

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS



**“APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA MÓVIL EN EL MONITOREO
BIOLÓGICO DE CALIDAD DE AGUA: CIENCIA PARTICIPATIVA
EN LA COMUNIDAD CAMPESINA CORDILLERA BLANCA”**

Presentada por:

VANESSA STEFANNY ARÉVALO SEIJAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN RECURSOS HÍDRICOS**

Lima – Perú

2023

Document Information

Analyzed document	VAS_VF4.pdf (D162239716)
Submitted	3/27/2023 1:07:00 AM
Submitted by	Maria Cristina Miglio Toledo
Submitter email	mcmiglio@lamolina.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	mcmiglio.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.ana.gob.pe/nosotros/planificacion-hidrica/plan-gestion-cuencas Fetched: 3/27/2023 1:09:00 AM		1
W	URL: https://panorama.solutions/es/solution/biorremediacion-en-la-comunidad-campesina-cordillera-bl... Fetched: 3/27/2023 1:10:00 AM		1
SA	1A_Leiva_Costa_Joseph_David_Título_Profesional_2022.docx Document 1A_Leiva_Costa_Joseph_David_Título_Profesional_2022.docx (D134703732)		1
SA	Trabajo titulación Robalino V5-01.docx Document Trabajo titulación Robalino V5-01.docx (D56335711)		2
SA	TESIS - WILDER SMITH AGUILAR COBA (1).docx Document TESIS - WILDER SMITH AGUILAR COBA (1).docx (D110678495)		5
SA	TIC FINAL HERRERA_MARIN PAO2222.pdf Document TIC FINAL HERRERA_MARIN PAO2222.pdf (D142668940)		3
W	URL: https://doi.org/10.21315/tlsr2017.28.2.11 Fetched: 3/27/2023 1:08:00 AM		1
W	URL: https://doi.org/10.3390/insects10030070 Fetched: 3/27/2023 1:08:00 AM		1
SA	INFORME FINAL TESIS NEYSER IDROGO.docx Document INFORME FINAL TESIS NEYSER IDROGO.docx (D112250731)		1
W	URL: https://doi.org/10.22323/2.15030204 Fetched: 3/27/2023 1:09:00 AM		1
W	URL: https://andina.pe/agencia/noticia-con-aplicativo-para-celulares-ashaninkas-fortalecen-monitore... Fetched: 3/27/2023 1:09:00 AM		1

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS**

**“APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA MÓVIL EN EL
MONITOREO BIOLÓGICO DE CALIDAD DE AGUA:
CIENCIA PARTICIPATIVA EN LA COMUNIDAD
CAMPESENA CORDILLERA BLANCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
*MAGISTER SCIENTIAE***

Presentada por:

VANESSA STEFANNY ARÉVALO SEIJAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. David Ascencios Templo
PRESIDENTE

Mg.Sc. María Cristina Miglio Toledo
ASESORA

Ph.D. Raúl Loayza Muro
CO-ASESOR

Ph.D. Haline Heidinger Abadía
MIEMBRO

Dra. Lía Ramos Fernández
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres. Gracias por todo su apoyo, cariño y enseñanzas, que me han forjado como la mujer que soy en la actualidad. Este logro va dedicado a ustedes con todo el amor del mundo. A Renzo, por su amor tan bonito y sano, sus palabras de apoyo y soporte en los momentos duros.

En memoria de mi Sassyta, que me recibía con mucha emoción cada que regresaba de las salidas de campo.

A mis asesores. A la profe Mary por su acertada orientación cuando me perdía entre mis datos. A Raúl por la oportunidad de trabajar en un increíble proyecto, por su gran apoyo y su amistad.

y dedicado a todos los participantes de la comunidad campesina Cordillera Blanca. Gracias por dejarme aprender de ustedes.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud sincera, a quienes me brindaron apoyo en mi sendero, en especial, a mis padres, por su aliento y consejo, y a mis asesores, por guiarme en esta tesis. A Cristina Miglio, mi gratitud por su apoyo, orientación y dirección y a Raúl Loayza, por sus valiosos consejos como mi mentor y a su vez por permitirme ser parte del proyecto CASCADA.

Un agradecimiento a Fiorella La Matta, Irina Neglia por su ayuda en la logística y planificación, igualmente, un agradecimiento al INAIGEM por su coordinación y apoyo para la realización de este trabajo.

A Julio Palomino y a los estudiantes de la UNASAM, gracias por su colaboración y buena disposición.

Finalmente, a los miembros de la comunidad campesina Cordillera Blanca, a Fructuosa, Robert, Vicente y Beatriz, mi gratitud sincera, por compartir y enseñarme sus saberes, que ha sido fundamental en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. CIENCIA PARTICIPATIVA.....	7
2.1.1. Ciencia participativa y gobernanza.....	10
2.1.2. Uso de tecnologías móviles en ciencia participativa	11
2.1.3. Ciencia participativa y calidad de agua	12
2.2. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES.....	14
2.2.1. Factores físico químicos que alteran la presencia de macroinvertebrados	16
2.2.2. Índices Bióticos	18
2.3. CORDILLERA DE LOS ANDES	21
2.4. PRIMERAS EXPERIENCIAS: COMITÉ DE USUARIOS DEL CANAL SHALLAP-HUAPISH-TOCLLA	22
2.4.1. Ámbito	22
2.4.2. Objetivo	23
2.4.3. Taller de capacitación	23
2.5. COMUNIDAD CAMPESINA CORDILLERA BLANCA	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.1.1. Tipo de la investigación.....	27
3.1.2. Nivel de la investigación	27
3.2. HIPÓTESIS	27
3.2.1. Hipótesis general	27
3.2.2. Hipótesis específicas.....	27
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.3.1. Población	28
3.3.2. Muestra	28

3.4. MATERIALES.....	29
3.4.1. Multiparámetro y GPS.....	29
3.4.2. Guías de identificación.....	29
3.4.3. Kits de muestreo.....	30
3.4.4. Aqua Biosmart.....	30
3.4.5. Elaboración de encuestas.....	35
3.5. MÉTODOS.....	40
3.5.1. Área de estudio.....	40
3.5.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y registro de coordenadas.....	43
3.5.3. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos.....	43
3.5.4. Identificación de macroinvertebrados bentónicos.....	44
3.5.5. Talleres de capacitación y evaluación.....	45
3.5.6. Encuestas.....	51
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	51
3.6.1. Análisis de eficacia del taller de capacitación en la identificación y uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart.....	51
3.6.2. Fiabilidad del instrumento.....	52
3.6.3. Codificación de encuestas.....	53
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. CAPACITACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE BIÓTICO ANDINO (IBA) Y EN EL USO DEL APLICATIVO MÓVIL AQUA BIOSMART.....	56
4.1.1. Talleres de capacitación.....	56
4.1.2. Encuesta preliminar.....	58
4.1.3. Demografía capacitados y acceso a tecnologías móviles.....	61
4.1.4. Encuesta de capacitación Aqua Biosmart.....	63
4.1.5. Encuesta de desempeño y conocimientos demostrados por los miembros del CIAL.....	68
4.1.6. Descripción fisicoquímica e Índice biótico andino (IBA) de los puntos de muestreo.....	71
4.1.7. Distribución de comunidad de macroinvertebrados.....	76
4.2. EFICACIA.....	78

4.2.1. Taller III.....	78
4.2.2. Taller IV.....	80
4.3. PERCEPCIONES, HABILIDADES E INTERÉS GANADO	86
4.3.1. Ciencia participativa	86
4.3.2. Conciencia ambiental.....	88
4.3.3. Educación	89
4.3.4. Gestión.....	92
4.3.5. Nube de palabras.....	109
V. CONCLUSIONES.....	113
VI. RECOMENDACIONES.....	115
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
VIII. ANEXOS	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Estado ecológico según el índice IBA	20
Cuadro 2: Asistencias por taller.....	28
Cuadro 3: Cálculo de tamaño de muestra.....	29
Cuadro 4: Rango de puntajes y color según el Índice Biótico Andino (IBA) para la clasificación de calidad de agua	33
Cuadro 5: Rango de puntajes y color según el Índice BMWP-Colombia para la clasificación de calidad de agua	34
Cuadro 6: Elementos y escala de la Encuesta 1	36
Cuadro 7: Elementos y escala de la Encuesta 2.....	37
Cuadro 8: Elementos y escala de la Encuesta 3.....	38
Cuadro 9: Elementos y escala de la Encuesta 4.....	39
Cuadro 10: Escala de medición de Likert.....	39
Cuadro 11: Coordenadas de puntos de muestreo.....	40
Cuadro 12: Codificación de respuestas de Encuesta 3	54
Cuadro 13: Características sociodemográficas de la población muestreada	61
Cuadro 14: Acceso a tecnología móvil.....	63
Cuadro 15: Análisis de fiabilidad (Alpha de Cronbach) de Encuesta 2	63
Cuadro 16: Evaluación de cada elemento con el Alpha de Cronbach.....	64
Cuadro 17: Calificación del aplicativo Aqua Biosmart (resultados en porcentaje)	64
Cuadro 18: Análisis de fiabilidad (Alpha de Cronbach) de la Encuesta 4	69
Cuadro 19: Evaluación de cada elemento con el Alpha de Cronbach.....	69
Cuadro 20: Resultados en porcentaje de la encuesta de desempeño	69
Cuadro 21: Ubicación y datos fisicoquímicos de los puntos de muestreo	71
Cuadro 22: Calidad IBA por punto de muestreo	72
Cuadro 23: Lista de familias de macroinvertebrados identificados en el taller III.....	79
Cuadro 24: Lista de familias de macroinvertebrados identificados en el taller IV	80
Cuadro 25: Habilidades adquiridas en la C.C. Cordillera Blanca por género.....	91
Cuadro 26: Habilidades adquiridas en la C.C. Cordillera Blanca por edad	91
Cuadro 27: Diez palabras más usadas en las encuestas de la C.C. Cordillera Blanca	110
Cuadro 28: Diez palabras más usadas en las encuestas de los alumnos de la UNASAM.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evaluación de programas de ciencia participativa.....	8
Figura 2: Presentación del proyecto CASCADA a los miembros del CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu” y representantes del INAIGEM	25
Figura 3: Vista de la Configuración de la región del Perú a evaluar.....	31
Figura 4: Vista del listado de órdenes y familias de la región seleccionada junto con su puntaje IBA (en el círculo azul) (en la imagen se muestra listado de familias de la región Sierra).....	32
Figura 5: Fotografía de <i>Hyaellidae</i> (Amphipoda).....	33
Figura 6: Vista de la calculadora IBA. Se presenta el total de la suma de los puntajes y la calidad a la que pertenece	34
Figura 7: Vista del acceso a los datos enviados desde la app hacia la nube.....	35
Figura 8: Mapa con puntos de calidad de agua provenientes del muestreo usando el aplicativo “Aqua Biosmart”.....	35
Figura 9: Mapa del área de estudios. Elaboración propia.....	41
Figura 10: Ejemplo de aplicación de pasos para la identificación de macroinvertebrados	45
Figura 11: Diagrama de los talleres de capacitación y evaluación.....	46
Figura 12: Fotografías de las familias faltantes.....	48
Figura 13: Diapositiva donde se recolectó las respuestas de los participantes con respecto a la importancia del agua.....	56
Figura 14: Resultados sobre conocimiento previo del uso de macroinvertebrados	58
Figura 15: Resultados de las preguntas de nivel de dificultad obtenida en el muestreo, identificación y cálculo índice IBA	59
Figura 16: Respuestas a las dificultades del análisis de calidad de agua	59
Figura 17: Respuestas de expectativas para los próximos talleres	60
Figura 18: Uso del aplicativo para monitoreo de calidad de agua.....	65
Figura 19: Ventajas del uso del aplicativo entre grupos de encuestados.....	66
Figura 20: Limitaciones del uso del aplicativo entre grupos de encuestados.....	66
Figura 21: Mapa de resultados de índice biótico andino (IBA) de puntos de muestreo en la comunidad campesina Cordillera Blanca	75
Figura 22: Comparación de las familias <i>Hydrobiosidae</i> y <i>Hydropsychidae</i>	80

Figura 23: Comparación de familias <i>Dolichopodidae</i> y <i>Limoniidae</i> (Díptera).....	82
Figura 24: Comparación de familias <i>Culicidae</i> y <i>Chironomidae</i> (Díptera)	82
Figura 25: Comparación de familias <i>Empididae</i> y <i>Tabanidae</i> (Díptera)	83
Figura 26: Conocimiento del término ciencia participativa en ambos grupos	87
Figura 27: Satisfacción de participación en un proyecto de ciencia participativa en ambos grupos.....	87
Figura 28: Interés de participar en otro proyecto de ciencia participativa por grupos	88
Figura 29: Impacto en percepción ambiental por grupos	88
Figura 30: Motivación para monitorear otras fuentes de agua	89
Figura 31: Motivación a buscar información sobre contaminación acuática	89
Figura 32: Siente que ha aprendido una nueva habilidad.....	90
Figura 33: Habilidades adquiridas por parte de la C.C. Cordillera Blanca	90
Figura 34: Habilidades adquiridas por los alumnos de la UNASAM	91
Figura 35: Interés en enseñar a otras comunidades	92
Figura 36: Metodología beneficia a la comunidad	92
Figura 37: Beneficios a la comunidad por la C.C. Cordillera Blanca	93
Figura 38: Razones para identificar buena calidad de agua por parte de C.C. Cordillera Blanca	93
Figura 39: Beneficios a la comunidad por los alumnos de la UNASAM.....	94
Figura 40: Razones para identificar buena calidad de agua por parte de los alumnos de la UNASAM.....	94
Figura 41: Metodología beneficia a la conservación.....	95
Figura 42: Beneficios a la conservación por la C.C. Cordillera Blanca	95
Figura 43: Beneficios a la conservación por los alumnos de la UNASAM	96
Figura 44: Considera que esta metodología pueda usarse para la gestión sobre el uso de agua.....	96
Figura 45: Aplicaciones en la gestión por la C.C. Cordillera Blanca.....	97
Figura 46: Evaluación de la calidad de agua para C.C. Cordillera Blanca.....	97
Figura 47: Aplicaciones en la gestión por los alumnos de la UNASAM	98
Figura 48: Evaluación de la calidad de agua para los alumnos de la UNASAM	98
Figura 49: Compartir información con organismos con la capacidad de toma de decisiones.....	99

Figura 50: Importancia de la transferencia de información con instituciones por la C.C. Cordillera Blanca.....	99
Figura 51: Importancia de la transferencia de información con instituciones para los alumnos de la UNASAM.....	100
Figura 52: Categorías de beneficios y motivaciones	105
Figura 53: Nube de palabras de las respuestas con mayor frecuencia de la C.C. Cordillera Blanca.....	111
Figura 54: Nube de palabras de las respuestas con mayor frecuencia de los alumnos de la UNASAM	111
Figura 55: Vista actual vs. Vista con modificaciones	116
Figura 56: Botón de editar información del punto	117
Figura 57: Visualización de los puntos en un mapa	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Programa para las actividades de capacitación.....	137
Anexo 2: Guía de identificación de macroinvertebrados	138
Anexo 3: Tutorial de uso de aplicativo móvil Aqua Biosmart	141
Anexo 4: Encuesta #1 para participantes del taller de capacitación en identificación de macroinvertebrados y cálculo de calidad de agua según índice IBA en la comunidad campesina Cordillera Blanca	142
Anexo 5: Encuesta #2: Uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart	143
Anexo 6: Encuesta #3: Percepciones en ciencia participativa, conciencia ambiental, educación y gestión	144
Anexo 7: Encuesta #4: Encuesta de satisfacción en la capacitación a alumnos de la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo	145
Anexo 8: Fotografías de zonas de muestreo	147
Anexo 9: Lista de familias de macroinvertebrados y sus puntajes por cada punto de muestreo.....	149
Anexo 10: Lista de puntajes según el Índice Biótico Andino	152
Anexo 11: Eficacia de identificación talleres de evaluación	153
Anexo 12: Asistencia Taller I.....	156
Anexo 13: Asistencia Taller II.....	157
Anexo 14: Constancia de entrega de kits de muestreo e identificación	158
Anexo 15: Asistencia Taller III	159
Anexo 16: Asistencia Taller IV	160
Anexo 17: Modelo de certificado de participación	162
Anexo 18: Galería fotográfica	163

RESUMEN

La presente investigación busca aplicar un modelo de ciencia participativa en la comunidad campesina Cordillera Blanca que permita generar información sobre la calidad de fuentes de agua naturales como una herramienta comunitaria para la adecuada gestión de los recursos hídricos. Para ello, se realizará la capacitación en el uso de la aplicación móvil “Aqua Biosmart”, basada en la presencia o ausencia de macroinvertebrados bentónicos, que permite identificar puntos de contaminación y transmitirlos de manera remota. Las comunidades en zonas altoandinas utilizan las fuentes de agua naturales de forma directa para su consumo y actividades productivas, por lo que es indispensable un monitoreo continuo de su calidad. Por ello, es importante proveer de herramientas que permitan conocer fácil y eficazmente, las condiciones de calidad del agua y poder tomar decisiones sobre su mejor uso. En este sentido, la participación y capacitación de la población local en el uso de estas herramientas de monitoreo es indispensable. El método más usado para evaluar la calidad del agua es el análisis fisicoquímico, que brinda información puntual de las condiciones ambientales en el momento del muestreo, pero no sobre los efectos de tales condiciones en el ecosistema acuático. Por eso, una forma de caracterizar la salud integral de los ecosistemas es mediante métodos biológicos, que permiten resumir los efectos de la contaminación u otros estresores ambientales a través de índices basados en la biodiversidad. A este respecto, el uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua, ha demostrado gran eficiencia en detectar puntos de alteración ambiental y la integridad ecológica en diversos sistemas acuáticos. La ciencia participativa es una metodología que involucra a la población local en el monitoreo de variables ambientales mediante capacitaciones didácticas en el uso de diferentes estrategias, que traigan beneficios a su comunidad en el largo plazo.

Palabras clave: Ciencia participativa, macroinvertebrados, calidad de agua, tecnología móvil, aplicativo móvil, Cordillera Blanca

ABSTRACT

This research seeks to apply a participatory science model in the rural community of Cordillera Blanca to generate information on the quality of natural water sources as a community tool for the proper management of water resources. For this purpose, training will be provided in the use of the mobile application "Aqua Biosmart", based on the presence or absence of benthic macroinvertebrates, which allows identifying contamination points and transmitting them remotely. Communities in high Andean areas, use natural water sources directly for consumption and productive activities, so continuous monitoring of water quality is essential. Therefore, it is important to provide tools that make it possible to easily and effectively evaluate water quality conditions and make decisions on its best use. In this sense, the participation and training of the local population in the use of these monitoring tools is indispensable. The most commonly used method to assess water quality is physicochemical analysis, which provides timely information on environmental conditions at the time of sampling, but not on the effects of such conditions on the aquatic ecosystem. Therefore, one way to characterize the overall health of ecosystems is through biological methods, which allows to summarize the effects of pollution or other environmental stressors through biodiversity-based indices. In this regard, the use of benthic macroinvertebrates as indicators of water quality has shown great efficiency in detecting points of environmental alteration and ecological integrity in diverse aquatic systems. Participatory science is a methodology that involves the local population in the monitoring of environmental variables through didactic training in the use of different strategies that bring long-term benefits to the community.

Keywords: Citizen science, macroinvertebrates, water quality, mobile technology, mobile application, Cordillera Blanca.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente en el Perú, la participación social de las comunidades locales y nativas en el ámbito de la gestión de cuencas se da por medio de un representante ante los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC), los cuales tienen como finalidad la planificación, coordinación y concertación para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos (Autoridad Nacional del Agua s.f.).

Si bien la Ley General del Ambiente y la Ley de Recursos Hídricos promueven la participación ciudadana en el monitoreo de agua y toma de decisiones, existen pocos proyectos de investigación de evaluación de calidad de agua que incentiven la colaboración de comunidades locales. Sobre todo, en zonas vulnerables a eventos relacionados al cambio climático, como método de alerta temprana para la elaboración de políticas de gestión y mitigación de riesgos.

En el Perú existen pocos proyectos que involucren participantes locales, que no cuenten con formación académica en temas hídricos en la evaluación de calidad de agua. Lo que se busca a través de la participación de la población, es generar interés, conocimiento científico y conciencia de conservación de ecosistemas acuáticos. Uno de los ejemplos de ciencia participativa en el Perú, es el proyecto “Ciencia Ciudadana para la Amazonía” del Instituto del Bien Común que implementó un aplicativo móvil llamado “Ictio” para el registro de peces migratorios por parte de las comunidades indígenas asháninkas que habitan en la reserva de Biósfera Oxapampa Asháninka Yánesha. La información recabada por este aplicativo fue presentada a las autoridades municipales con la finalidad de generar compromisos para la conservación del recurso pesquero (Andina 2022). En 2010, la Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (*iMHEA*), buscó generar conocimiento sobre la hidrología de los ecosistemas andinos, para mejorar la toma de decisiones respecto a la gestión de recursos hídricos en los Andes bolivianos, ecuatorianos

y peruanos, usando el modelo de monitoreo participativo, en el cual se destacó la cogeneración de conocimiento de ambas partes: científicos y comunidades locales (CONDESAN s.f.; Fog 2018).

El caso más reciente, fue el lanzamiento del aplicativo móvil “Nuestro Río” de la Universidad de Plymouth (Reino Unido), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), y el Instituto de Montaña, que mide percepciones de la calidad de agua de los voluntarios mediante envío de fotografías (Proyecto Nuestro Río 2021).

