes in dissolved organic material determine exposure of stream benthic communities to UV-B radiation and heavy metals: implications for climate change. *Global Change Biology*, 14, 2201 – 2214.
- Domínguez, E., Fernández, H. 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Tucumán Argentina: Fundación Miguel Lillo
- Giraud, C. 2013. *Proyecto “Construyendo capacidades científicas, sociales institucionales para el manejo y reducción del riesgo de avalanchas de lagos glaciares en la Cordillera Blanca, Perú”. Caso piloto: subcuenca de Quillcay-Laguna Palcacocha. Estudio de percepciones*. Instituto de Montaña, Huaraz.
- Hopkin, SP. 1993. In situ biological monitoring of pollution in terrestrial and aquatic ecosystems. In: *Handbook of Ecotoxicology. Vol 1* (Calow, P., Ed). Oxford. Blackwell Scientific. pp. 397–427.
- Jacobsen, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of the Ecuadorian highland streams. *Archives of Hydrobiology*, 143(2), 179–195.
- Jáimez-Cuellar, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sáinz-Cantero, C. E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, ML., Toro, M., Vidal-Abarca, MR., Zamora-Muñoz, C., Alba-Tercedor, J. 2002. Protocolo Rápido de Evaluación de la Calidad Ecológica (PRECE). *Limnetica*, 21(3-4): 187–204.
- Karr, JR. 1993. Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 1521–1531.
- Loayza-Muro, R., Duivenvoorden, JF, Kraak, MHS, Admiraal, W. 2014. Metal leaching and altitude confine benthic macroinvertebrate community composition in Andean streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(2), 404–411.
- López Pamo, E., Aduvire, O., Baretino, D. 2002. Tratamientos Pasivos de Drenajes Ácidos de Mina: Estado Actual y Perspectivas de Futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113: 1–7.
- Mark, BG., McKenzie, J. 2007. Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in water. *Environmental Science & Technology*, 40(20), 6955–6960.
- Roldán, G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquía*. Pama Editores Ltda. Bogotá, Colombia.
- Rosenberg, DM, Resh, VH. 1993. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York. Chapman and Hall. pp.1–9.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, BG., Bradley, RS. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth Science Reviews*, 89, 79–96.

Anexos

Anexo 1. Puntajes de las familias de macroinvertebrados según el índice ABI (Acosta et al., 2009).

Orden	Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
Turbellaria		5	Lepidoptera	Pyralidae	4
Hirudinea		3	Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Oligochaeta		1		Lampyridae	5
Gasteropoda	Ancylidae	6		Psephenidae	5
	Physidae	3		Scirtidae	
	Hydrobiidae	3		(Helodidae)	5
	Limnaeidae	3		Staphylinidae	3
	Planorbidae	3		Elmidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Dryopidae	5
Amphipoda	Hyaellidae	6		Gyrinidae	3
Ostracoda		3		Dytiscidae	3
Hydracarina		4		Hydrophilidae	3
Ephemeroptera	Baetidae	4	Diptera	Hydraenidae	5
	Leptophlebiidae	10		Blepharoceridae	10
	Leptohyphidae	7		Simuliidae	5
	Oligoneuridae	10		Tabanidae	4
Odonata	Aeshnidae	6		Tipulidae	5
	Gomphidae	8		Limoniidae	4
	Libellulidae	6		Ceratopogonidae	4
	Coenagrionidae	6		Dixidae	4
	Calopterygidae	8		Psychodidae	3
	Polythoridae	10		Dolichopodidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Stratiomyidae	4
	Gripopterygidae	10		Empididae	4
Heteroptera	Veliidae	5		Chironomidae	2
	Gerridae	5		Culicidae	2
	Corixidae	5		Muscidae	2
	Notonectidae	5		Ephydriidae	2
	Belostomatidae	4		Athericidae	10
	Naucoridae	5		Syrphidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Odontoceridae	10			
	Leptoceridae	8			
	Polycentropodidae	8			
	Hydroptilidae	6			
	Xiphocentronidae	8			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Hydropsychidae	5			
	Anomalopsychidae	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

Anexo 2. Clases de calidad de agua y rango de puntajes según el índice ABI (Acosta et al., 2009).

Calidad	Puntaje	Color
Excelente	>70	Azul
Buena	45-70	Verde
Regular	27-44	Amarillo
Mala	11-26	Anaranjado
Muy mala	<11	Rojo

CALIDAD DE AGUA EN CABECERAS DE CUENCAS ALTOANDINAS EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Una aproximación para evaluar la calidad del agua y
potencial remediación en la subcuenca de Quillcay