La presente investigación se desarrollará en la comunidad campesina Cordillera Blanca, en el distrito de Olleros, Ancash, y está dirigida a los miembros del Comité de Investigación Agropecuaria Local (CIAL) “Alli Yacu, Alli Pastu” y a socios de la comunidad.

El río Negro recorre el poblado de Canrey Chico, en el distrito de Olleros. Luego del terremoto del año 70, la población percibió cambios en la coloración (de oscuro a anaranjado) y calidad del río (Equator Initiative 2022). Estas alteraciones a la calidad del agua se conocen como drenaje ácido de roca (DAR), y debido al cambio climático se hacen más comunes (INAIGEM 2019). El DAR modifica la calidad del agua de las cabeceras de las cuencas, afectando las partes bajas y poniendo en riesgo la salud de las personas que usan el agua directamente y para actividades productivas agropecuarias (Loayza-Muro 2014). Por esta razón, en el año 2016, el Instituto de Montaña en cooperación con USAID, diseñó y construyó un humedal artificial para remediar las aguas ácidas (Zimmer *et al.* 2018). Las comprobaciones de eficacia del humedal artificial a pequeña escala registraron una mejora en el pH 3.5 a 5.7 y cambios en la coloración del agua de rojo oscuro a transparente (Equator Initiative 2022).

Para medir la calidad de agua, el método más usado es el análisis fisicoquímico, pero este brinda información de las condiciones del ambiente en el momento de la toma de la muestra, sin proveer más información de los posibles estresores a los que está sometido el ambiente (Buss 2008). Por eso, una forma de caracterizar la salud integral de los ecosistemas es mediante métodos biológicos, lo que permite evaluar los efectos de la contaminación u otros

estresores ambientales a través del análisis de elementos bióticos en los cuerpos de agua (Awal & Svozil 2010). La utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua, han demostrado gran eficiencia en detectar puntos de alteración ambiental y la integridad ecológica en diversos sistemas acuáticos (Tampo *et al.* 2021). La metodología consiste en la identificación de las familias de macroinvertebrados presentes en el ambiente acuático a evaluar, y posteriormente se utiliza un índice biótico que mide la tolerancia de la familia a la contaminación. En el Perú se utiliza el índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party) (Armitage *et al.* 1983) y el Índice Biótico Andino (IBA). Este último se adapta mejor a los Andes ya que se modificó para la distribución de familias presentes por encima de los 2000 msnm (Acosta *et al.* 2009; Ríos-Touma *et al.* 2014).

Para la evaluación y monitoreo biológico de participantes locales, se busca opciones didácticas que permitan la fácil identificación de las familias de macroinvertebrados por sus características físicas, como la utilización de guías (Flores & Huamantínco 2018). En Reino Unido se desarrolló una iniciativa exitosa de monitoreo, el Anglers Riverfly Monitoring Initiative (ARMI por sus siglas en inglés), la cual fue un proyecto de monitoreo de la calidad de ríos utilizando más de 2 mil voluntarios, evaluando más de 1600 puntos en 35 regiones de Reino Unido. Los voluntarios fueron capacitados mediante talleres y guías (Brooks *et al.* 2019). En el Perú, el Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, ha desarrollado una aplicación móvil llamada “Aqua Biosmart”, en la que, a través de fotografías, los usuarios pueden identificar los macroinvertebrados de su región, calcular la calidad del agua mediante índices bióticos y reportar los resultados de forma remota.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos tiene en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales de forma equilibrada que le posibilita un desarrollo sostenible. Este enfoque permite la cooperación de distintos actores de diferentes escalas, que favorece la formulación de políticas que generen una adecuada gobernabilidad con el fin de facultar decisiones equitativas y sostenibles (Global Water Partnership 2009).

La gestión integral de los recursos hídricos se vale de procesos de descentralización y el involucramiento de las poblaciones locales y rurales en la gestión, administración y aprovechamiento de los recursos. Al ser aplicados adecuadamente, contribuyen con

información directa a las instituciones del gobierno, empresas privadas y Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), de manera que puedan utilizarse como un mecanismo de alerta y anticiparse a problemas. Por otro lado, representan un ahorro de recursos, ya que el trabajo participativo es una alternativa para los proyectos de monitoreo y actividades que requieren de la obtención de gran cantidad de datos (Cunha *et al.* 2017; Espinal 2010; Guerrero-de León *et al.* 2010).

Por otro lado, las motivaciones más importantes en las comunidades locales son el propósito de contribuir a la ciencia, ayudar al ambiente y aprender. Otros factores asociados con una participación ciudadana sostenible son la buena comunicación, el intercambio de información, y la oportunidad de interacción social de los participantes (Adler *et al.* 2020; West & Pateman 2016).

Los proyectos con participación de la población generalmente buscan: a) resultados para la investigación (ejemplo: datos); b) resultados para los participantes (ejemplo: conocimiento nuevo, experiencia); y c) resultados para el sistema social-ecológico (ej: nuevas políticas, capacidad de toma de decisiones en la comunidad, acciones de conservación). Esta combinación de resultados tiene el potencial de convertirse en herramienta para la toma de decisiones en la gestión integrada de los recursos (Shirk *et al.* 2012).

La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) en su artículo 134 menciona que la población puede contribuir como fiscalizadora y controladora por medio de mediciones, muestreos o monitoreo ambiental. Igualmente, el tercer principio en la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338) es la participación de la población y la cultura del agua, en las cuales se busca su colaboración para la toma de decisiones que afectan la calidad, cantidad y oportunidad del recurso hídrico, sobre todo en zonas vulnerables a los efectos del calentamiento global.

El cambio climático viene afectando la disponibilidad de recursos hídricos en todo el mundo. El Perú no es ajeno a este problema; el área glaciaria de la Cordillera Blanca en 1955/1962 era de 726.26 km² y en 2016 se redujo en 38.20 por ciento a 448 km² (INAIGEM 2019). Se estima que la superficie glaciaria en el país se reducirá a 75 por ciento hacia 2080 (Juen *et al.* 2007). Debido al retroceso glaciario, la roca queda expuesta y, por procesos naturales de

lixiviación y oxidación de sulfuros, como la pirita, se produce drenaje ácido que moviliza metales pesados y contamina fuentes de agua que serán utilizadas cuenca abajo (Loayza-Muro 2014).

La comunidad Cordillera Blanca, localizada entre los límites de los distritos de Recuay y Olleros, recibe principalmente aguas del río Negro, perteneciente a la cuenca del Santa. La calidad del río Negro se ha visto afectada en los últimos 50 años debido al DAR proveniente del retroceso glaciar. Debido a estas alteraciones, proyectos de adaptación basada en ecosistemas, como la construcción de un humedal artificial en la localidad de Canrey Chico (Turin 2021; Zimmer *et al.* 2018), han demostrado ser efectivos en la biorremediación de las aguas ácidas, mejorando el pH y recuperando el agua del río Negro para beneficio de la comunidad. Sin embargo, la comunidad también percibe fuentes de agua de diversas quebradas que no se han visto afectadas por el DAR, como Uquíán, Quilloc, Araranca, que son actualmente utilizadas en actividades ganaderas.

Para la evaluación de la calidad de estas fuentes de agua y el progreso de la actividad biorremediadora, es importante brindar herramientas para la evaluación de la eficacia de sus esfuerzos de recuperación. Para ello, se propone realizar un seguimiento a través del monitoreo biológico de macroinvertebrados acuáticos. Además de ser un método de bajo costo, estos organismos reflejan la calidad integral de los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia se da por una serie de condiciones ambientales frente a las cuales muestran diferentes niveles de sensibilidad o tolerancia (Roldán-Pérez 2016).

El desarrollo de metodologías para involucrar a la población en ciencia participativa (guías, protocolos, organizaciones, aplicaciones móviles) ha aumentado el uso de voluntarios para obtener información, así como mejorado la calidad de los datos obtenidos en una práctica reconocida en Europa y América del Norte (August *et al.* 2019). Igualmente, el incremento al acceso a internet y aplicativos móviles ha resultado en un mayor interés en la intervención poblacional en ciencia participativa (Bonney *et al.* 2014).

Es importante proponer alternativas que permitan a las comunidades locales evaluar de manera autónoma la calidad de sus ambientes. La participación ciudadana en zonas vulnerables a impactos en recursos hídricos tiene el potencial de ser una herramienta de

evaluación de calidad de agua para las comunidades y preparación para una adecuada gestión de mitigación ante los efectos del cambio climático. La presente investigación se lleva a cabo dentro del marco del proyecto CASCADA: “Cascading impacts of Peruvian glacier shrinkage on biogeochemical cycling and acid drainage in aquatic ecosystems-Toxin or Treat?” (006-2019 FONDECYT), que busca medir la eficacia de la participación de los miembros del Comité de Investigación Agropecuaria Local (CIAL) “Alli Yacu, Alli Pastu” en la evaluación de la calidad del agua mediante el uso de la aplicación ‘Aqua Biosmart’. Esta es la primera vez que se realiza un estudio utilizando tecnología móvil en zonas rurales altoandinas para la evaluación y reporte de calidad de agua en el Perú.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia de un modelo de ciencia participativa en el monitoreo biológico de calidad de agua a través del uso de un aplicativo móvil en la comunidad campesina Cordillera Blanca, Recuay (Áncash).

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Capacitar a los miembros del Comité de Investigación Agropecuaria Local (CIAL) “Alli Yacu, Alli Pastu” y de la C.C. Cordillera Blanca en la identificación de macroinvertebrados bentónicos para el cálculo del Índice Biótico Andino (IBA) mediante el uso del aplicativo móvil “Aqua Biosmart”.
- b. Evaluar la eficacia del uso del aplicativo móvil “Aqua Biosmart” a través de la identificación de macroinvertebrados y la evaluación IBA para evaluar la calidad de agua por parte de los miembros capacitados.
- c. Identificar las habilidades obtenidas, percepciones e intereses derivados del uso del aplicativo móvil “Aqua Biosmart” en la gestión de los recursos hídricos de los miembros capacitados

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CIENCIA PARTICIPATIVA

La gestión integral de recursos hídricos debe incluir procesos de descentralización e integración de comunidades locales y partes interesadas en el manejo, administración y aprovechamiento de sus recursos y cuencas (Conrad & Hilchey 2011; Guerrero-de León *et al.* 2010).

La ciencia participativa propone la generación de conocimiento entre científicos y voluntarios en distintos temas de investigación como ambiental y cultural. Estos voluntarios se involucran en colección de datos, pero en algunos casos pueden verse envueltos en la interpretación de datos, generación de preguntas, diseño de proyectos y resultados, además de influenciar y compartir las iniciativas de desarrollo, decisiones de planes locales (August *et al.* 2019; Blaney *et al.* 2016; Espinal 2010).

Esta iniciativa brinda a las comunidades información de su medio, opinión y a influir en la gestión sobre su localidad. La ciencia participativa de ser aplicada correctamente por las instituciones puede generar información relevante para manejo de riesgos ambientales, información para planes de manejo, ahorro de recursos, y favorecer comunicación con la comunidad (August *et al.* 2019; Cunha *et al.* 2017).

Estos proyectos proveen de oportunidades a las personas de crear interés en temas nuevos para ellos o expandir intereses ya existentes, además de proveer gran cobertura espacial y la obtención de gran cantidad de datos, la posibilidad de compromiso de la población local en la ciencia y ambiente, y aumentar el costo efectivo (menor costo) del monitoreo comparado a los de un profesional. Otro punto que a favor de la ciencia participativa es el de la oportunidad para los voluntarios de desarrollar habilidades relacionadas a la ciencia, como identificar variedad de organismos, uso de instrumentos de medición, recolección de datos, (Bonney *et al.* 2009), la inclusión de los voluntarios en los proponer soluciones para

problemas locales, el apoyo a instituciones y los beneficios para los ecosistemas que se monitorean (Conrad & Hilchey 2011).

Los posibles impactos del aprendizaje obtenido en proyectos de ciencia participativa pueden abarcar diferentes escalas: a nivel individual, programático y comunitario (Figura 1). Evaluar estas escalas de aprendizaje pueden aumentar las posibilidades de éxito del proyecto y contribuir a su resiliencia (Jordan *et al.* 2012).



Figura 1: Evaluación de programas de ciencia participativa

FUENTE: Adaptado de Jordan *et al.* (2012)

Un ejemplo de la aplicación de ciencia participativa para la recolección de datos y educación, fue realizado por el Instituto Smithsonian, que lanzó una plataforma llamada *eMammal*, el cual entrenó a voluntarios en la colocación cámaras trampa en busca de capturar fotografías de animales salvajes en distintas regiones de Estados Unidos e identificarlos a través de una página web. El objetivo fue generar datos de distribución de animales para proyectos científicos, pero a su vez educar a la población en la identificación y concientización para la conservación de áreas naturales (Forrester *et al.* 2017).

Existen diversos métodos de involucrar a la población en estudios científicos (Bonney *et al.* 2009).

- a. Proyectos contributivos, los cuales son proyectos diseñados por científicos y cuentan con la población para la obtención de datos.
- b. Proyectos colaborativos, diseñados por científicos y la población interviene en la obtención de datos, pero además ayuda a refinar el diseño del proyecto, análisis de datos o análisis de resultados.
- c. Proyectos co-creados, diseñados por científicos y miembros de la comunidad y en los cuales parte de la población se encuentra involucrada en el proceso científico.

No obstante, la ciencia participativa también presenta limitaciones. Desde el punto de vista de desarrollo del programa, el costo de las capacitaciones y el compromiso a largo plazo de los voluntarios, puede presentarse como un obstáculo para los investigadores (Thornhill *et al.* 2016).

Por otro lado, la preocupación radica en la calidad de los datos, falta de control en el monitoreo (vacíos en la cobertura, registro inadecuado), algunas actividades pueden resultar inadecuadas para algunos voluntarios (restricción de accesos), falta de financiamiento, recursos y experiencia en la organización, falta de interés a largo plazo (Blaney *et al.* 2016; Thornhill *et al.* 2019).

Sin embargo, algunos estudios (Engel & Voshell 2002; Fore *et al.* 2001; Lewandowski & Specht 2015) muestran que la calidad de los datos colectados por voluntarios es comparable a los colectados por profesionales. La calidad de los datos va a depender de las herramientas brindadas en los entrenamientos, la duración de estos, la retroalimentación recibida por los entrenadores (Ratnieks *et al.* 2016), y la experiencia previa de los voluntarios (Dickinson *et al.* 2010; Parrish *et al.* 2019).

Para reducir los errores y mejorar la calidad de los datos, los protocolos y las tareas para proyectos de ciencia participativa tienden a ser sencillos y fáciles de seguir (Katrak-Adefowora *et al.* 2020; Moolna *et al.* 2020).

En situaciones cuando la identificación de taxas es complicada, se busca que la clasificación sea a niveles altos para facilitar la colecta de datos, sin embargo, es importante mantener la

misma metodología entre voluntarios y profesionales para hacer comparable los datos obtenidos. La elección de los voluntarios es un componente crítico para el éxito de los proyectos de ciencia participativa. Ya que, dependiendo de sus motivaciones y compromisos, una retención a largo plazo puede generar mejora de calidad de los datos debido a que mejora la experiencia de recolección (Cooper *et al.* 2007; Lewandowski & Specht 2015).

Los entrenamientos en persona y entrenamientos en campo suelen ser la metodología más recomendada para coleccionar datos de calidad (Kremen *et al.* 2011; Lewandowski & Specht 2015; Ratnieks *et al.* 2016), ya que se sugiere que la capacitación en campo puede mejorar la comprensión de un protocolo y generar familiaridad con el plan de monitoreo (Thompson & Mapstone 1997).

2.1.1. Ciencia participativa y gobernanza

La gobernanza es definida como las instituciones, estructuras y procesos que determinan quién toma las decisiones, las acciones que se aplican, y los resultados. Por otro lado, la gestión son los recursos, planes y acciones que resultan del funcionamiento de la gobernanza. La gobernanza ambiental tiene como objetivo gestionar las acciones individuales o colectivas en favor de los bienes ambientales públicos (Bennett & Satterfield 2018).

Bonney (2020) adapta el marco para la gobernanza ambiental propuesto por Bennett & Satterfield (2018) para evaluar el beneficio de la ciencia participativa en la gobernanza hídrica. Este marco cuenta con cuatro objetivos: ser eficaz, ser equitativo, ser receptivo y ser sólido.

- Ser eficaz: refiere a la capacidad de mantener la funcionalidad e integridad de los sistemas sociales y ambientales. La ciencia participativa respalda este objetivo al aportar al crecimiento de la base de datos y conocimiento para informar adecuadamente en las decisiones de gestión y políticas.
- Ser equitativo: los procesos de toma de decisiones son justos, inclusivos, transparentes y representativos. La ciencia participativa permite el involucramiento de distintas partes interesadas, culturas y experiencias que faculta el diálogo, el intercambio de ideas y una mayor participación cívica de los voluntarios.
- Ser receptivo: refiere a adaptarse a las condiciones sociales y ambientales

fluctuantes. La ciencia participativa fortalece este objetivo mediante la promoción del aprendizaje a través de las conexiones sociales que, a diferencia del aprendizaje individual, este proceso puede generar cambio de actitudes, creencias y normas sociales.

- Ser sólido: refiere al funcionamiento general de las instituciones y la capacidad de perdurar en el tiempo frente a las perturbaciones o crisis externas. La ciencia participativa aporta a la solidez a través del aumento de redes de desarrollo de proyectos y generación de conocimiento como: organizaciones gubernamentales de investigación y monitoreo, científicos ciudadanos, escuelas, instituciones académicas, entre otros.

2.1.2. Uso de tecnologías móviles en ciencia participativa

El uso de tecnologías móviles y el internet han facilitado el desarrollo de diversos proyectos de ciencia participativa mediante acceso a herramientas que permiten clasificar, identificar, interpretar y analizar datos, que previamente dificulta la labor de los voluntarios (Bonney *et al.* 2014).

El incremento del acceso a internet y a las tecnologías móviles resulta en un mayor número de personas interesadas en la participación científica que pasan de recolección de datos a acciones organizadas por las mismas comunidades.

Se cree que el uso de aplicativos móviles y teléfonos celulares puedan contribuir sustancialmente en programas de monitoreo, vigilancia de ecosistemas y programas de conservación (Johansen *et al.* 2021).

En los últimos años, el uso de la inteligencia artificial para el reconocimiento de imágenes, facilita la identificación, minimiza errores y proporciona un mecanismo de control de calidad de los datos recolectados. Esta herramienta puede reducir sesgos taxonómicos en datos de diversidad, donde ciertas especies tienden a ser sobrerrepresentadas, mientras que especies más complicadas de identificar fácilmente no son contadas (Koch *et al.* 2022) además pueden reducir el tiempo de procesamiento (Gadsden *et al.* 2021).

Aplicativos móviles como *eBird*, *iNaturalist*, *iSpot*, *Blooms for Bees* y *Medjelly* recolectan una gran cantidad de observaciones realizadas por voluntarios sin entrenamiento profesional y benefician al conocimiento y al involucramiento del público en general (Dickinson *et al.* 2010; Falk *et al.* 2019; Koch *et al.* 2022; Marambio *et al.* 2016).

Las ventajas del uso de estas plataformas, es que permite reunir y comparar los datos, de modo que se genera un enfoque consistente, permite un control de calidad y compartir la información con el público y la comunidad científica (Thornhill *et al.* 2016).

El Centro de Investigación del Agua Stroud lanzó el aplicativo móvil de pago llamado *Water quality app* en octubre de 2012, como herramienta de aprendizaje y recopilación de datos de monitoreo del agua diseñada para ser utilizada por educadores y sus estudiantes, ciudadanos científicos e investigadores (Stroud Water Research Center 2022). El aplicativo cuenta con imágenes de macroinvertebrados para facilitar la identificación y una calculadora para el índice de tolerancia a la contaminación. Finalmente, posee una plataforma web para el registro de la calidad del agua en distintas áreas (Redling 2013).

2.1.3. Ciencia participativa y calidad de agua

Cada vez es más común involucrar a ciudadanos en proyectos de evaluación biológica para programas de ecología y conservación. Estos con el fin de monitorear la distribución y abundancia de especies y cambios en las características de los hábitats debido al cambio climático en un amplio rango espacial y temporal (Adler *et al.* 2020; Dickinson *et al.* 2010). Las evaluaciones voluntarias de la calidad del agua ha sido una parte fundamental en los proyectos de ciencia participativa a lo largo del tiempo, atrayendo a diversas partes interesadas en calidad de ríos, como asociaciones de pescadores, propietarios de tierras y comunidades, que desean detectar y prevenir la contaminación (Bonney *et al.* 2014).

Si bien, mantener un grupo de voluntarios interesados en el tiempo puede ser difícil, una vez establecidos, estos voluntarios pueden abarcar planes de monitoreo y gestión a una escala mucho mayor de lo que sería posible a evaluadores locales o proyectos científicos (Cooper *et al.* 2007).

Los objetivos de los grupos de voluntarios son varios. Algunos buscan recabar datos para usarlo en procesos regulatorios o mecanismos de gestión, mientras otros buscan promover la concientización en temas de calidad de agua (Nerbonne & Vondracek 2003).

Los voluntarios pueden proporcionar una base de datos obtenidos de los muestreos con apoyo de consejos locales, de manera que genera una atmósfera de cooperación entre público y agencias de gobierno con poder de toma de decisiones que permitan implementar iniciativas en favor del ecosistema (Reid & Tippler 2016).

Generalmente, los voluntarios monitorean las fuentes de agua cercanas a sus hogares o que utilizan para la recreación durante todo el año, por lo que potencialmente pueden alertar de cualquier cambio registrado de manera oportuna (Engel & Voshell 2002).

Proyectos de ciencia participativa de monitoreo a largo plazo, son especialmente aplicados a proyectos de restauración de ecosistemas debido a sus bajos costos y su seguimiento continuo (Adler *et al.* 2020).

Modelos de ciencia participativa para la evaluación de calidad de agua ya han sido aplicados con éxito en diversos países. El consorcio Riverfly, es una red de voluntarios de programas de ciencia participativa que se enfocan en el monitoreo de ríos a través de macroinvertebrados bentónicos desde 2004. El proyecto Anglers Riverfly Monitoring Initiative (ARMI) cuenta con más de dos mil voluntarios en más de 1600 locaciones a través del Reino Unido. Este proyecto ha servido para la detección de contaminación del agua y complementa el monitoreo hecho por las instituciones gubernamentales. Además de generar información acerca de la efectividad de sistemas de remediación de ríos (Brooks *et al.* 2019).

Esta red de vigilancia ciudadana demostró ser eficaz al identificar un evento contaminante que impactó en la distribución de macroinvertebrados en 19 kilómetros del río Irwell en abril de 2017 (Moolna *et al.* 2020). De manera que proyectos consolidados como Riverfly tienen el potencial de ser sistemas de alarma frente a perturbaciones ambientales.

En Nicaragua, el proyecto TwinLatin mediante talleres y entrevistas que contaron con la participación de las comunidades de distintas subcuencas, lograron involucrar a distintos actores de diferentes niveles municipales y nacionales en la participación en la gestión integral de recursos hídricos y el impacto de sus actividades en el Lago Cocibolca, generar mayor sensibilización a la degradación de humedales de San Miguelito, recopilar información y análisis de manejo de recursos de la cuenca y firma de convenios con instituciones gubernamentales y regionales (Espinal 2010).

En Perú, se realizó un estudio similar en la Cuenca del Jequetepeque en Cajamarca, en donde a través de talleres y entrevistas, la población participó en el análisis de calidad de agua a través de macroinvertebrados. De los 18 participantes encuestados, 93 por ciento consideró útil el monitoreo de calidad de agua y 73 por ciento consideró que fue una herramienta sencilla (Flores & Huamantínco 2018).

2.2. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES

Dentro de las deficiencias de los estudios ambientales, está la falta de una metodología que busque evaluar con un enfoque global las características del sistema acuático (Acosta *et al.* 2009). La aplicación de evaluaciones biológicas para determinar el grado de influencia de origen natural o antrópico en sistemas acuáticos responde a que los organismos biológicos responden a los estresores en escalas espaciales y temporales (Tampo *et al.* 2021).

Los macroinvertebrados son todos los animales invertebrados que tienen un tamaño superior a 500 μ . Constituyen el grupo dominante en los ríos, aunque también se encuentran en la zona litoral y el fondo de lagos y lagunas. Los macroinvertebrados que habitan en los ecosistemas fluviales están ampliamente representados por diferentes familias de moluscos y larvas de insectos, aunque dependiendo del tipo de río también pueden ser comunes los crustáceos, oligoquetos, anélidos, nematodos e hirudíneos (Roldán-Pérez 2016; Samanez Valer *et al.* 2014).

La evaluación biológica usando macroinvertebrados tiene gran ventaja sobre los métodos químicos ya que estos integran características estructurales y funcionales, por lo que reflejan la salud del cuerpo de agua durante un periodo de tiempo, en cambio los métodos químicos

muestran la información instantánea de un evento puntual (Huddart *et al.* 2016; Tampo *et al.* 2021).

El uso de macroinvertebrados para el monitoreo de la integridad ecosistémica de las fuentes de agua es una herramienta común de manejo y conservación. La sensibilidad o tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos a las fluctuaciones ecológicas y sus relaciones con otros organismos en las redes tróficas, los hace unos indicadores confiables (Awal & Svozil 2010; Pimentel 2014).

Estos macroinvertebrados bentónicos, al vivir en íntimo contacto con el sedimento y potencialmente estar expuesto a diversos estresores ambientales y como resultado de sus estrategias de adaptación, actúan como monitores continuos del lugar que habitan (Mauad 2013). Los macroinvertebrados son componentes esenciales del ecosistema ribereño y cuentan con un rol en la transferencia de energía desde los productores a los niveles más altos de consumidores en la cadena trófica (Hussain & Pandit 2012).

Los macroinvertebrados han desarrollado diversas estrategias para adaptarse y recuperarse de los cambios en el agua. La acidificación del medio acuático produce serios efectos sobre las comunidades de plantas y tiende a reducir la riqueza y abundancia de macroinvertebrados. Sin embargo, algunos organismos bentónicos son resistentes a pH bajos debido a que algunos han desarrollado la habilidad de respirar el oxígeno de la superficie al contrario de otras familias que son más permeables. Los taxos más tolerantes tienden a ser depredadores ya que sus cuerpos son más impermeables, como son algunos Diptera, Coleoptera y Trichoptera (Sommer & Horwitz 2009).

Los invertebrados bentónicos se consideran útiles para la detección y seguimiento de disturbios, tales como contaminación térmica, cambios en la mineralización del agua, contaminación orgánica, procesos de eutrofización, contaminación por metales u otras sustancias tóxicas, alteración del régimen del caudal, alteración de la morfología del lecho fluvial, etc. (Mauad 2013).

Las razones por las cuales los macroinvertebrados son ideales modelos de biomonitoreo

(Ciarfella 2014; Hussain & Pandit 2012; Mauad 2013):

- Se encuentran en la mayoría de los hábitats
- Son organismos relativamente sedentarios, con poca movilidad por lo que están confinados a su entorno físico y por lo tanto representativos del área donde son colectados
- Sus ciclos de vida son suficientemente largos para exhibir las alteraciones, pero al mismo tiempo, cortos para mostrar efectos intergeneracionales
- Viven y se alimentan sobre el sedimento que acumula toxinas y otros contaminantes, los cuales son incorporados a la cadena trófica a través de ellos.
- Su diversidad permite un rango de sensibilidades y respuesta a los factores de perturbación
- Su muestreo es sencillo al igual que su identificación.

Por estas razones, los métodos de análisis de agua a través de macroinvertebrados permiten tener una visión retrospectiva de lo sucedido en el tiempo (Alba-Tercedor 1996).

2.2.1. Factores físico químicos que alteran la presencia de macroinvertebrados

a. Temperatura

Los macroinvertebrados son organismos ectotérmicos por lo que su metabolismo se ve directamente afectados por los cambios en la temperatura (Croijmans *et al.* 2021) ya que se encuentran en rangos de temperatura específicas que limita su distribución (Hussain & Pandit 2012). Además, esta variable afecta a la composición de familias de macroinvertebrados, ya que la riqueza de especies se correlaciona de forma positiva con la temperatura (Friberg *et al.* 2001; Jacobsen *et al.* 2010) también está relacionada a los cambios en las gradientes altitudinales (Hieber *et al.* 2005).

b. pH

La mayor diversidad de macroinvertebrados se encuentra en un rango de pH de 6.5-8.5 (Berezina 2001). En zonas altoandinas, estudios han demostrado que la diversidad de taxas, y abundancias relativas de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera aumenta con el pH y en lugares más ácidos, aumenta la abundancia

relativa de Chironomidae y Oligochaetas (Flores & Zafaralla 2012; Steingruber *et al.* 2013). Valores bajos de pH están asociados a baja diversidad de macroinvertebrados (Hussain & Pandit 2012).

c. Conductividad

La conductividad eléctrica es una medida del agua para pasar corriente eléctrica a través de sales y otros químicos inorgánicos. En lagos y ríos de Estados Unidos, la conductividad eléctrica varía entre 50 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (US EPA s.f.). La habilidad de los macroinvertebrados de tolerar la salinidad dependerá de la regulación interna y externa de iones mediante ósmosis (Stitz *et al.* 2013). Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) son sensibles al incremento de la CE, por el contrario, Hemiptera, Coleoptera y Díptera son más tolerantes (Shackleton *et al.* 2019). Concentraciones por encima de 1000-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ afectarían negativamente a la comunidad de macroinvertebrados (especialmente EPT) (Stitz *et al.* 2013).

d. Oxígeno disuelto

La variable oxígeno disuelto (OD) es fundamental ya que su concentración determina la composición de familias presentes debido a su tolerancia y adaptación (López Mendoza *et al.* 2022). Los macroinvertebrados poseen diversas adaptaciones estructurales, por lo que diferentes taxa poseen diferentes requerimientos (Connolly *et al.* 2004). Algunos poseen un sistema respiratorio (branquias) que los hacen directamente dependientes del oxígeno disuelto (OD), por lo que se ven afectados en menores concentraciones de este parámetro (Croijmans *et al.* 2021), mientras que otros organismos como los *Chironomidae* poseen pigmentación respiratoria (hemoglobina) que les permite tolerar ambientes hipóxicos (Panis *et al.* 1995). El oxígeno disuelto depende de varios factores como la salinidad, altitud, fotosíntesis, organismos consumidores de oxígeno, contaminación entre otros (Croijmans *et al.* 2021). Temperaturas más altas poseen un menor grado de absorción de oxígeno disuelto, por lo que variaciones de temperatura del agua pueden condicionar el ingreso de DO al sistema del organismo (Fondriest Environmental 2013; Kelley 2019).

Bajos niveles de OD pueden producir efectos metabólicos y conductuales en los

organismos acuáticos. Como, por ejemplo, niveles de OD de 2 a 5 mg/l pueden generar estrés metabólico a través de respuestas hormonales y concentraciones más bajas pueden ocasionar impactos en la reproducción y sobrevivencia (Saari *et al.* 2018).

Saari *et al.* (2018) menciona que la taxa lotica tiende a ser más sensible a bajas concentraciones de OD que la taxa lentic. Los Órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) contribuyen en gran parte a la taxa lótica y estos grupos tienden a ser más afines a altas concentraciones de oxígeno, mientras que *Chironomidae* se encuentran en puntos de bajas concentraciones de OD debido a su tolerancia y que encuentran menos competencia por alimento y hábitat (Jolejole *et al.* 2021). Hemiptera, Mollusca y Odonata están asociados a bajas concentraciones de OD (Md Rawi *et al.* 2014).

2.2.2. Índices Bióticos

El aumento en la degradación de los ecosistemas acuáticos, ha llevado al desarrollo de sistemas de evaluación que permitan identificar estas alteraciones (Torres-Olvera *et al.* 2018). El uso de los índices bióticos como herramienta para evaluaciones de calidad de agua han demostrado ser más útiles que los métodos tradicionales (Alba-Tercedor 1996; Tampo *et al.* 2021).

Los índices bióticos proporcionan información para la evaluación de la contaminación según la integridad ecológica (Roldán-Pérez 2016) mediante la medición de métricas ecológicas como riqueza, abundancia, grupos funcionales y composición comunitaria (Canning & Death 2019).

El desarrollo de un sistema de puntajes utilizando macroinvertebrados bentónicos, es aplicado para la interpretación de información recabada del monitoreo biológico en la calidad, mediante la detección de cambios en la comunidad (Armitage *et al.* 1983).

La presencia, ausencia y en algunos casos, la abundancia relativa de taxones se toma como indicadores de ciertas condiciones fisicoquímicas del ecosistema. Las relaciones entre los

taxones y las condiciones fisicoquímicas se basan en las tolerancias ambientales de los macroinvertebrados, asignándoles un sistema de puntuación. Este procesamiento hace que los resultados sean más accesibles para los que no cuentan con formación biológica y requieran la información para la toma de decisiones en gestión de recursos hídricos (Armitage *et al.* 1983; Ciarfella 2014).

Actualmente existen diversos índices bióticos para la evaluación de calidad de agua, sin embargo, cada índice presenta sus ventajas y limitaciones y a menudo han sido desarrolladas para áreas específicas por lo que no pueden ser aplicadas en otras zonas (Armitage *et al.* 1983).

Dentro de los índices bióticos más utilizados en la actualidad se encuentran:

Índice EPT: calcula la calidad de agua a través de la evaluación de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), debido a la alta sensibilidad a la contaminación de estas órdenes. Los organismos de este orden poseen una respiración branquial por lo que se encuentran en lugares con alta oxigenación. El índice EPT mide la riqueza de las Familias dentro de una muestra para asignar un puntaje total o también puede dividirse el número de individuos de cada Orden entre el total encontrado. Mientras mayor sea el puntaje EPT, mejor será la calidad del agua (Ausable River Association s.f.; Ramírez *et al.* 2019).

El Biological Monitoring Working Party fue establecido en Inglaterra en 1970 con la finalidad de conocer la calidad del agua de acuerdo a la tolerancia de los macroinvertebrados a la contaminación orgánica. El puntaje va de 1 a 10 y requiere llegar al nivel de familia, la suma del puntaje de cada Familia da como resultado el valor del índice que tiene un significado de calidad. No requiere cuantificar abundancia (Armitage *et al.* 1983; Hellawell 1978).

El BMWP Ibérico o IBMWP (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega 1988), el BMWP colombiano (Roldán Pérez 2003) son modificaciones del índice BMWP original y adaptado a las Familias de macroinvertebrados encontrados en sus regiones.

Estos índices y sus modificaciones, son usadas en diversos países de América Latina

(Meneses Campo *et al.* 2019; Ramírez *et al.* 2019; Ríos-Touma *et al.* 2014).

En los ríos neotropicales, el puntaje recibido para las familias de los macroinvertebrados es similar a las recibidas por las Familias en zonas templadas, sin embargo, la gradiente altitudinal puede influir en la presencia y tolerancia frente a la contaminación (Ríos-Touma *et al.* 2014).

El Índice Biótico Andino IBA (Acosta *et al.* 2009; Ríos-Touma *et al.* 2014) es el resultado de la adaptación a la presencia y dominancia de las Familias descritas para ríos altoandinos en Perú y Ecuador por encima de los 2000 msnm (Cuadro 1). Este índice incluye menos Familias de macroinvertebrados que otros índices, debido a que la altitud restringe la distribución de estos y cambia las características de la vegetación ribereña.

Cuadro 1: Estado ecológico según el índice IBA

	Ecuador	Perú
Muy Bueno	> 96	> 74
Bueno	59-96	45-74
Moderado	35-58	27-44
Malo	14-34	11-26
Pésimo	< 14	< 11

FUENTE: Acosta *et al.* (2009)

El desarrollo del Índice IBA forma parte de una investigación más amplia sobre la determinación del estado ecológico de los ríos altoandinos bajo la creación del protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA). El índice ECOSTRIAND (ECOLOGICAL STATUS RIVER ANDEAN) pretende valorar de forma global la calidad de todo el ecosistema fluvial, incluyendo la ribera además de la calidad de las aguas (Acosta *et al.* 2009).

Para el cálculo del índice se suman las puntuaciones parciales que se obtienen de la presencia de cada Familia de macroinvertebrados y de esta forma se obtiene la puntuación global del punto de muestreo. Si en el tramo aparece más de un individuo de una familia esta sólo se puntuará una vez.

El uso de índices bióticos como el IBA, se utilizan principalmente para la evaluación de contaminación de origen orgánico. Por lo que la aplicación del índice en evaluaciones de contaminaciones de origen antrópico como minería, pesticidas, entre otros, podría no ser representativo (Ríos-Touma *et al.* 2014).

Otros usos para la evaluación de macroinvertebrados mediante índices, es su aplicación en proyectos de restauración o recuperación de humedales y ríos. Las medidas de evaluación en proyectos de restauración se basan en el aumento de abundancia y riqueza de familias de macroinvertebrados en el tiempo (Huddart *et al.* 2016; Weller & Bossart 2017).

2.3. CORDILLERA DE LOS ANDES

La cordillera de los Andes posee una gran cantidad de glaciares tropicales, siendo el Perú el portador del 71 por ciento de estos (Vuille *et al.* 2008). Los glaciares alimentan el caudal de los principales ríos de la región, además de otras fuentes de agua como lagunas y humedales. Las cordilleras tropicales, como en el caso de la Cordillera Blanca, son fuentes importantes de agua, pero debido a sus altas elevaciones, son altamente vulnerables al calentamiento global (Mark & Mckenzie 2007).

Según el inventario de glaciares de la Autoridad Nacional del Agua (2014), hasta el 2014, la Cordillera Blanca contaba con 755 glaciares con una extensión de 527,62 km². En las comparaciones realizadas desde el inventario de 1970 hasta el 2014, la Cordillera Blanca perdió 27 por ciento (195,75 km²) su superficie glaciar, y se espera que para el 2100, los glaciares se extinguirían (INAIGEM 2019).

Debido al deshielo, al desplazarse las partículas van modificando las capas del suelo. Esta condición sumada a las bajas temperaturas, la radiación solar y otros factores edáficos y climáticos, producen una vegetación característica únicamente de aquella zona (Cano *et al.* 2011) que a la vez produce diversos hábitats para la colonización de varias especies de animales. Sumándole a eso, el retroceso glaciar deja expuesta la roca mineralizada, que, al oxigenarse, produce drenaje ácido hacia las fuentes de agua (Loayza-Muro 2014).

El río Negro es un afluente del río Santa perteneciente a la vertiente del Pacífico. La subcuenca del río Negro se encuentra en el distrito de Olleros en la provincia de Huaraz y parte del poblado Canrey Chico en la provincia de Recuay, Ancash. La extensión de la subcuenca es de aproximadamente 233 km², al margen derecho del río Santa (Flores Cochachin 2019).

El río Negro adquirió su nombre por la coloración oscura de sus aguas, sin embargo, contaba con presencia de truchas. Luego del terremoto del 70, la población local percibió un cambio en la calidad de agua a través del color de agua que tornó hacia anaranjado debido a los procesos de oxidación de las rocas mineralizadas expuestas aguas arriba (Chávez & Zapata 2019; Zimmer *et al.* 2018). Este proceso es conocido como drenaje ácido de roca (DAR) y se ha acelerado debido al retroceso glaciar que deja expuesta a la roca (Loayza-Muro 2014). Actualmente, el río Negro ya no cuenta con truchas y no puede utilizarse para consumo, regadío o ganadería.

2.4. PRIMERAS EXPERIENCIAS: COMITÉ DE USUARIOS DEL CANAL SHALLAP-HUAPISH-TOCLLA

Originalmente el proyecto de tesis inició en agosto de 2019 con el objetivo de capacitar al Comité de usuarios del canal Shallap-Huapish-Toclla en el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart para análisis de calidad de agua del humedal Campanayoc. Sin embargo, debido a la pandemia de COVID-19 y al cambio de dirigentes, en agosto de 2021, se decidió continuar el proyecto en la comunidad campesina Cordillera Blanca.

2.4.1. Ámbito

El humedal artificial Campanayoc, está ubicado entre los sectores de Campanayoc y Quinchup-Pinos (225869 E; 8943140 N UTM), en la subcuenca de Quillcay en Huaraz. Fue construido por el Instituto de Montaña en el año 2016 para remediar las aguas ácidas provenientes de la Laguna Shallap que llegan al humedal a través de un canal de captación (Zimmer *et al.* 2018). La acidificación de la laguna Shallap se debió al drenaje ácido de roca, producto del retroceso glaciar (Loayza-Muro 2014).

2.4.2. Objetivo

El Comité de Usuarios del Agua del Canal de Shallap-Huapish-Toclla, utiliza el agua proveniente del canal Shallap para el riego de sus cultivos, sin embargo, debido a la acidez del agua, su productividad se ha visto afectada. El proyecto de tesis “Aplicación de tecnología móvil en monitoreo biológico de calidad de agua: un caso de ciencia participativa en el humedal Campanayoc”, buscó la participación del comité de usuarios en la evaluación de calidad de agua del humedal artificial a través de la identificación de macroinvertebrados y el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart para el reporte de calidad de agua a una plataforma virtual al que tiene acceso el laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y la Autoridad Nacional del Agua.

2.4.3. Taller de capacitación

El sábado 10 de agosto de 2019, se realizó la presentación del proyecto al comité de usuarios de agua del canal Shallap-Huapish-Toclla en el Centro Cultural “Lombardo Mautino Angeles” (Jirón 28 de Julio 562, Huaraz). El horario fue de 8am a 12pm. Al evento asistieron 17 representantes de los distintos sectores de la comunidad, el Dr. Raúl Loayza Muro (director del proyecto CASCADA), Msc. Fiorella LaMatta Romero (apoyo en el taller) y la tesista Vanessa Arévalo Seijas.

La presentación se inició con unas palabras del presidente del comité, el señor Andrés de la Cruz, para posteriormente iniciar la presentación del proyecto CASCADA: CASCADING IMPACTS OF PERUVIAN GLACIER SHRINKAGE ON BIOGEOCHEMICAL CYCLING AND ACID DRAINAGE a cargo del Dr. Raúl Loayza Muro.

Se inició el taller de capacitación en uso e identificación de macroinvertebrados a cargo de la tesista Vanessa Arévalo con la presentación “Bioindicadores de calidad de agua”. El cual inició con una explicación sobre el retroceso glaciar y sus consecuencias en la subcuenca Quillcay. Posteriormente se presentó al humedal artificial Campanayoc (Infraestructura construida en el año 2016 por el Instituto de Montaña) como solución a las aguas ácidas para luego pasar al tema de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua.

Luego de la presentación, se procedió a una demostración de identificación de macroinvertebrados con unas muestras traídas por los investigadores y usando las fichas elaboradas por los mismos. Para la demostración, se formaron parejas de trabajo para que juntos identifiquen a los macroinvertebrados.

Terminando el taller teórico, se realizó la visita al humedal artificial Campanayoc junto con los participantes. La movilidad de los usuarios fue cubierta por el proyecto CASCADA. Al humedal solo asistieron 6 participantes. Durante la evaluación en el humedal, el pH fue medido con un multímetro Hach- HQ40d y mostró un resultado de 4. Para el muestreo de macroinvertebrados se usó una red de patada, sin embargo, no se encontró ningún espécimen.

Debido al estado del humedal, se suspendieron los siguientes talleres programados y se invirtió en trabajos de mejoramiento. Estos trabajos estuvieron a cargo del Ing. John Sánchez, el presidente del comité de usuarios del agua Andrés de la Cruz y la dirigente, la Sra. María Quiñones y supervisados por la tesista.

Durante los meses de octubre a diciembre de 2019, se realizaron labores de desmalezado y siembra de nuevas plantas biorremediadoras, así como también la colocación de piedra caliza para alcalinizar el pH ácido. Además, se colocó una cerca alrededor del humedal artificial para prevenir que el ganado ingrese y se alimente de las plantas.

Sin embargo, al llegar la pandemia de COVID-19, los trabajos de mantenimiento se suspendieron y al mismo tiempo, se cambió la presidencia del comité de usuarios del agua Shallap-Huapish-Toella. El nuevo presidente decidió suspender los trabajos que se venían realizando con el proyecto.

En agosto de 2021, se acordó realizar el proyecto de capacitación en el uso de bioindicadores y el aplicativo Aqua Biosmart con la comunidad Cordillera Blanca (Figura 2).



Figura 2: Presentación del proyecto CASCADA a los miembros del CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu” y representantes del INAIGEM

2.5. COMUNIDAD CAMPESINA CORDILLERA BLANCA

La comunidad campesina Cordillera Blanca se fundó en el año 1991 con una extensión de 11 817.5 hectáreas que incluía territorio del Parque Nacional Huascarán. El presidente de la C.C. Cordillera Blanca, declaró que en la actualidad residen 120 comuneros. (Robert Balabarca, entrevista personal, 24 de febrero de 2022).

Los usos del territorio de la comunidad se dividen en dos tipos: áreas de uso comunal y áreas de aprovechamiento familiar. Las áreas de uso comunal cuentan con bosques de Eucalipto y Pinos usados como leña y de material primario para construcción de viviendas. Además de terrenos agrícolas para siembra de papa, cebada y avena para la comunidad. Finalmente, estas áreas comunales cuentan con pastizales para la crianza de ganado vacuno y ovino. Por otro lado, las áreas de aprovechamiento familiar son terrenos más pequeños usados por los socios calificados (USAID e Instituto de Montaña 2017).

Es dirigida por una asamblea comunal y una junta directiva integrada por el presidente, secretario, tesorero, fiscal y 3 vocales. Dentro de las organizaciones internas de la comunidad

se encuentran el Comité de defensa, Comité de investigación Agropecuario Local - CIAL, Comité de Pastos, Comité de producción y el Comité de Usuarios de Pastos del Parque Nacional Huascarán. La ganadería es su principal actividad productiva, seguida de la agricultura de papa, oca, olluco, mashua y granos andinos, principalmente para el autoconsumo (USAID e Instituto de Montaña 2017).

El Comité de Investigación Agropecuaria Local (CIAL) “Alli Yacu, Alli Pastu” fue fundado en 1998 con el objetivo de generar conocimiento y herramientas dirigidos al mejoramiento de pastos y calidad de aguas. Actualmente la junta directiva del CIAL está conformada por alrededor de 15 a 20 miembros (Robert Balabarca, entrevista personal, 24 de febrero 2022). Durante años, el CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu” viene desarrollando proyectos con apoyo de tesis de universidades locales y del Instituto de Montaña. Uno de sus proyectos más emblemáticos es la construcción del humedal “Canrey Chico” para la remediación de aguas del Río Negro, a través del canal de Chota. Este proyecto fue realizado con apoyo del Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics De la Universidad de Ámsterdam, la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y el Instituto de Montaña en el año 2014 (Zimmer *et al.* 2018).

A través de este sistema de remediación, han logrado una reducción del pH de 3.5 a 5.7 y cambio de coloración del agua de un rojo oscuro a un color transparente. El humedal artificial cuenta con un canal de 120 lt/s, 3 pozas de sedimentación y 3 celdas de humedales con la especie *Juncus articus* (Equator Initiative 2022; Zimmer *et al.* 2018).

En junio de 2021, el humedal “Canrey Chico” recibió el premio Solution Search 2021 en la categoría “Contaminación de agua y cambio de costumbres” (Turin 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación de enfoque cualitativo que midió y caracterizó las variables de estudio; de tipo aplicada cuya intención fue la aplicación de una herramienta para la gestión de los recursos hídricos en comunidades rurales. El nivel de investigación es descriptivo. Fue ejecutada en el centro comunal de la CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu”, perteneciente a la comunidad campesina Cordillera Blanca, Recuay, Ancash, entre septiembre de 2021 y marzo de 2022.

3.1.1. Tipo de la investigación

Esta investigación es de tipo aplicada.

3.1.2. Nivel de la investigación

Esta investigación es de nivel descriptivo.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis general

La ciencia participativa es una estrategia que permitirá un adecuado monitoreo y gestión de los recursos hídricos evaluados por los participantes a través de la aplicación de tecnología móvil para reportar su calidad.

3.2.2. Hipótesis específicas

- a. Los miembros del CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu” y de la C.C. Cordillera Blanca se capacitaron exitosamente en la identificación de macroinvertebrados, el cálculo del índice biótico andino y el uso del aplicativo móvil “Aqua Biosmart”.
- b. Los miembros del CIAL evaluaron exitosamente la calidad de fuentes de agua cercanas a la C.C Cordillera Blanca mediante el aplicativo móvil “Aqua Biosmart”.

- c. Los miembros del CIAL usan esta nueva herramienta y conocimientos en la evaluación de calidad de agua para gestionar los recursos hídricos de la comunidad.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Asistentes de los 3 talleres realizados para el CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu”. En el Cuadro 2 se muestra el número de asistentes por cada taller realizado y el número total de asistentes de la C.C. Cordillera Blanca que asistieron a las capacitaciones. Durante el Cierre de taller, se entregó sus certificados de participación, y para el taller de evaluación #2, el número de asistentes totales incluye los miembros de la comunidad y los alumnos de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Cuadro 2: Asistencias por taller

Taller	Objetivo	Fecha	Número de asistentes por taller	Asistentes totales
1°	Capacitación en muestreo e identificación de macroinvertebrados	3/09/2021	9	27
2°	Capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart	15/09/2021	22	
3°	Evaluación de resultados de capacitaciones #1	26/11/2021	10	
4°	Cierre de taller: entrega de certificados de participación	24/02/2022	16	
5°	Evaluación de resultados de capacitaciones #2	17/05/2022	43	

3.3.2. Muestra

Se calculó el tamaño de muestra para la comunidad Cordillera Blanca basándose en que la población fue el número total de asistentes en los tres talleres de capacitación realizados (27 asistentes), dando como resultado 21 encuestados como tamaño de muestra (Cuadro 3).

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Cuadro 3: Cálculo de tamaño de muestra

Población (N)	27
p: proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio	0.5
q: proporción de individuos que no poseen esa característica	0.5
Margen de error (e)	0.09
Nivel de confianza	90
Z: constante del nivel de confianza	1.645
Tamaño de muestra (n)	20.59017029

3.4. MATERIALES

3.4.1. Multiparámetro y GPS

Para la evaluación de parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto) en cada punto muestreado se utilizó un multiparámetro Hach- HQ40d, y el registro de las coordenadas se realizó a través de un dispositivo GPS Garmin Etrex20.

3.4.2. Guías de identificación

Las guías de identificación fueron elaboradas por los biólogos: Vanessa Arévalo Seijas, Raúl Loayza-Muro y Fiorella La Matta Romero (Anexo 2).

La guía incluye una breve descripción de los métodos de muestreo de macroinvertebrados (Domínguez & Fernández 2009; Roldán-Pérez 2016) y el cálculo del índice biótico andino (IBA). Para la elaboración de la guía, se utilizaron los macroinvertebrados más comunes encontrados en la Cordillera Blanca (La Matta Romero 2020; Vargas Canchanya 2017). Las imágenes utilizadas en la guía fueron obtenidas de la entomoteca del Laboratorio de Ecotoxicología (UPCH) y otras fueron descargadas de internet. Debajo de cada imagen se colocó una breve descripción del macroinvertebrado en un lenguaje fácil de entender, acompañado de su puntaje según el Índice biótico andino (IBA).

Las guías fueron impresas a color y plastificadas para una mayor durabilidad.

3.4.3. Kits de muestreo

Se elaboraron 4 kits de muestreo para facilitar el trabajo de campo y la identificación de macroinvertebrados. Cada kit contiene:

- 1 bandeja de plástico blanca
- 1 lupa
- pinzas
- 1 colador
- 6 pipetas Pasteur
- 1 frasco de 1 litro
- frascos pequeños en cada kit.

Al finalizar el segundo taller, los kits de muestreo fueron entregados al presidente de la comunidad para su uso futuro.

3.4.4. Aqua Biosmart

a. Antecedentes

En noviembre de 2015, en el marco del proyecto de USAID “Asegurando el Agua y los Medios de Vida en las Montañas”, el programador Kevin Smith, candidato doctoral de la Universidad de Tufts en los Estados Unidos, con la ayuda de Nathan Hecht, voluntario de Cuerpo de Paz, elaboraron el aplicativo móvil “ABI Calculator” bajo la supervisión del Dr. Raúl Loayza.

El aplicativo “ABI Calculator” fue una herramienta para determinar la calidad de agua usando el índice biótico andino (IBA). Sin embargo, su uso requería un cierto nivel de conocimiento en macroinvertebrados, por lo que las evaluaciones realizadas en este aplicativo se realizaron en dos cursos de la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM). Los cursos fueron “Bioindicadores” y “Biotecnología” ya que los alumnos de ambos cursos tenían conocimiento en el uso de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua. El objetivo de este aplicativo piloto fue para el uso de los estudiantes como herramienta de recolección de datos de calidad de agua

en coordinación con comunidades rurales y otros actores interesados.

b. Aqua Biosmart

A partir de este primer acercamiento, en noviembre de 2018, el programador Walter Castillo Llaque, de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, generó un nuevo aplicativo llamado “Aqua Biosmart”. Este aplicativo cuenta con mayor alcance de evaluación de la calidad de agua en otras regiones del Perú a través de puntajes bióticos (BMWP-Col e IBA), y, además, busca facilitar la identificación para personas que no están familiarizadas con la taxonomía. La identificación de macroinvertebrados se realiza a través de distintas fotografías, las cuales se pueden realizar acercamientos para observar características esenciales de cada Familia y facilitar su identificación (Anexo 3).

La aplicación cuenta con la opción de seleccionar la ubicación del lugar de muestreo: costa, sierra o selva (Figura 3).



Figura 3: Vista de la Configuración de la región del Perú a evaluar

Una vez seleccionada la zona, la aplicación elegirá el índice biótico a utilizar (BMWP-Col para Costa y Selva e IBA para Sierra). Posteriormente, aparecerá un listado de Órdenes de macroinvertebrados encontrados en esa región específica.

Dentro de ellas encontraremos las Familias de los macroinvertebrados y al lado, el puntaje correspondiente al índice seleccionado (Figura 4).



Figura 4: Vista del listado de órdenes y familias de la región seleccionada junto con su puntaje IBA (en el círculo azul)

Nota: En la imagen se muestra listado de familias de la región Sierra.

En caso, el usuario no esté familiarizado con las familias de los macroinvertebrados, tiene la opción de ver un listado de fotografías haciendo *click* en el nombre de la familia (Figura 5). Las fotografías fueron obtenidas de la entomoteca del Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y de páginas web.



Figura 5: Fotografía de *Hyalellidae* (Amphipoda)

Una vez seleccionadas todas las familias de macroinvertebrados de la zona de muestreo, la aplicación irá sumando los puntajes en una calculadora automáticamente, la cual mostrará el resultado en una tabla por colores según el índice (Cuadro 4 y 5) (Figura 6):

Cuadro 4: Rango de puntajes y color según el Índice Biótico Andino (IBA) para la clasificación de calidad de agua

IBA	CALIDAD
> 74	Muy Bueno
45 - 74	Buena
27 - 44	Moderado
11 - 26	Mala
< 11	Pésimo

FUENTE: Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 249–273.

Cuadro 5: Rango de puntajes y color según el Índice BMWP-Colombia para la clasificación de calidad de agua

Clase	Valor	Calidad	Significado
I	>150,101-120	Buena	Aguas muy limpias a limpias
II	61-100	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
III	36-60	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
IV	16-35	Crítica	Aguas muy contaminadas
V	<15	Muy Crítica	Aguas fuertemente contaminadas

FUENTE: (Roldán Pérez 2003) Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Editorial Universidad de Antioquia.



Figura 6: Vista de la calculadora IBA. Se presenta el total de la suma de los puntajes y la calidad a la que pertenece

Finalmente, los resultados pueden ser enviados con ubicación GPS y nombre del lugar muestreado a una nube virtual con el Laboratorio de Ecotoxicología tiene acceso (Figura 7).

INSTITUCION	FECHA	GPS	PUNTAJE	ESTADO	LUGAR	CODIGO	ZONA
admin	19-11-2018 18:15:42	<input type="checkbox"/>	41	Regular	Madre de Dios	001	SELVA
admin	19-11-2018 12:22:07	<input type="checkbox"/>	14	Mala	Bbb	Bbb	SELVA
admin	05-11-2018 16:38:18	<input type="checkbox"/>	15	Mala	Miraflores	Qqq	SELVA
admin	11-11-2018 10:28:25	<input type="checkbox"/>	45	Buena	Dgh	Fhj	SIERRA
admin	07-11-2018 15:37:54	<input type="checkbox"/>	29	Regular	Lab ecotoxicología	001	SELVA

Figura 7: Vista del acceso a los datos enviados desde la app hacia la nube

Asimismo, crea un mapa con la calidad de agua por colores de los lugares muestreados (Figura 8).

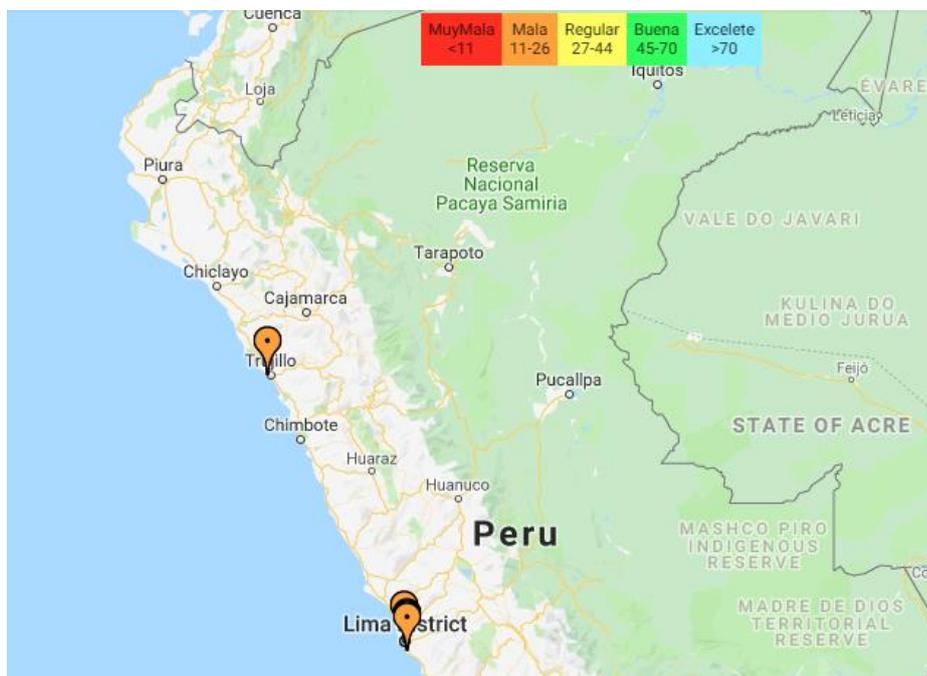


Figura 8: Mapa con puntos de calidad de agua provenientes del muestreo usando el aplicativo “Aqua Biosmart”

3.4.5. Elaboración de encuestas

Se realizaron 4 encuestas que consistieron en una serie de preguntas cerradas y abiertas en un cuestionario que fue respondido verbalmente (Encuestas 1-3) y por correo electrónico (Encuesta 4). Estas encuestas se realizaron de forma anónima y sólo codificadas para su análisis posterior.

a. Instrumentos

Instrumento I (encuesta preliminar): encuesta realizada para evaluar el índice de dificultad encontrado en el muestreo e identificación de macroinvertebrados y las aproximaciones esperadas en los siguientes talleres, como también las herramientas que les facilitan el trabajo de campo (Encuesta 1- La encuesta consta de 7 preguntas cerradas (Cuadro 6): 4 de tipo dicotómica (Sí/No), 3 preguntas de escala de calificación de Likert; y 2 preguntas abiertas para opiniones y comentarios.

Cuadro 6: Elementos y escala de la Encuesta 1

Dimensión	Pregunta	Elementos	Escala
Conocimiento	1	Conocimiento del tema	Sí/No
Calificación	2	Dificultad de muestreo	Escala de Likert
	3	Dificultad de identificación	
	4	Dificultad en evaluación IBA	
Aplicación	5	Utilidad de metodología	Sí/No
	6	Aplicación de metodología	
	7	Compartiría conocimiento	
Opinión	8	Mayor dificultad	Pregunta abierta
	9	Próximos talleres	

Instrumento II (Capacitación): encuesta para medir satisfacción en la capacitación en el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart (Encuesta 2-Anexo 5). La encuesta contó con 8 preguntas cerradas (Cuadro 7): Las preguntas del 1-5 buscan calificar su experiencia y capacitación con el aplicativo móvil Aqua Biosmart a través de una escala de Likert. La pregunta 5 fue de tipo dicotómica (Sí/No), dirigida a la aplicación de Aqua Biosmart en otras fuentes de agua medido en una escala dicotómica. Las preguntas 7 y 8 buscaron recoger las ventajas y desventajas del uso del aplicativo según las perspectivas de los usuarios con opciones múltiples.

Cuadro 7: Elementos y escala de la Encuesta 2

Dimensión	Pregunta	Elementos	Indicador	Escala
Calificación	1	Uso de la app	Evaluar el nivel de dificultad en el uso general del aplicativo Aqua Biosmart en los encuestados.	Escala de Likert
	2	Utilidad de la app	Entender el nivel de utilidad que le darían los encuestados al aplicativo Aqua Biosmart.	
	3	Identificación	Entender el nivel de dificultad en la identificación de los macroinvertebrados mediante el uso de fotografías en el aplicativo Aqua Biosmart.	
	4	Interpretación	Entender el nivel de dificultad en la interpretación de resultados obtenidos con la suma de puntajes y evaluación de calidad de agua a través del Índice Biótico Andino (IBA) en el aplicativo Aqua Biosmart.	
	5	Satisfacción	Medir el grado de satisfacción de la capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart mediante los talleres teórico-prácticos.	
Aplicación	6	Uso de la app para monitoreo		Sí/No
Perspectivas	7	Ventajas de la app		Opción múltiple
	8	Limitaciones de la app		

Instrumento III (Habilidades adquiridas, percepciones y aplicaciones): encuesta que cuenta con 13 preguntas cerradas y abiertas sobre la percepción de los conocimientos y habilidades adquiridas con los talleres y las aplicaciones de las mismas en la gestión del agua (Encuesta 3-Anexo 6). La encuesta cuenta con 4 dimensiones/componentes (Cuadro 8):

- Ciencia participativa: las preguntas 1-3 busca medir el interés generado en la participación en un proyecto de ciencia participativa.
- Conciencia ambiental: las preguntas 4 y 5 buscan medir el impacto del proyecto en su cambio de hábitos y motivación por monitorear otras fuentes de agua
- Educación: las preguntas 6-8 buscan entender cómo el proyecto generó nuevo conocimiento en los participantes, las habilidades adquiridas y el interés de compartir lo aprendido.
- Gestión: las preguntas 9-13 fueron preguntas abiertas para recolectar las opiniones de los participantes en la aplicación de la metodología aprendida en para beneficio de la comunidad y la gestión.

Cuadro 8: Elementos y escala de la Encuesta 3

DIMENSIÓN	Pregunta	Elementos	Escala
Ciencia participativa	1	Conocimiento de término ciencia participativa	Sí/No
	2	Satisfacción de participación	Escala de Likert
	3	Interés de volver a participar	
Conciencia ambiental	4	Impacto en percepción y cambio de hábitos	Mucho, poco, nada
	5	Monitoreo de fuentes de agua	Sí/No
Educación	6	Búsqueda de información adicional	Sí/No
	7	Habilidades nuevas	Abierta
	8	Interés de enseñar el método aprendido	Sí/No
Gestión	9	Beneficios a la comunidad	Abierta
	10	Beneficios a la conservación	
	11	Aplicación de metodología en gestión del agua	
	12		
	13	Transferencia de información con instituciones	

Instrumento IV (Evaluación de los capacitados): encuesta electrónica realizada a los alumnos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo para la evaluación del desempeño y conocimientos mostrados por los instructores del CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu” en el taller final (Encuesta 4-Anexo 7). La encuesta contó con 7 preguntas medidas en escala de Likert (Cuadro 9): las preguntas 1-6 busco calificar el taller y el desempeño en distintas categorías por parte de los instructores. La pregunta 7 busco calificar la utilidad de lo aprendido en el taller para el participante.

Cuadro 9: Elementos y escala de la Encuesta 4

Dimensión	Pregunta	Elementos	Escala
Calificación	1	Calificación general del taller	Escala de Likert
	2	Claridad de instructores	
	3	Dominio del tema	
	4	Capacitación de muestreo	
	5	Capacitación en identificación	
	6	Capacitación en Aqua Biosmart	
Aplicación	7	Utilidad en su desarrollo personal o profesional	

b. Escala de Likert:

La escala de Likert es usada en las ciencias sociales para medir distintos grados de respuesta frente a diferentes categorías, actitudes o elementos. Estos grados se agrupan de manera numérica, indicando el nivel de reacción del encuestado frente a la pregunta (Reyes Cruz *et al.* 2018) (Cuadro 10).

Cuadro 10: Escala de medición de Likert

Escala de Likert	Descripción o detalle
1	Muy fácil / Extremadamente útil / Muy satisfecho/a
2	Fácil /Muy útil / Algo satisfecho/a
3	Regular /Algo útil / Ni satisfecho/a ni insatisfecho/a
4	Difícil / No muy útil / Algo insatisfecho/a
5	Muy difícil / Para nada útil/ Muy insatisfecho/a

3.5. MÉTODOS

3.5.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad campesina Cordillera Blanca, del poblado Canrey Chico, situada en el distrito de Recuay, Ancash y el público objetivo fueron los miembros del comité de investigación agropecuaria local (CIAL) “Allí Yacu, Allí Pastu”. Los talleres se realizaron durante septiembre de 2021 a mayo de 2022. El componente teórico de los talleres de capacitación se llevó a cabo en el local comunal de la C.C. Cordillera Blanca.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados con anticipación por los participantes de la comunidad y cubrieron un área de 8 kilómetros cuadrados entre los límites de las provincias de Olleros y Recuay. Los traslados fueron cubiertos por el proyecto CASCADA (006-2019 FONDECYT). En total se evaluaron 12 puntos situados entre los 3941 m.s.n.m y 4093 m.s.n.m (Cuadro 11), todos dentro de los terrenos pertenecientes a la comunidad, representados en el mapa (Figura 9).

Cuadro 11: Coordenadas de puntos de muestreo

Ubicación UTM				
Puntos	Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altitud
P1	18 L	240871.20 m E	8932315.88 m S	4075
P2	18 L	240986.33 m E	8932476.05 m S	4072
P3	18 L	240862.44 m E	8932626.34 m S	4067
P4	18 L	240698.00 m E	8931466.00 m S	4054
P5	18 L	240821.00 m E	8931559.00 m S	4051
P6	18 L	240519.47 m E	8931657.77 m S	4039
P7	18 L	238381.00 m E	8929364.00 m S	4079
P8	18 L	238909.00 m E	8929088.00 m S	4093
P9	18 L	236231.00 m E	8930116.00 m S	3941
P10	18 L	238277.00 m E	8928995.00 m S	4073
P11	18 L	238122.00 m E	8929102.00 m S	4073
P12	18 L	238619.00 m E	8928900.00 m S	4074

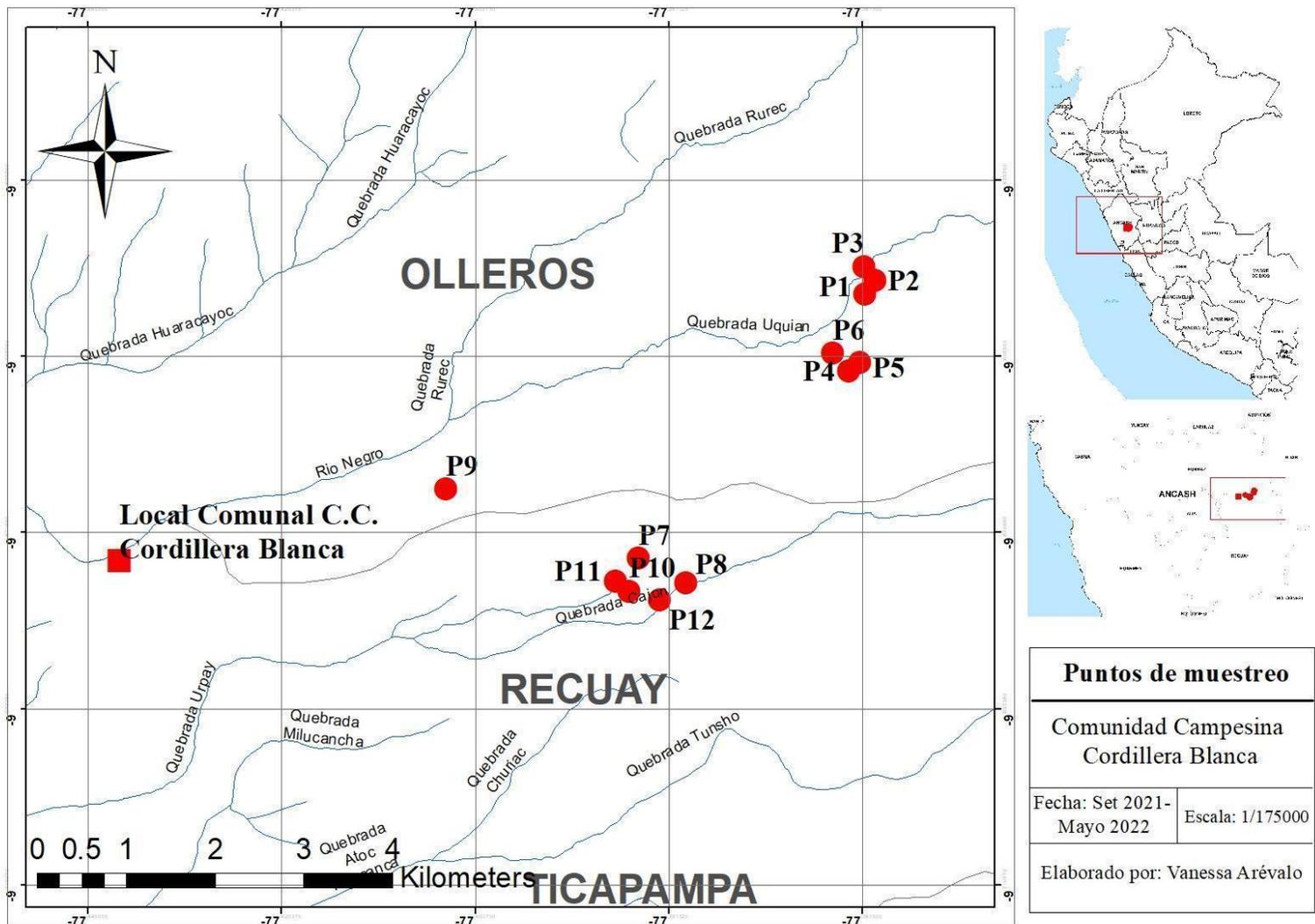


Figura 9: Mapa del área de estudios

FUENTE: Elaboración propia

a. Caracterización de los puntos de muestreo

Sacracancha: Zona de pastoreo de la comunidad, localizada a 9 km del local comunal en la provincia de Olleros a 4080 msnm (Anexo 8):

- Punto 1: se muestrea una pequeña quebrada localizada en una zona de hundimiento terrestre aguas oscuras con fondo de lodo, poco movimiento de agua, presencia de Ichu (*Stipa ichu*) y orilla cubierta de piedras.
- Punto 2: se muestreo un bofedal que conectaba con un pequeño riachuelo. El área del riachuelo presentaba poco movimiento de aguas y fondo blando lodoso, las orillas estaban cubiertas por vegetación Ichu (*Stipa ichu*) y el bofedal presentaba aguas oscuras cubiertas de turba, hojas y ramas secas (detritus), vegetación como *Distichia sp* y gramíneas.
- Punto 3: el área de muestreo fue un río de aguas oscuras con fondo lodoso y corriente media, con presencia de truchas y orillas de sustrato duro (piedra y gravas) y algunas zonas con presencia de vegetación.
- Punto 4: El punto de muestreo se realizó río arriba de un puente de aguas claras. La zona presentaba un caudal muy bajo, escaso movimiento de agua, con mucha presencia de rocas y piedras y con poca flora presente.
- Punto 5: también conocido como Pachancancha. Este punto presentaba un riachuelo con un mayor caudal que el Punto 4. La zona estaba rodeada de pastos y el riachuelo presentaba agua clara con fondo rocoso y orillas de sustrato duro (piedra y gravas).
- Punto 6: se muestreó un bofedal. Era un área inundada con aguas oscuras fangosas, sin movimiento de agua, que contaba con vegetación como cojines de *Distichia muscoide*, musgo (*Sphagnum sp.*) gramíneas (*Festuca sp.*) y turba.

Shillacancha: zona perteneciente a la comunidad para uso de pastoreo, localizada a 6 km del local comunal a 4070 msnm en la provincia de Recuay (Anexo 8).

- Punto 7: El punto 7 fue una quebrada conocida como Shillacancha. Este punto se caracterizó por aguas oscuras y lodosas con caudal intermedio, pero sin movimiento de masas de agua, en las orillas hubo presencia de rocas y de vegetación (pastos).
- Punto 8: El punto muestreado fue el río Cajumbado, que desemboca al río Santa, sin juntarse con el río Negro. El punto se caracterizó por presentar mayor caudal

y poseer una corriente moderada. Las aguas eran claras con fondo rocoso y había poca vegetación en la orilla del río.

- Punto 9: Conocido como quebrada Kefa Punku, el punto se localizó en una zona más baja que se caracterizó por presentar bancos vegetados y rocas en la orilla de la quebrada, el caudal era medio y la corriente intermedia, las aguas eran claras de fondo rocoso.
- Punto 10: La zona de muestreo fue un río con caudal y corriente medio, con aguas claras y fondo rocoso y lodoso, orillas rocosas y con poca presencia de vegetación.
- Punto 11: Se muestrearon dos bofedales adyacentes. La zona presentaba un terreno inestable e inundable, con mucha presencia de vegetación, entre ellas Ichu (*Stipa ichu*), cojines de *Distichia sp*, gramíneas y turba.
- Punto 12: arroyo de aguas oscuras con fondo rocoso, con caudal y corriente baja, rodeada de Ichu (*Stipa ichu*), y rocas.

3.5.2. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y registro de coordenadas

En cada punto se midieron los parámetros fisicoquímicos: temperatura (°C), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), potencial de hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto (mg/L) con un equipo multiparámetro portátil. La medición fisicoquímica se realizó río arriba de la zona de evaluación para evitar que la perturbación del muestreo afecte el registro de datos.

Adicionalmente, se registraron las coordenadas con un GPS y se tomaron fotografías de las zonas de muestreo.

3.5.3. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos

El muestreo tiene como objetivo recolectar la mayor diversidad de macroinvertebrados en el punto seleccionado, por lo que se debe identificar todos los hábitats posibles presente en el lugar de modo que la muestra refleje la naturaleza de la fuente de agua a evaluar (playas rocosas, playas de arena, vegetación, lodos, etc.). En cada punto de muestreo, los especímenes fueron colectados en un rango de 20-30 minutos en aguas someras (AQEM Consortium 2002; Samanez Valer *et al.* 2014).

Técnicas de muestreo:

- a. Técnica de colección manual: Esta técnica consiste en levantar rocas, piedras o

ramas semisumergidas y coleccionar con una pinza o una pipeta, a los organismos que se encuentran adheridos a estas (Carrera & Fierro 2018). Posteriormente, estas larvas serán recolectadas en frascos pequeños con un poco de agua para su posterior identificación.

- b. Uso de coladores como red: Se coloca la abertura del colador en dirección contraria a la corriente de agua, mientras que con la otra mano se remueve el sedimento, rocas, vegetación de manera que los macroinvertebrados adheridos sean removidos e impulsados por la corriente hacia el interior del colador (Carrera & Fierro 2018; Office of Environment & Heritage 2015). Asimismo, el colador puede usarse en zonas de gran carga orgánica como bofedales para remover lodo.
- c. Separación de muestras: Posterior a la recolección, se coloca la muestra obtenida dispersada en una bandeja blanca con un poco de agua para facilitar la observación y se procede al retiro de los macroinvertebrados usando pinzas y pipetas.

3.5.4. Identificación de macroinvertebrados bentónicos

La identificación va de lo general a lo específico. Por lo que se elaboró una lista de pasos para la identificación de las familias de macroinvertebrados:

- a. Observación: se observan y se agrupan varios individuos del mismo tipo y por la forma y color se descartan otros órdenes y familias.
- b. Descripción: se describe al organismo encontrado. En este paso es importante ser lo más específico posible ya que de esta forma se facilita los pasos posteriores: describir la forma de su cuerpo y si presentan segmentaciones, si hay patas o colas, describir el número de estas, la forma (está segmentada, tiene uñas, garras, etc) y el tamaño.
- c. Identificación de Orden: con las características generales descritas en el paso anterior, buscamos en la guía u aplicativo, el orden correspondiente.
- d. Identificación de Familia: En este paso las características descritas deben ser más específicas. Si las características de las familias dentro del mismo orden son similares, se describen las diferencias encontradas entre cada familia y se elige el

que más similitud presenta al individuo encontrado.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la aplicación de los pasos de identificación de macroinvertebrados (Figura 10).



Figura 10: Ejemplo de aplicación de pasos para la identificación de macroinvertebrados

FUENTE: Elaboración propia

3.5.5. Talleres de capacitación y evaluación

Para el desarrollo de las capacitaciones, se eligió un modelo de formación en etapas, ya que de esta forma podría mejorar los resultados del aprendizaje (Jordan *et al.* 2012; Ratnieks *et al.* 2016). Se realizaron dos talleres de capacitación y dos talleres de evaluación entre septiembre de 2021 a mayo de 2022 (Figura 11). Los talleres se desarrollaron en el local comunal de la C.C. Cordillera Blanca, Recuay, donde también funciona el local del CIAL “Alli Yacu, Alli Pastu”. La coordinación entre la comunidad y los investigadores de CASCADA (006-2019 FONDECYT) estuvo a cargo de la Lic. Irina Neglia, especialista en comunicaciones del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

Talleres de capacitación y evaluación



Figura 11: Diagrama de los talleres de capacitación y evaluación

Inicialmente, se planeó realizar tres talleres: dos de capacitación y uno de evaluación. Sin embargo, debido a la baja asistencia de participantes en el taller III, se convocó a un taller adicional para evaluar los conocimientos adquiridos por los participantes.

a. Talleres de capacitación

Los talleres de capacitación tuvieron como objetivo brindar las herramientas y conocimientos a los participantes en los temas de muestreo, identificación y uso del aplicativo Aqua Biosmart. Estos talleres tuvieron dos componentes:

1. Componente teórico: la tesista realizó una presentación en Microsoft PowerPoint sobre el tema de capacitación en el local comunal.
 2. Componente práctico: finalizando las presentaciones, se trasladó a los asistentes al campo para la aplicación de las técnicas vistas en dicha capacitación.
- **Taller I: Capacitación en el muestreo e identificación de macroinvertebrados**
El primer taller se realizó el 3 de septiembre de 2021 y tuvo como objetivo la presentación de la investigación, conocer a los participantes, y la capacitación en el muestreo y la identificación de macroinvertebrados (Anexo 1). El componente teórico contó con los siguientes temas:
 - Objetivos de la investigación

- Importancia del agua
- Impactos del retroceso glaciar en la calidad de agua (en el marco del proyecto CASCADA)
- Indicadores de calidad de agua: fisicoquímicos y biológicos
- Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores y muestreo
- Índice Biótico Andino (IBA)

Se impulsó el diálogo con los participantes sobre su percepción en el cambio de la calidad de agua en su zona y cómo han sido afectados. Posteriormente, se realizó un ejercicio práctico de identificación usando muestras de macroinvertebrados pertenecientes a la entomoteca del Laboratorio de Ecotoxicología (Universidad Peruana Cayetano Heredia) colocados en placas Petri, para la demostración en vivo de la identificación y la familiarización de los participantes con los macroinvertebrados.

Luego, se trasladó a los asistentes a Sacracancha, área de pastoreo perteneciente a la C.C. Cordillera Blanca para la aplicación de las técnicas aprendidas en el muestreo e identificación de macroinvertebrados en tres puntos de monitoreo. Se formaron tres grupos de muestreo, que estuvieron liderados por la tesista Vanessa Arévalo con asistencia de Msc. Fiorella La Matta, miembros del laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH).

Para el muestreo, se emplearon redes Surber, coladores, jarras de plástico y pinzas. Los macroinvertebrados fueron colectados en frascos transparentes con agua. El esfuerzo de muestreo por punto duró 25-30 minutos.

Terminando el muestreo en cada punto, se reunió a los participantes para realizar la identificación en grupo apoyados de sus guías taxonómicas y el cálculo del índice IBA.

Las muestras de cada punto fueron separados en frascos diferenciados y almacenados en alcohol de 96° para ser trasladados al laboratorio de Ecotoxicología de la en la

Universidad Peruana Cayetano Heredia para verificar la identificación in situ mediante el uso de un estereoscopio Leica Microsystems S9i (Figura 11) y claves taxonómicas de Domínguez & Fernández (2009), Roldán Pérez (1996) y la clave de identificación de larvas de Trichoptera de Huamantínco & Ortiz (2011). Luego de la identificación, se hizo el cálculo del índice biótico andino.



Figura 12: Fotografías de las familias faltantes

- **Taller II: Capacitación en el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart**

El segundo taller se realizó el 15 de septiembre de 2021 y tuvo como objetivo la capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart. Se les pidió a los participantes que previo al taller descarguen el aplicativo en sus teléfonos móviles y actualicen las fotos (para el acceso a las fotos en áreas sin conexión de internet).

La presentación inició con un resumen del primer taller y se explicó nuevamente cómo evaluar calidad de agua a través de macroinvertebrados para los nuevos asistentes. Luego, se explicó el funcionamiento del aplicativo móvil Aqua Biosmart y se respondió preguntas de los presentes. Posteriormente, se trasladó a los participantes a la zona de muestreo para la evaluación de calidad de agua localizada a unos 3 km de Sacracancha. Se formaron tres grupos de muestreo, cada uno liderado por un miembro del laboratorio de Ecotoxicología de la UPCH (la tesista, Bsc.

Vanessa Arévalo, Msc. Fiorella La Matta y Dr. Raúl Loayza Muro). A cada grupo se les entregó un kit de muestreo (Anexo 14) como también la nueva versión de la guía de identificación. Los participantes hicieron uso de los coladores, pinzas y frascos para el muestreo y las lupas para reconocer las características principales de las familias de macroinvertebrados. La identificación de las familias se llevó a cabo con ayuda del aplicativo Aqua Biosmart y de sus guías de identificación.

Después de que los participantes identificaron sus macroinvertebrados, la tesista verificó que las observaciones se hayan realizado correctamente y se corrigieron errores. Finalizando el muestreo, se hizo entrega de los kits de identificación al presidente de la comunidad Cordillera Blanca.

b. Talleres de evaluación

Los talleres de evaluación tuvieron como objetivo evaluar el dominio de conocimientos adquiridos por los participantes, la eficacia en la identificación de macroinvertebrados y en el uso del aplicativo Aqua Biosmart. Si bien hubo supervisión de parte de la tesista, en los talleres de evaluación, los participantes desarrollaron las actividades de muestreo, identificación y uso del aplicativo de manera autónoma. En estos talleres, el componente fue totalmente práctico. Las encuestas se realizaron finalizando ambos talleres de evaluación.

• Taller III: Evaluación de conocimientos #1

El taller III se llevó a cabo el día 26 de noviembre de 2021 y tuvo como objetivo evaluar la eficacia en la que los participantes identificaban los macroinvertebrados encontrados y el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart para la evaluación de la calidad de agua mediante el Índice Biótico Andino (IBA) y encuestar a los participantes. Se muestrearon tres puntos en la localidad de Shillacancha utilizando los kits entregados el taller anterior.

Finalizando el muestreo, los participantes identificaron por su cuenta los macroinvertebrados de cada punto utilizando las guías de identificación y el aplicativo Aqua Biosmart.

- **Taller IV: Evaluación de conocimientos #2**

Con el objetivo de encuestar a más participantes de la comunidad campesina Cordillera Blanca, se realizó un nuevo taller, pero esta vez con un enfoque de compartir la experiencia y que los participantes enseñen las técnicas aprendidas a un grupo de alumnos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM). Las coordinaciones se realizaron a través del profesor Julio Palomino.

El taller se realizó el 17 de mayo de 2022. El punto de encuentro fue en el local comunal donde partieron los buses con los participantes hacia Shillacancha, el punto de muestreo seleccionado por la comunidad. Si bien la zona fue muestreada con anterioridad (Taller III), la comunidad seleccionó del lugar nuevamente debido a la accesibilidad para los buses y debido a que luego de la temporada de lluvia, muchos caminos quedaron inhabilitados. Sin embargo, los puntos a muestrear fueron diferentes a los muestreados con anterioridad.

Al llegar a Shillacancha, se dieron unas palabras de bienvenida a los participantes de la UNASAM y se presentaron a los miembros de la comunidad. Se formaron tres grupos de trabajo: equipo alfa, beta y gamma, cada uno liderado por miembros de la comunidad como instructores. Cada instructor explicó la metodología de muestreo utilizando sus kits. Posteriormente, cada grupo se separó junto a su líder para realizar la identificación a través del uso del aplicativo Aqua Biosmart.

- c. **Control de calidad de datos**

Se evaluó la calidad de datos obtenidos de los participantes comparando sus identificaciones con la de los especialistas (Falk *et al.* 2019; Forrester *et al.* 2017; Ratnieks *et al.* 2016) del laboratorio de Ecotoxicología de la UPCH. Para el Taller III, la revisión de las identificaciones fue llevada a cabo en primera instancia por la tesista, Bach. Vanessa Arévalo Seijas y una segunda revisión por Msc. Fiorella La Matta Romero. De la misma manera, para el Taller IV, la primera revisión se llevó a cabo por la tesista y posteriormente verificada por el Dr. Raúl Loayza Muro. Se contabilizaron cuantos aciertos en la identificación tuvieron para el análisis de eficacia posterior.

3.5.6. Encuestas

Las encuestas 1, 2 y 3 se realizaron de manera personal al finalizar los talleres de evaluación. La encuesta 4 fue enviada a los correos electrónicos de los alumnos de la UNASAM finalizando el taller IV.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1. Análisis de eficacia del taller de capacitación en la identificación y uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart

a. Eficacia de identificación

Kosmala *et al.* (2016) mencionan que para que los datos recolectados sean considerados de calidad deben responder a dos características: eficacia (precisión) y sesgo. La eficacia es el grado con el que se logran los resultados u objetivos propuestos (Cequea & Mirza 2012; Mejía 1998). Por ello, se evaluó el desempeño de los participantes a través de la eficacia en la identificación de macroinvertebrados.

Para calcular la eficacia se utiliza la siguiente fórmula (Mejía 1998):

$$Eficacia = (Resultados alcanzados * 100) / (resultados previstos)$$

El resultado esperado es expresado como la cantidad de familias identificadas correctamente por los participantes, mientras que los resultados previstos, es el número total de familias encontradas en la muestra (Cooper *et al.* 2007; Falk *et al.* 2019; Forrester *et al.* 2017).

El sesgo es el error sistemático producido en los datos obtenidos. Muchos de estos sesgos pueden ocurrir también en el muestreo profesional: observaciones no aleatorias sesgadas por la temporada de muestreo, el clima, el horario, el día, esfuerzo de muestreo, el método de muestreo, los hábitats, etc. El único sesgo conocido específico en ciencia participativa es la variabilidad entre los voluntarios en términos de demografía, capacidad, esfuerzo y compromiso (Dickinson *et al.* 2010; Kosmala *et al.* 2016).

Para reducir el sesgo por muestreo, se recomienda estandarizar el esfuerzo de muestreo y proveer de pautas (protocolos) a los participantes (Gonsamo & D'Odorico 2014).

La dificultad para la identificación taxonómica para los voluntarios de proyectos de ciencia participativa, varía de baja a alta y muchas veces depende del nivel de identificación (Falk et al., 2019; Kremen *et al.* 2011), o la especie a identificar (Kosmala *et al.* 2016). La tasa de identificación de especies varía de 70-95 por ciento para un gran número de taxones (Fuccillo *et al.* 2015).

Cohn (2008) menciona que el porcentaje de eficiencia aceptable para la mayoría de los estudios ecológicos es 80 por ciento.

3.6.2. Fiabilidad del instrumento

La fiabilidad, se refiere a la consistencia de un instrumento de medición (Quero Virla 1997). Es necesario demostrar consistencia y homogeneidad entre los elementos dentro del instrumento (encuesta) a través de las puntuaciones obtenidas en la muestra (Frías-Navarro 2022). El coeficiente obtenido mide la varianza de las correlaciones entre cada elemento dentro de la encuesta. Mientras el valor resultante esté más cerca al 1, los elementos son más homogéneos entre sí, es decir, mayor es la consistencia interna de los elementos analizados (Cozby 2005; Cronbach 1951).

Fórmula de alfa de Cronbach:

$$\alpha = \frac{N \times \bar{r}}{1 + (N - 1) \times \bar{r}}$$

Donde N es el número de elementos presentes y r es la correlación entre ellos.

Se puede mejorar el alfa de Cronbach mediante la eliminación de los elementos con menor coeficiente de correlación, es decir, menos consistentes (Quero Virla 1997).

George & Mallery (2003) mencionan que las recomendaciones del alfa de Cronbach son los siguientes:

- Coeficiente alfa > 0.90 a 0.95 es excelente
- Coeficiente alfa >0.80 es bueno
- Coeficiente alfa >0.70 es aceptable
- Coeficiente alfa >0.60 es cuestionable
- Coeficiente alfa <0.50 es inaceptable

Frías-Navarro (2022) menciona que varios autores consideran diferentes coeficientes como aceptables según el número de elementos que se encuentren; siendo el coeficiente alfa 0.70 el óptimo en la mayoría de los casos.

Se realizó un análisis de Alpha de Cronbach para las encuestas 2 y 4 para evaluar la fiabilidad del grado de consistencia de las respuestas.

3.6.3. Codificación de encuestas

Para el análisis demográfico de la Encuesta 3, se utilizó Microsoft Excel 2019.

Para la sección demográfica, la variable *Edad*, las respuestas fueron colocadas en rangos de 9 años para el análisis (Ejemplo: 20-29 años).

Para el análisis de fiabilidad de las Encuestas 2 y 4, y para la codificación de las respuestas abiertas de la Encuesta 3, se utilizó MAXQDA 2022 Analytics Pro, un *software* para análisis cualitativo y cuantitativo para investigación en ciencias sociales (VERBI Software GmbH 2021).

La codificación tiene como objetivo asignar un valor numérico o una variable determinada a todas las referencias de un tema específico de las respuestas de una pregunta abierta. Este número o variable asignada, entra en un número reducido de alternativas que posteriormente pueda ser asignada a diferentes grupos para ser analizada y tabulada (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Costa Rica 2012; Rincón Gómez 2014). La codificación se realizó manualmente debido a lo cortas que fueron las respuestas. El proceso consistió en leer la respuesta y asignarle una o más etiquetas (Códigos) que resumieran el contenido de la misma. Cada código resumió de la forma más clara y precisa posible las respuestas de

manera que sea representativo sin perder información y sin que los conceptos se superpongan entre ellos (MonkeyLearn s.f.).

Se codificaron las respuestas en categorías por cada una de las preguntas abiertas (con excepción de la pregunta 11 y 12 que son complementarias) (Cuadro 12). Algunas respuestas fueron categorizadas en uno o más códigos según la información brindada.

Cuadro 12: Codificación de respuestas de Encuesta 3

Codificación	
Habilidades adquiridas	Monitoreo de calidad de agua
	Identificación de macroinvertebrados
	Técnicas de muestreo
	Uso de tecnología móvil
	Participación comunitaria
	Identificar buena calidad de agua
Beneficio a la comunidad	Identificación de agua usos agrícolas
	Autonomía de análisis de agua
	Mejora calidad de vida
	Gestión y toma de decisiones
	Facilidad de uso
	Aprendizaje
	Apoyo a la investigación
	Apoyo de instituciones
Beneficio a la conservación	Caracterización de zonas de conservación
	Aplicación de técnicas de remediación
	Concientización en el uso de agua
	Conservación de Bofedales
	Correcta gestión del agua
	Uso adecuado de fuentes de agua
Aplicación de metodología en la gestión	Mejora la calidad de vida
	Evaluación de calidad de agua
	Evaluación de terrenos de interés
	Reportes
	Uso propio
	Grupos de monitoreo
	Toma de decisiones comunitarias
	Capacitaciones
	Proyectos de investigación
	Apoyo económico para proyectos de mejoramiento de calidad
	Caracterización de ecosistemas
	Apoyo en proyectos de mejora de calidad y saneamiento

«Continuación»

Transferencia de información con instituciones	Proyectos de investigación
	Compartir conocimiento adquirido
	Involucramiento en toma de decisiones
	Nuevas capacitaciones
	Intercambio de ideas y conocimiento
	Visibilidad de la comunidad
	Planear soluciones
	Generación de información
	Conservación de zonas vulnerables

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CAPACITACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE BIÓTICO ANDINO (IBA) Y EN EL USO DEL APLICATIVO MÓVIL AQUA BIOSMART

4.1.1. Talleres de capacitación

Taller de capacitación I: El taller contó con la participación de 9 personas (Anexo 12) aunque originalmente se esperaba una asistencia de 15 personas. Las actividades iniciaron a las 9 am luego de la visita de una delegación del INAIGEM y de un desayuno de cortesía de parte de las mujeres de la comunidad Cordillera Blanca. El taller se llevó a cabo según lo programado (Anexo 1). Durante la presentación, los participantes respondieron cuál era la importancia del agua para ellos, siendo la respuesta más repetida “Vida”, refiriendo que el agua era esencial para muchas actividades como la agricultura, el ganado y la salud humana (Figura 13).



Figura 13: Diapositiva donde se recolectó las respuestas de los participantes con respecto a la importancia del agua

Debido que se contaba con un solo multímetro, este fue usado en el primer punto, pero no fue llevado a los siguientes dos, y por falta de tiempo y lejanía, no se regresó para medir los parámetros fisicoquímicos.

Para facilitar la identificación, se agruparon organismos más pequeños pertenecientes a la misma familia en tubos Eppendorf transparentes. Los participantes describieron a los macroinvertebrados encontrados e identificaron a nivel familia usando su guía con apoyo de la tesista. Sin embargo, se encontraron seis familias que no se encontraban descritas en la guía entregada (*Corixidae*, *Hirudinea*, *Planariidae*, *Sphaeriidae*, *Aeshnidae* y *Limoniidae*), por lo que no se calculó el índice IBA ya que no se contaban con todos los puntajes. Los macroinvertebrados que con el mayor nivel de facilidad de reconocer fueron:

- *Hyalellidae*: debido a su forma de “camarón” fue fácilmente identificable
- *Chironomidae*: si bien es un organismo pequeño, su color rojizo y su forma de nadar en forma de “S”, llamó la atención de los participantes.
- *Leptoceridae*: la particular forma de elaborar estuche “casa” en forma de tubo permitió su fácil identificación.
- *Gripopterygidae*

La familia *Aeshnidae* también llamó la atención de los participantes debido al tamaño del organismo y de su particular rostro con boca alargada. Asimismo, durante el muestreo, mientras se colocaban los *Aeshnidae* en los frascos se alimentaron de los otros organismos colectados debido a su naturaleza depredadora, por lo que se separaron de los otros macroinvertebrados.

Los macroinvertebrados recolectados fueron identificados en el laboratorio de Ecotoxicología, en la Universidad Peruana Cayetano Heredia (Lima), y se tomaron fotografías a las familias faltantes para la elaboración de páginas adicionales para la guía de identificación para ser entregada a los participantes en el siguiente taller (Anexo 2).

4.1.2. Encuesta preliminar

Concluyendo la actividad, se encuestó a los participantes (Anexo 4) sobre las dificultades encontradas en la metodología y lo que esperaba de los siguientes talleres.

El 57 por ciento de encuestados afirmó tener conocimiento previo sobre el uso de macroinvertebrados como bioindicadores (Figura 14). El Sr. Vicente Salvador, presidente del CIAL “Allí Yacu, Allí Pastu”, comentó que hace algunos años, habían tenido una capacitación sobre los macroinvertebrados y sus usos como bioindicadores, sin embargo, mencionaron que no recordaban mucho sobre la metodología.

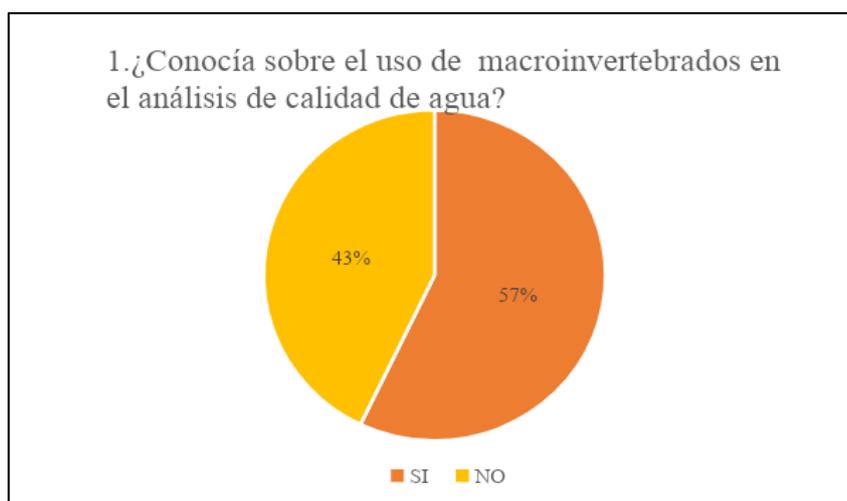


Figura 14: Resultados sobre conocimiento previo del uso de macroinvertebrados

En cuanto al muestreo de macroinvertebrados, 57 por ciento de participantes lo catalogaron como “muy fácil”. Una de las participantes afirmó que el muestreo fue “divertido”. Sobre la identificación de macroinvertebrados, las respuestas fueron variables, en su mayoría encontrándose con una dificultad “regular” (42.9 por ciento). Para el cálculo del índice biótico andino (IBA), se encontró que había una dificultad promedio “regular” (Figura 15).

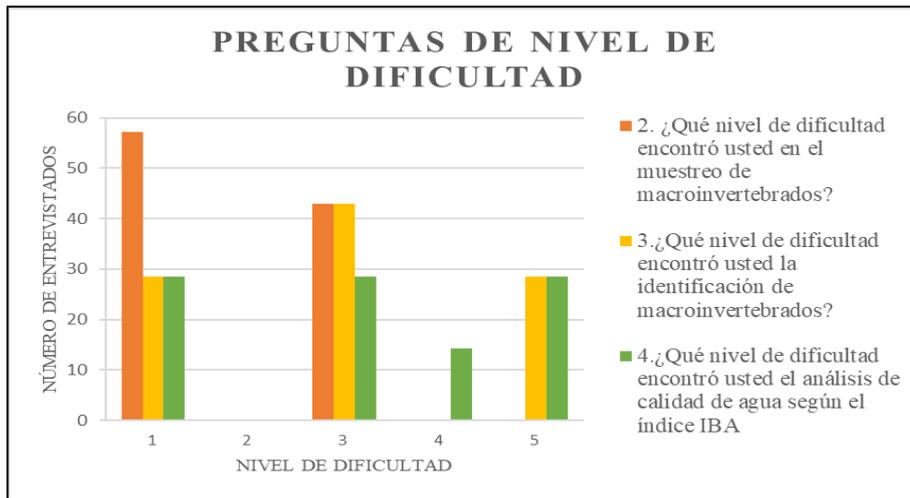


Figura 15: Resultados de las preguntas de nivel de dificultad obtenida en el muestreo, identificación y cálculo índice IBA

El 100 por ciento de los encuestados clasificó la metodología (uso de macroinvertebrados) como “útil”. Asimismo, todos los encuestados respondieron afirmativamente sobre el interés en usar la metodología en otras fuentes de agua. Todos los participantes afirmaron que le enseñarán a usar el índice IBA a conocidos. El total de las mujeres encuestadas mencionaron que tenían interés de enseñarle la metodología a sus hijos.

La mayor dificultad fue la identificación de macroinvertebrados (en general y también los de tamaño pequeño) (Figura 16).



Figura 16: Respuestas a las dificultades del análisis de calidad de agua

La mayoría de entrevistados solicitó kits de identificación y lupas para talleres futuros, con el fin de mejorar la dinámica en campo. También más información sobre calidad de agua en altura e información sobre agua potable (Figura 17).

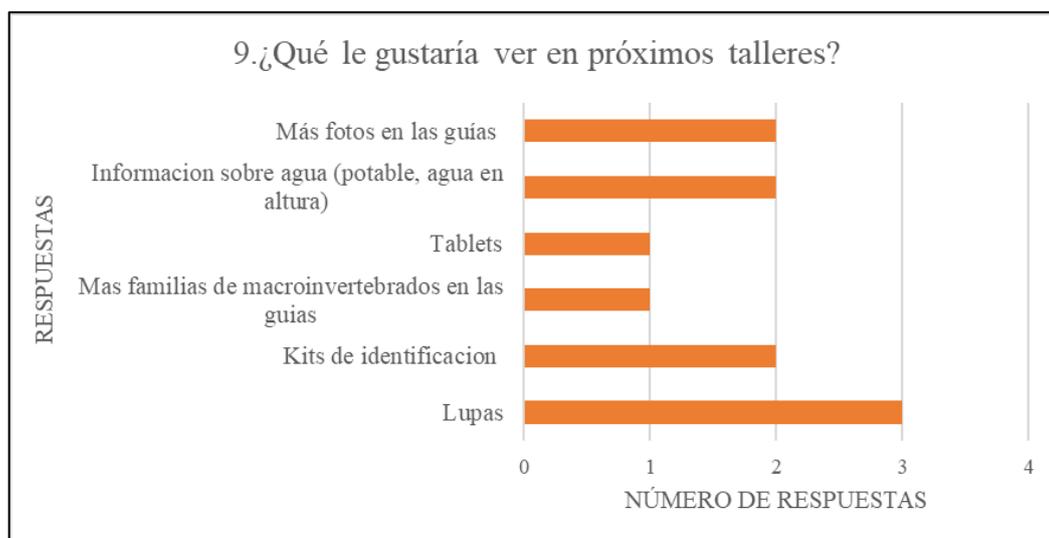


Figura 17: Respuestas de expectativas para los próximos talleres

Taller de capacitación II: El segundo taller de capacitación contó con 19 participantes (Anexo 13): 15 de la comunidad Cordillera Blanca y 4 participantes de INAIGEM. Previo al taller, se solicitó a los participantes descargar la aplicación Aqua Biosmart y cargar las fotografías de las familias con anticipación. La presentación inició con un resumen del primer taller y un repaso de cómo evaluar calidad de agua a través de macroinvertebrados para los nuevos asistentes. También se mostró los resultados del índice IBA obtenidos del Taller I. Luego, se explicó el funcionamiento del aplicativo móvil Aqua Biosmart y se respondió preguntas de los presentes. Posteriormente, se trasladó a los participantes a la zona de Sacracancha, sin embargo, el área de muestreo fue diferente al taller anterior. Previo al muestreo, se realizó una pausa para el refrigerio.

Tal como se solicitó en la encuesta preliminar, se hizo la entrega de 4 kits de muestreo al presidente de la comunidad, el Sr. Robert Balabarca (Anexo 14) para facilitar el trabajo de campo y la identificación de los macroinvertebrados.

Durante este taller, muchos de los participantes se animaron a realizar sus identificaciones por su cuenta y en equipos. Las identificaciones propuestas fueron verificadas y corregidas por la tesista con la supervisión del Dr. Raúl Loayza.

4.1.3. Demografía capacitados y acceso a tecnologías móviles

En total, se encuestaron a 53 personas: 21 participantes de la C.C Cordillera Blanca y 32 alumnos de la UNASAM (Cuadro 13).

Cuadro 13: Características sociodemográficas de la población muestreada

Variables		Población muestreada					
		C.C Cordillera Blanca	Porcentaje %	UNASAM	Porcentaje %	Total (N=53)	Porcentaje Total
Género	Femenino	8	38.10	20	62.5	28	52.8
	Masculino	13	61.90	12	37.5	25	47.2
Edad	60-69	4	19.05	0	0.0	4	7.5
	50-59	4	19.05	0	0.0	4	7.5
	40-49	8	38.10	1	3.1	8	15.1
	30-39	5	23.81	1	3.1	5	9.4
	20-29	0	0.00	23	71.9	25	47.2
	<20	0	0.00	7	21.9	7	13.2
Rol en la comunidad*	CIAL	12	57.14	0	0.0	10	18.9
	Socio	10	47.62	0	0.0	9	17.0
	Presidente	1	4.76	0	0.0	1	1.9
	Secretario	1	4.76	0	0.0	1	1.9
	Estudiante	0	0.00	0	0.0	0	0.0
	Profesor	0	0.00	0	0.0	0	0.0
Educación	Primaria completa	5	23.81	0	0.0	5	9.4
	Primaria incompleta	3	14.29	0	0.0	3	5.7
	Secundaria completa	9	42.86	0	0.0	9	17.0
	Secundaria incompleta	4	19.05	0	0.0	4	7.5
	Carrera técnica	0	0.00	0	0.0	0	0.0
	Universitaria	0	0.00	32	100.0	32	60.4
	Sin estudios	0	0.00	0	0.0	0	0.0
Ocupación	Ama de casa	6	28.57	0	0.0	6	11.3
	Agricultor	11	52.38	0	0.0	11	20.8
	Sin definir	4	19.05	0	0.0	4	7.5
	Estudiante	0	0.00	30	93.8	30	56.6
	Profesor	0	0.00	2	6.3	2	3.8

*Se aplica únicamente para la C.C. Cordillera Blanca

Con respecto al *género* de los encuestados totales, 52.8 por ciento fueron mujeres y 47.2 por ciento fueron hombres. La mayoría de los encuestados de la comunidad fueron hombres (61.9 por ciento) y en el caso de los alumnos de la UNASAM, el 62.5 por ciento fueron mujeres. Según el Censo 2017, en el distrito de Recuay el 47.3 por ciento de la población es de género masculino, mientras que el 52.7 por ciento es femenino (INEI 2018).

La *edad* de los encuestados totales estuvo en el rango de menos de 20 a 69 años con un promedio de edad de 44.5 años. El promedio de edad de los encuestados de la comunidad fue de 49.5 años y el mayor número de encuestados se encontraba en el rango de edad de 40-49 años. La edad promedio en la población del distrito de Recuay es 34 años (INEI 2018).

Dentro de los encuestados que son parte de la comunidad campesina Cordillera Blanca, el 57.14 por ciento eran miembros activos del CIAL “Allí Yacu, Allí Pastu”.

El 42.8 por ciento de los encuestados de la C.C Cordillera Blanca tienen nivel educativo secundaria completa. Sin embargo, muchas de las participantes mencionaron no saber leer ni escribir. El porcentaje de mujeres analfabetas en el distrito de Recuay alcanza el 16.4 (INEI 2018).

La mayoría de encuestados tenían como ocupación “agricultor” (52.3 por ciento) y en cuanto a educación, el *nivel de estudios* superior fue secundaria completa (42.8 por ciento). El 39.4 por ciento de habitantes en la provincia de Recuay, obtuvo educación secundaria como nivel educativo alcanzado (INEI 2018).

Sobre el acceso a la tecnología (Cuadro 14), se les consultó a los encuestados si contaban con un teléfono inteligente o *Smartphone*, de los cuales, 85.7 por ciento de los participantes de la C.C. Cordillera Blanca respondieron afirmativamente, sin embargo, solo el 61.9 por ciento se pudo descargar el aplicativo Aqua Biosmart debido a la antigüedad de sus teléfonos, falta de memoria u otros problemas. Según datos del INEI (2021) el 84.7 por ciento de hogares en áreas rurales, cuentan con acceso a un teléfono móvil. El acceso a internet desde la comunidad es posible en zonas donde hay señal telefónica sólo mediante el uso de datos (megas). Si desean hacer uso de servicios de internet de otra manera, deben

acercarse al Tambo comunal “Cordillera Blanca” (en el centro poblado Azulhuanca, Recuay). Los Tambos son servicios del estado colocados en zonas rurales para el acceso a diferentes servicios, entre ellos, internet (Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social 2022).

Cuadro 14: Acceso a tecnología móvil

Variables	Población muestreada					
	C.C Cordillera Blanca	Porcentaje %	UNASAM	Porcentaje %	Total (N=53)	Porcentaje Total
Cuenta con un teléfono inteligente/Smartphone	18	85.71	32	100	50	94.34
Tiene acceso a Internet en el teléfono móvil	21	100.00	32	100	53	100.00
Pudieron descargarse Aqua Biosmart*	13	61.90	32	100	45	84.91

*Si bien la mayoría de participantes contaba con un teléfono inteligente/Smartphone, solo unos pocos pudieron descargar el aplicativo debido a las características de sus teléfonos (antiguos, poca capacidad de RAM, etc.).

4.1.4. Encuesta de capacitación Aqua Biosmart

Para evaluar la capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart, se encuestó a los participantes de la comunidad Cordillera Blanca y también a los alumnos de la UNASAM (Anexo 5).

a. Fiabilidad del instrumento

Se realizó el Alpha de Cronbach para indicar la fiabilidad de la encuesta sobre el uso del aplicativo Aqua Biosmart (Cuadro 15).

Cuadro 15: Análisis de fiabilidad (Alpha de Cronbach) de Encuesta 2

Alpha de Cronbach	0.852
Casos válidos	53.00
Casos perdidos	0.00

La fiabilidad de las puntuaciones de la escala en la muestra es de 0.852, que indica que el instrumento de recolección de datos es bueno (George & Mallery 2003) para evaluar la calidad de la capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart.

Haciendo un análisis individual de cada elemento, se evaluó el “*Alpha sin elemento*”, que muestra cómo varía el valor del Alpha de Cronbach si se eliminara dicho elemento. El Cuadro 16 muestra que, si el elemento *Uso* fuera removido, el Alpha aumentaría ligeramente a 0.853. Sin embargo, se mantuvo este elemento en la encuesta ya que el coeficiente final muestra una buena fiabilidad.

Cuadro 16: Evaluación de cada elemento con el Alpha de Cronbach

Nro.	Elemento	Media de escala sin elemento	Des Típ de escala sin elemento	Correlación con elemento de escala corregido	Alpha sin elemento
1	Uso	6.49	2.715	0.548	0.853
2	Utilidad	6.94	2.634	0.806	0.786
3	Identificación	6.7	2.693	0.625	0.831
4	Interpretación resultados	6.75	2.518	0.794	0.783
5	Satisfacción de capacitación	7.3	2.812	0.571	0.844

b. Resultados Encuesta Aqua Biosmart

Los resultados de la calificación de la experiencia y capacitación en el uso del aplicativo Aqua Biosmart se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Calificación del aplicativo Aqua Biosmart (resultados en porcentaje)

Dimensión	Elementos	Participantes	Escala de Likert				
			1	2	3	4	5
Calificación	Uso	C.C Cordillera Blanca	0.0	61.9	19.0	19.0	0.0
		UNASAM	31.3	43.8	15.6	9.4	0.0
	Utilidad	C.C Cordillera Blanca	38.1	61.9	0.0	0.0	0.0
		UNASAM	53.1	37.5	0.0	6.3	3.1
	Identificación	C.C Cordillera Blanca	57.1	23.8	19.0	0.0	0.0
		UNASAM	28.1	40.6	25.0	6.3	0.0
	Interpretación	C.C Cordillera Blanca	28.6	42.9	28.6	0.0	0.0
		UNASAM	50.0	31.3	12.5	3.1	3.1
	Satisfacción	C.C Cordillera Blanca	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		UNASAM	62.5	31.3	0.0	3.1	3.1

Sobre el Uso del aplicativo Aqua Biosmart, ambos grupos de encuestados lo calificaron como “*fácil*”.

Para el elemento Utilidad, el 61.9 por ciento de los encuestados de la comunidad encontraron el aplicativo *útil*, y el 53.1 por ciento de los alumnos *muy útil*.

Para el elemento Identificación, el 57.1 por ciento de los encuestados de la comunidad calificaron como *muy fácil* la identificación mediante las fotografías en el aplicativo. Para los alumnos, el 40.6 por ciento calificó de *fácil* la identificación.

Para el elemento Interpretación, el 42.9 por ciento de los encuestados de la comunidad calificaron como *fácil* la interpretación final de resultados de calidad mediante puntaje IBA, mientras que el 50 por ciento de los alumnos lo calificaron como *muy fácil* y un 3.1 por ciento como *muy difícil*.

Para el elemento Satisfacción, el total de encuestados de la comunidad mencionaron estar *muy satisfechos* con la capacitación, mientras que el 65 por ciento de los alumnos mencionaron estar *muy satisfechos*, 31.1 por ciento *satisfechos* y un 3.1 por ciento *muy insatisfecho*.

Sobre si usarían el aplicativo Aqua Biosmart para realizar monitoreos de calidad de agua, el total de encuestados mencionaron que sí lo usarían, lo que indica un gran entusiasmo por la ciencia participativa en la evaluación de calidad de agua (Figura 18).

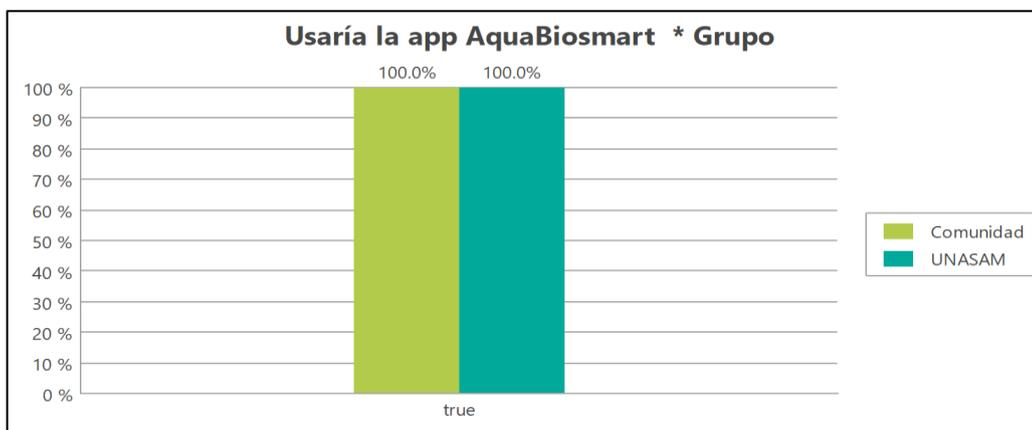


Figura 18: Uso del aplicativo para monitoreo de calidad de agua

La *facilidad de uso y facilidad de entender* (38.1 por ciento) fueron las mayores ventajas sobre el uso del aplicativo Aqua Biosmart mencionadas por la comunidad Cordillera Blanca, mientras que para los alumnos de la UNASAM la *simplificación del monitoreo* (43.8 por ciento) fue la mayor ventaja (Figura 19).

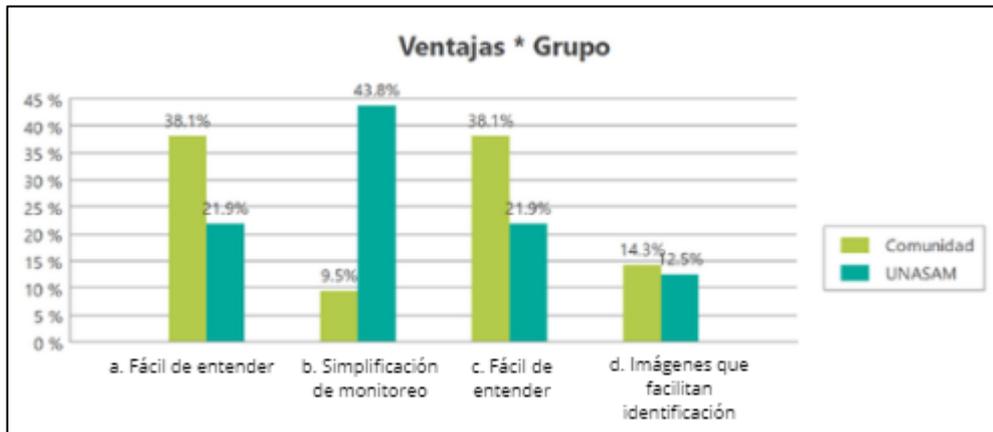


Figura 19: Ventajas del uso del aplicativo entre grupos de encuestados

Sobre las limitaciones, los encuestados pertenecientes a la comunidad Cordillera Blanca señalaron la *conectividad a internet* (57.9 por ciento) como su mayor limitación, seguida de *contar con un teléfono smartphone* (42.1 por ciento). Estos resultados se ajustan a los resultados obtenidos en el acceso a tecnología móvil mencionado anteriormente (Cuadro 14). Para los alumnos de la UNASAM, la mayor limitante fue la *conectividad a internet* con 71.9 por ciento y 12.5 por ciento tuvieron demoras en la *carga de imágenes* de macroinvertebrados desde el aplicativo (Figura 20).

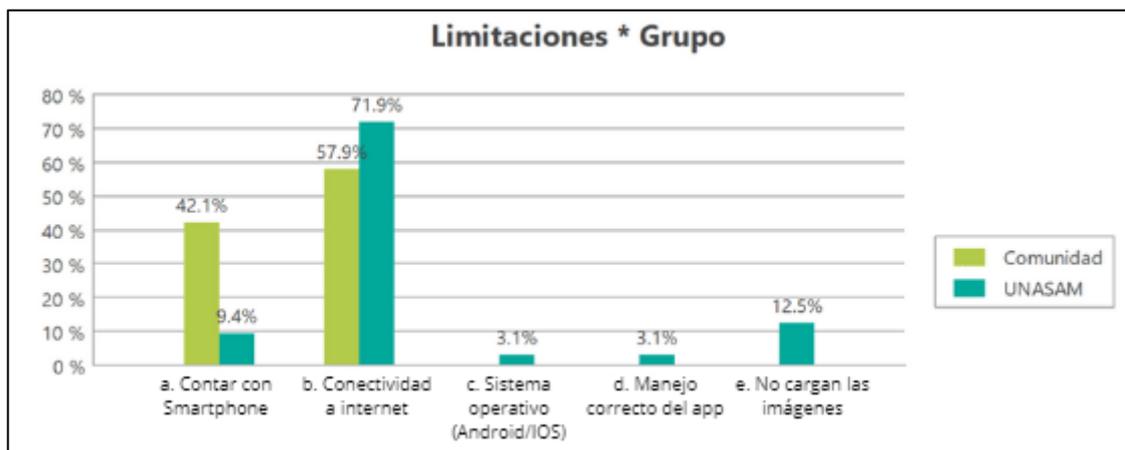


Figura 20: Limitaciones del uso del aplicativo entre grupos de encuestados

Ambos grupos de usuarios calificaron positivamente los elementos de la capacitación y consideraron útil el aplicativo Aqua Biosmart. El elemento Interpretación, referente a los resultados del índice IBA, tuvo menor grado de satisfacción para ambos grupos.

Según Pejovic & Skarlatidou (2020), los aspectos clave para el desarrollo exitoso de un aplicativo de ciencia participativa son la facilidad de uso para el participante, la interacción con el usuario y la interoperabilidad. El aplicativo Aqua Biosmart demostró facilidad de uso para ambos grupos de usuarios.

La mayor limitante de esta tecnología en las zonas rurales es la falta de conexión a internet y acceso a teléfonos inteligentes o *Smartphones*, que permiten el uso de aplicativos como Aqua Biosmart. Los hogares con acceso a internet en áreas rurales en el país son un 13.2 por ciento, y el 91.3 por ciento de la población en dicha zona hace uso del servicio de internet a través de su teléfono móvil (INEI 2021). Sin embargo, el 38.4 por ciento de encuestados en la región Sierra, mostraron disconformidad del servicio de telefonía móvil. Entre las razones mencionadas se encuentran interrupciones en la llamada y tener que movilizarse para encontrar señal (INEI 2019). Por otro lado, el acceso a teléfonos inteligentes para personas ubicadas en zonas rurales es limitado debido a los altos costos de los mismos.

Estudios realizados en la demografía de los voluntarios en proyectos de ciencia participativa, encontraron que el mayor número de participantes provienen de grupos socioeconómicos altos y con mayor nivel educativo, lo que repercute en la calidad de datos que podrían no estar representando el objetivo del estudio (Blake et al. 2020; Domhnaill et al. 2020).

Estas limitaciones en el acceso a tecnologías móviles, proponen una brecha de participación de ciertos grupos demográficos. Esto podría influenciar en la calidad de datos, ya que solo ciertos grupos podrían estar siendo representados y en consecuencia impactar también en la toma de decisiones y elaboración de políticas (Pateman et al. 2021).

Se debe considerar las posibles barreras que puedan ocasionar desigualdades en participación y acceso a proyectos científicos. El fomento de la innovación, invención y creatividad en técnicas de ciencia participativa es mayor cuando se incluyen grupos de

diversas formaciones (Pateman *et al.* 2021). Para el caso de uso de tecnologías digitales en zonas rurales en países en desarrollo, se recomienda la aplicación del diseño participativo con las comunidades objetivo, de modo que se genere la tecnología adecuada que se ajuste a las características demográficas, culturales y geográficas (Pejovic & Skarlatidou 2020).

Una de las mayores preocupaciones en proyectos de ciencia participativa es la continuidad y retención de los participantes. En muchos proyectos, los datos colectados sólo se dan en su mayoría por un número reducido de voluntarios (Adler *et al.* 2020; August *et al.* 2019). Dentro de los factores asociados con una participación sostenida están el interés inicial, la retroalimentación, reconocimiento, la interacción social y la promoción de resultados (Adler *et al.* 2020; West & Pateman 2016). Un mecanismo para motivar el uso de los aplicativos de ciencia participativa es la “gamificación”, que corresponde a la adición de mecánicas de juegos que invite al usuario a competir por recompensas por puntajes (Bowser *et al.* 2014). Sin embargo, estos mecanismos de retención de participantes deben estar centrados al público objetivo y las limitaciones que puedan presentarse. Para los participantes de la C.C. Cordillera Blanca, el acceso a tecnologías móviles demuestra ser la principal barrera, ya que solo pocos pueden utilizar Aqua Biosmart, lo que reduce la posibilidad del reporte de calidad; sin embargo, aún tienen la posibilidad de usar el aplicativo para su uso personal y monitoreo de calidad de agua.

4.1.5. Encuesta de desempeño y conocimientos demostrados por los miembros del CIAL

Finalizando el Taller IV, se les envió una encuesta a los alumnos de la UNASAM para que califiquen la capacitación brindada por sus instructores del CIAL (Anexo 7). Veintisiete alumnos enviaron sus resultados.

a. Fiabilidad del instrumento

El Alpha de Cronbach de la encuesta 4 tuvo como resultado 0.883 que lo califica como Bueno (George & Mallery 2003) (Cuadro 18).

**Cuadro 18: Análisis de fiabilidad
(Alpha de Cronbach) de la Encuesta 4**

Alpha de Cronbach	0.883
Casos válidos	27
Casos perdidos	0

Haciendo un análisis individual de cada elemento, si se retirara el elemento *Claridad de explicaciones*, el Alpha de Cronbach aumentaría a 0.903 y la encuesta sería calificada como Excelente (Cuadro 19).

Cuadro 19: Evaluación de cada elemento con el Alpha de Cronbach

Nro.	Elemento	Media de escala sin elemento	Des Típ de escala sin elemento	Correlación con elemento de escala corregido	Alpha sin elemento
1	Calificación general del taller	8.3	1.958	0.919	0.837
2	Claridad de explicaciones	7.63	2.186	0.317	0.903
3	Dominio del tema	8.3	1.958	0.919	0.837
4	Capacitación en el MUESTREO	8.11	2.025	0.536	0.886
5	Capacitación en la IDENTIFICACIÓN	8.22	1.987	0.713	0.861
6	Capacitación en el aplicativo Aqua Biosmart	8.07	2.018	0.54	0.886
7	Utilidad de lo aprendido para tu desarrollo personal o profesional	8.26	1.953	0.857	0.842

b. Resultados Encuesta de desempeño

Cuadro 20: Resultados en porcentaje de la encuesta de desempeño

Dimensión	Elementos	Escala de Likert				
		1	2	3	4	5
Calificación	Calificación general del taller	81.5	18.5	0	0	0
	Claridad de instructores	14.8	85.2	0	0	0
	Dominio del tema	81.5	18.5	0	0	0
	Capacitación de muestreo	63	37	0	0	0
	Capacitación en identificación	74.1	25.9	0	0	0
	Capacitación en Aqua Biosmart	59.3	40.7	0	0	0
Aplicación	Utilidad en su desarrollo personal o profesional	77.8	22.2	0	0	0

Con respecto a la calificación general del taller de capacitación, el 81.5 por ciento de los encuestados lo refirió como *muy bueno* y el 18.5 por ciento como *bueno*.

Sobre la claridad de las explicaciones de parte de los instructores, el 85.2 por ciento de los encuestados la encontraron *clara* y 14.8 por ciento *extremadamente clara*.

El 81.5 por ciento de los alumnos refirieron como *muy bueno* el dominio del tema por parte de sus instructores, y 18.5 por ciento como *bueno*.

El 63 por ciento de los alumnos refirieron como *muy buena* la capacitación en el muestreo y 37 por ciento como *bueno*.

El 74.1 por ciento de los encuestados calificó como *muy buena* la capacitación en la identificación de los macroinvertebrados y un 25.9 por ciento como *bueno*.

El 59.3 por ciento de los encuestados calificó la capacitación en el aplicativo Aqua Biosmart como *muy buena* y 40.7 por ciento como *bueno*.

Estos resultados demuestran el éxito de la capacitación en el muestreo y uso del aplicativo Aqua Biosmart a los miembros de la C.C. Cordillera Blanca y su habilidad para compartir su experiencia con otros grupos.

Finalmente, el 77.8 por ciento de alumnos consideró *muy útil* lo aprendido en el taller para su desarrollo personal o profesional. Estos resultados apoyan los hallazgos de Geoghegan *et al.* (2016) sobre la participación en proyectos de ciencia participativa, que ayudan a la formación profesional.

La calificación general del taller fue referida como “Muy bueno” por más del 80 por ciento de los alumnos. El elemento mejor calificado de la capacitación fue dominio del tema, mientras que el más bajo fue la capacitación en el aplicativo Aqua Biosmart. Estos resultados demuestran el éxito en la capacitación de los miembros de la C.C. Cordillera Blanca y la

eficiencia de los mismos al compartir sus conocimientos con otros.

4.1.6. Descripción fisicoquímica e Índice biótico andino (IBA) de los puntos de muestreo

Se evaluaron parámetros fisicoquímicos de los puntos de muestreo con excepción de tres puntos (Cuadro 21), debido a que la ubicación se encontraba alejada y por falta de tiempo no se pudo acceder nuevamente al lugar con el multiparámetro.

Cuadro 21: Ubicación y datos fisicoquímicos de los puntos de muestreo

Puntos	Fisicoquímicos			
	Temperatura	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
P1	18.3 °C	8.27	39 µS/cm	20 mg/l
P2	-	-	-	-
P3	-	-	-	-
P4	17.4 °C	6.71	25.1 µS/cm	5.92 mg/l
P5	13.2 °C	7.97	12 µS/cm	6 mg/l
P6	-	-	-	-
P7	11.3 °C	6.3	0.05 µS/cm	6.54 mg/l
P8	15.1 °C	6.51	27.3 µS/cm	7.02 mg/l
P9	15.9 °C	6.75	20.9 µS/cm	6.21 mg/l
P10	13.6 °C	6.25	16.06 µS/cm	8.19 mg/l
P11	13.4 °C	6.48	35 µS/cm	6.73 mg/l
P12	13.4 °C	6.62	14.66 µS/cm	5.86 mg/l

"-" Datos no tomados por lejanía

Para el análisis de calidad ecológica de los puntos de agua, se utilizó el índice biótico andino (IBA), basados en puntajes asignados a cada taxa (familia) de macroinvertebrado según su tolerancia o sensibilidad frente a la perturbación ambiental (Acosta *et al.* 2009; Ríos-Touma *et al.* 2014). Mediante el uso del aplicativo Aqua Biosmart, se sumó los puntajes asignados a las familias de macroinvertebrados usando la lista propuesta en Acosta *et al.* (2009) (Anexo 10) para el cálculo del IBA. De los 12 puntos muestreados: 3 mostraron buena calidad, 8 calidad moderada y un punto indicó mala calidad (Cuadro 22) (Figura 21).

El valor más alto del índice IBA obtenido fue de 56 en P1, y el valor más bajo fue de 16 en P7.

Cuadro 22: Calidad IBA por punto de muestreo

Puntos	IBA	
	Puntaje IBA	Calidad IBA
P1	56	BUENA
P2	52	BUENA
P3	31	MODERADO
P4	41	MODERADO
P5	49	BUENA
P6	33	MODERADO
P7	16	MALA
P8	31	MODERADO
P9	35	MODERADO
P10	40	MODERADO
P11	36	MODERADO
P12	28	MODERADO

P1: Se registró la temperatura de 18.3°C. El pH fue alcalino (8.27), presentó el valor más alto de OD (20 mg/l) y de conductividad (39 μ S/cm). Fue el punto con mayor riqueza de familias (12) y 11 órdenes. Dentro de los macroinvertebrados encontrados en el punto, estuvieron presentes *Leptoceridae* (Trichoptera) y *Gripopterygidae* (Plecoptera) con puntajes altos (8 y 10 respectivamente). Ambos órdenes sensibles a la polución. La suma de puntajes resultó en 56, indicando buena calidad.

P2: El bofedal presentó 10 familias de macroinvertebrados y 10 órdenes, entre ellos, *Gripopterygidae* (Plecoptera), *Hydrobiosidae* (Trichoptera) y *Aeshnidae* (Odonata). El puntaje total resultó en 52, indicando buena calidad.

P3: El punto muestreado presenta 6 familias de macroinvertebrados y 5 órdenes, incluidos 2 Trichopteras: *Limnephilidae* y *Leptoceridae*. El índice IBA resultante fue 31, indicando calidad de agua moderada.

P4: El punto muestreado fue un riachuelo con baja corriente lo cual puede explicar su baja concentración de OD (5.92 mg/l). La temperatura del agua se registró en 17.4 °C y una conductividad de 25.1 µS/cm. El pH estuvo cerca de la neutralidad (6.71). Se encontraron 8 familias pertenecientes a 4 órdenes, siendo dominado por los dípteros (*Simuliidae*, *Chironomidae*, *Dolichopodidae* y *Tipulidae*). La mayoría de familias encontradas fueron de puntaje regular, se encontró una familia sensible, con puntaje alto (*Leptophlebiidae*). El Índice biótico andino (IBA) final fue 41, lo que lo coloca en un rango de calidad moderada.

P5: La temperatura del agua fue de 13.2 °C, la conductividad 12 µS/cm y el oxígeno disuelto fue de 6 mg/l. El pH estuvo cerca a la neutralidad (7.97). La mayoría de familias encontradas fueron de sensibles, se encontraron dos Trichoptera (*Leptophlebiidae* y *Leptoceridae*) pero también familias tolerantes (*Chironomidae* y *Oligochaeta*). La suma total de los puntajes IBA fue de 49, que indica buena calidad.

P6: La riqueza fue de 7 familias pertenecientes a 7 órdenes, de las cuales destacan la presencia de *Leptophlebiidae* (Ephemeroptera) como organismo sensible a la contaminación. Se encontró familias tolerantes (*Sphaeriidae*, *Hirudinea* y *Muscidae*). Debido a la lejanía de este punto del resto, no se pudo hacer la medición de parámetros fisicoquímicos. El puntaje final fue 33 que lo cataloga como calidad moderada.

P7: El punto se caracterizó además de poseer el pH más bajo (6.5), la conductividad más baja, (0.05 µS/cm) y la temperatura más fría (11.3 °C). el oxígeno disuelto fue 6.54 mg/l. El puntaje IBA fue el más bajo, con 16, indicando mala calidad. Solo se encontraron 4 familias de 4 órdenes diferentes. Todas las familias encontradas pertenecen a macroinvertebrados tolerantes.

P8: Se registró una temperatura de 15.1 °C, un pH de 6.51, conductividad 27.3 µS/cm y el OD fue de 7.02 mg/l. El puntaje total fue de 31, indicando agua de calidad moderada. Se identificaron 7 familias pertenecientes a 6 órdenes. Se encontraron dos Trichoptera (*Limnephilidae* y *Hydroptilidae*).

P9: La temperatura fue de 15.9 °C, pH 6.75, conductividad 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y OD 6.21 mg/l. Presentó un puntaje de 35, indicando agua de calidad moderada. Se identificaron 8 familias de 7 órdenes, entre las que destacan la presencia de dos Trichoptera (*Limnephilidae* y *Hydropsychidae*).

P10: La temperatura fue de 13.6 °C, el pH fue de 6.25, el más bajo registrado. La conductividad fue de 16.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el OD 8.19 mg/l. La suma de puntajes resultó en 40, indicando calidad moderada. Se identificaron 9 familias pertenecientes a 7 órdenes. La lista de familias encontradas pertenecía al espectro tolerante.

P11: La temperatura fue de 13.4 °C, el pH fue de 6.48, la conductividad 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el OD 6.73 mg/l. La suma total fue de 36, indicando calidad moderada. Se encontraron 8 familias pertenecientes a 7 órdenes. La familia más sensible encontrada fue *Hydrobiosidae*.

P12: La temperatura fue de 13.4 °C, el pH registrado fue de 6.62, la conductividad fue de 14.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Fue el punto con menor oxígeno disuelto (5.86 mg/l), por lo que no se encontró presencia de efímeras y se encontraron familias tolerantes. El puntaje fue de 28, indicando calidad moderada. Se identificaron 6 familias de 5 órdenes.

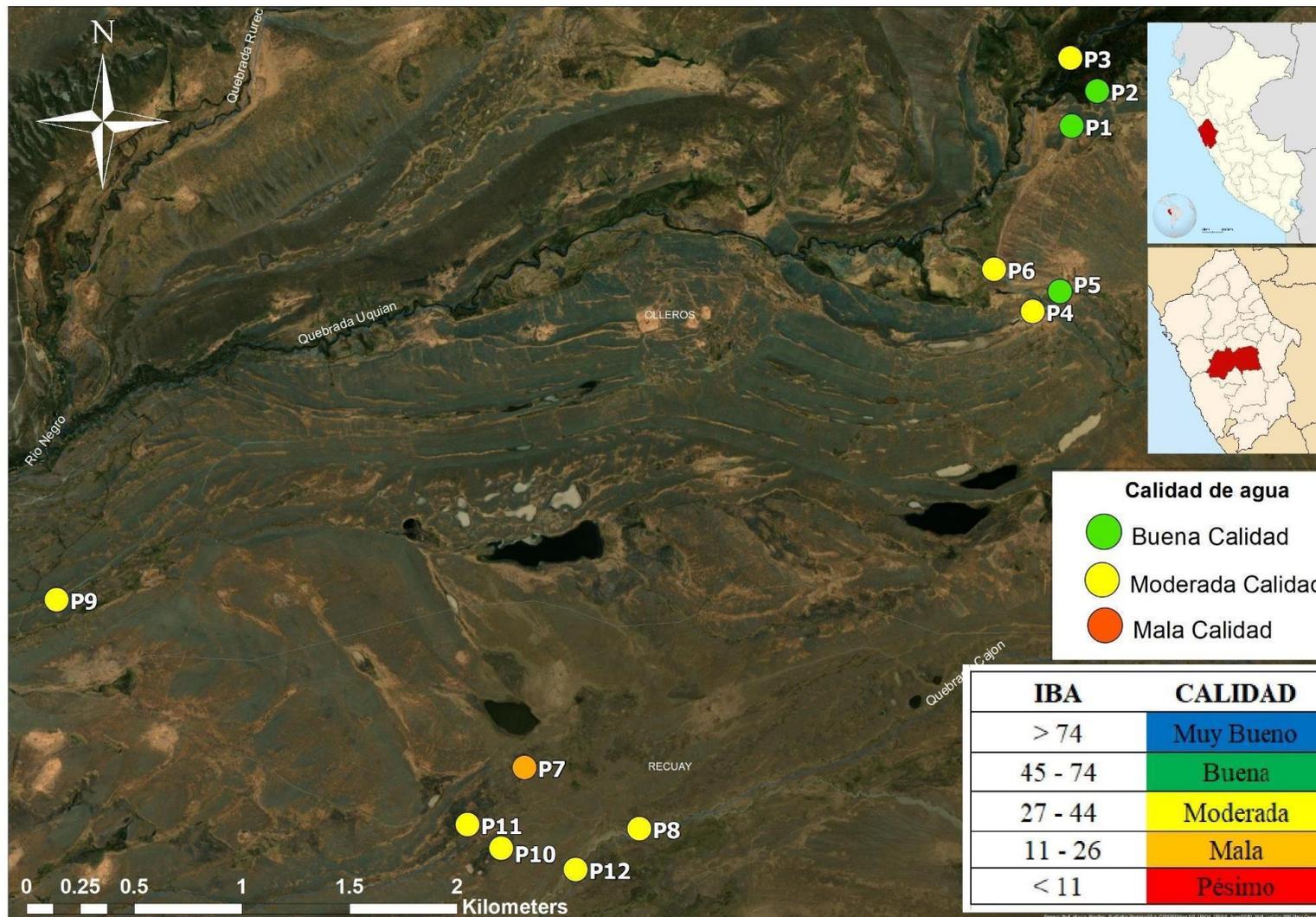


Figura 21: Mapa de resultados de índice biótico andino (IBA) de puntos de muestreo en la comunidad campesina Cordillera Blanca

4.1.7. Distribución de comunidad de macroinvertebrados

La lista completa de familias encontradas en cada punto de muestreo se observa en el Anexo 9.

De Los Ríos-Escalante *et al.* (2012) explica que la dominancia de la familia *Hyaellidae* se deba a que se encuentra entre varios grupos funcionales: carnívoros, herbívoros, omnívoros y detritívoros y se ajusta al tipo de substrato encontrado; y es resistente a ciertos tipos de contaminación orgánica (Ríos-Touma *et al.* 2014).

Los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (también conocido como EPT), son taxas conocidas por ser sensibles a la contaminación, y debido a su baja tolerancia a perturbaciones ambientales se les asocia a ambientes de buena calidad, por lo que son comúnmente usados en la evaluación de la salud del ecosistema acuático (Albutra *et al.* 2017). Las comunidades EPT se encuentran por lo general en cabeceras de ríos (Ab Hamid & Md Rawi 2017). Entre las familias más sensibles de Ephemeroptera, se encuentran *Leptophlebiidae* (encontrada en P4, P5 y P6), que posee el puntaje más alto en el índice IBA debido a que no se encuentra en ambientes de condiciones desfavorables, mientras que *Baetidae* (presente en 8 puntos) posee un espectro ambiental más amplio y se puede tolerar ambientes más contaminados (Ab Hamid & Md Rawi 2017); las familias sensibles pertenecientes a Trichoptera son *Leptoceridae* (presente en P1, P3 y P5) e *Hydroptilidae* (presente en P8), mientras que familias como *Hydropsychidae* (encontrada en P9) tienen una tolerancia más amplia (Ríos-Touma *et al.* 2014; Roldán-Pérez 2016). Debido a su naturaleza filtradora, se posicionan en la corriente ya que de este modo filtran partículas de detritus y algas suspendidas en el agua. Esta familia se encuentra en ríos contaminados con una moderada carga de desechos orgánicos y nutrientes (Engel & Voshell 2002). Los Plecoptera son altamente sensibles a la degradación de hábitat y a la contaminación, debido a su baja motilidad (Ab Hamid & Md Rawi 2017; Armitage *et al.* 1983; Fochetti, 2020). Solo dos familias de Plecoptera se encuentran presentes en los andes tropicales: *Perlidae* y *Gripopterygidae* (familia presente en P1 y P2). Ambos poseen el puntaje IBA más alto porque se ubican únicamente en zonas de buena calidad sobre los 2000 msnm (Ríos-Touma *et al.* 2014).

El orden Díptera (moscas), es el grupo de macroinvertebrados que domina las aguas dulces debido a sus adaptaciones al ecosistema acuático y es el orden con mayor dominancia encontrado en los muestreos (sólo no estuvo presente en P7). Algunas especies de díptera poseen características extremas que les permiten adaptarse a ambientes duros (Adler & Courtney 2019).

La familia *Chironomidae* tiene un rol fundamental en la red trófica, al ser consumidor de materia orgánica, algas, otros invertebrados y a la vez ser alimento para otros organismos (Oviedo-Machado & Reinoso-Flórez 2018). Esta familia estuvo presente en casi todos los puntos de muestreo, excepto en P6, P7 y P12. Su gran distribución puede explicarse debido a que los *Chironomidae* son familias dominantes a gran altitud y en climas fríos en regiones altoandinas (Jacobsen *et al.* 2010), además que pueden tolerar cambios repentinos en su ambiente y reproducirse rápidamente (Arimoro *et al.* 2007).

La familia *Aeshnidae* (Odonata) fue identificada en los tres bofedales muestreados (P2, P6 y P10), esto concuerda con el hábitat de esta familia, que son preferentemente aguas lénticas, como pequeños estanques, pantanos u bofedales, ya que al ser depredadores habitan en zonas con presencia de substrato para sorprender a sus presas, además de poner sus huevos en tejido vegetal en descomposición (Hilsenhoff 2001; Mosquera-Murillo & Mosquera-Mosquera 2021). Esta familia se encuentra usualmente en ambientes perturbados en los ríos andinos (Ríos-Touma *et al.* 2014).

Dentro del orden Coleoptera, la única familia identificada fue *Elmidae*. Esta familia está asociada a buena calidad de agua en la zona neotropical y presenta mayor diversidad y distribución altitudinal (Roldán-Pérez 2016). La mayoría de los élmidos se presentan en ríos bien oxigenados, pero también pueden estar presentes en las orillas de lagos (Elliott 2008). Al ser raspadores de algas, los élmidos se encuentran adheridos a las rocas y superficies poco profundas. En ríos contaminados, la biopelícula de algas suele ser más gruesa y resbalosa, lo que previene que los raspadores se adhieran (Engel & Voshell 2002).

Del orden Hemiptera, se encontró la familia *Corixidae* en seis puntos de muestreo. Los hemípteros, también conocidos como chinches de agua, son organismos tolerantes a distintas

condiciones ambientales, desde bajos niveles de oxígeno disuelto, ya que respiran en la superficie del agua (Lock *et al.* 2013), incluso algunas especies pueden tolerar grandes rangos de pH, desde zonas alcalinas y pH ácidos (Wollmann 2000). La alimentación de los *Corixidae* consiste en perifiton, oligochaetes y *Chironomidae*, que se encuentran presentes en ambientes con alto contenido de nutrientes, por lo que su presencia estaría limitada en puntos con mejor calidad de agua (Lock *et al.* 2013).

Los Annelida (Oligochaeta e Hirudinea) son un grupo tolerante a la contaminación. Los oligochaetas aumentan su abundancia en presencia de materia orgánica (Abubakr *et al.* 2018). Los Hirudíneos se encuentran presentes en ecosistemas degradados, con baja carga de OD y alta carga de materia orgánica (Roldán-Pérez 2016) y prefieren ambientes contaminados (Kazancı *et al.* 2015). Debido a esto, muchas especies son consideradas organismos altamente tolerantes (Albutra *et al.* 2017).

Del orden Turbellaria, se registraron las familias Planariidae (presente en 8 puntos de muestreo) y Dugesiiidae (presente en P12). Algunas especies de planarias tienen sensibilidad frente a la contaminación orgánica e inorgánica, mientras que otras, tienen mayor tolerancia (Kenik 1976).

4.2. EFICACIA

Se realizó la medición de la eficacia/precisión de la tasa de identificación durante los talleres de evaluación (Taller III y IV). Los participantes identificaron las familias de macroinvertebrados encontrados y los resultados fueron revisados por la tesista (Anexo 11).

4.2.1. Taller III

Se hizo una lista de familias encontradas por punto (18 familias) en el taller III, de los cuales, 17 fueron identificados correctamente y uno incorrectamente (Cuadro 23), resultando en un 94.4 por ciento de eficacia de identificación.

$$\text{Eficacia identificación Taller III} = (17 \cdot 100) / 18 = 94.4 \text{ por ciento}$$

Cuadro 23: Lista de familias de macroinvertebrados identificados en el taller III

Puntos de Muestreo	Familias de macroinvertebrados	Asertividad		Familia correcta
		Correcto	Incorrecto	
P7	Oligochaeta	X		
	Planariidae	X		
	Hyalellidae	X		
	Baetidae	X		
P8	Hyalellidae	X		
	Limnephilidae	X		
	Corixidae	X		
	Chironomidae	X		
	Oligochaeta	X		
	Baetidae	X		
	Hydroptilidae	X		
P9	Baetidae	X		
	Hydrobiosidae		X	Hydropsychidae
	Chironomidae	X		
	Hyalellidae	X		
	Limnephilidae	X		
	Elmidae	X		
	Planariidae	X		
	Oligochaeta	X		

Las identificaciones de macroinvertebrados se llevaron a cabo dentro del local comunal perteneciente al CIAL “Allí Yacu, Allí Pastu” debido a las fuertes lluvias. El local no contaba con electricidad por lo que no se contaba con una adecuada iluminación. Los participantes se apoyaron de sus celulares como linternas para observar las características principales de los organismos y hacer la identificación adecuada. La familia *Hydropsychidae* fue incorrectamente identificada como un *Hydrobiosidae* en P9, sin embargo, ambas familias pertenecen al mismo orden (Trichoptera) y poseen un alto grado de similitud. Ambas familias no forman estuches o cápsulas. La diferencia principal, es la presencia de branquias en la zona ventral del abdomen de la familia *Hydropsychidae* (Huamantínco & Ortiz 2011) (Figura 22).

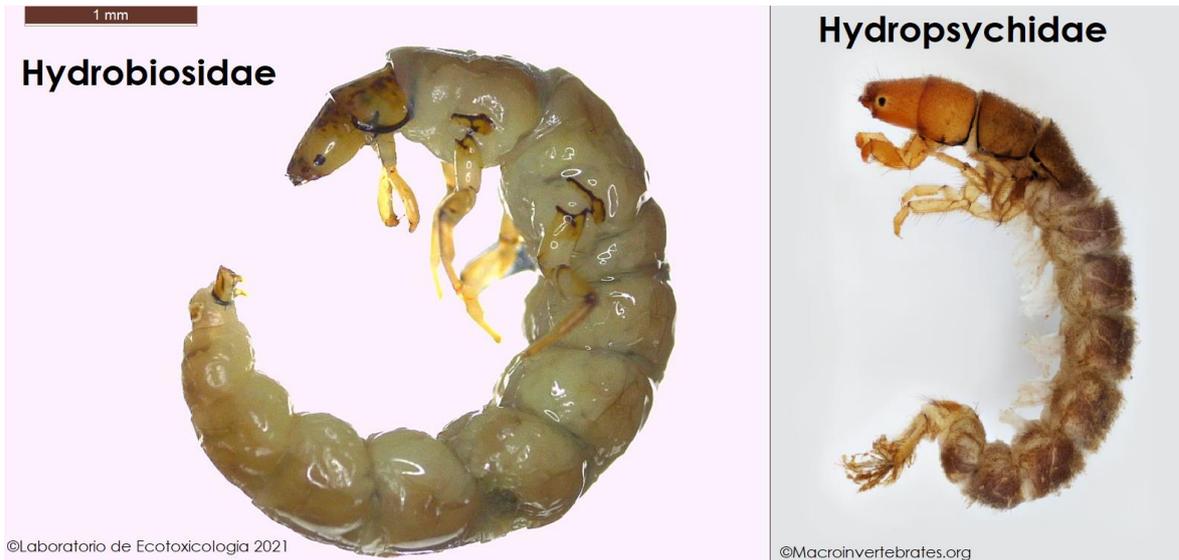


Figura 22: Comparación de las familias *Hydrobiosidae* y *Hydropsychidae*

4.2.2. Taller IV

Se hizo una lista de familias encontradas por punto (24 familias) en el taller IV, de los cuales, 20 fueron identificados correctamente, 3 fueron identificados incorrectamente y uno no fue identificado (Cuadro 24). Aplicando la fórmula de eficacia, el resultado fue 83.33 % de eficacia de identificación.

$$\text{Eficacia identificación Taller IV} = (20 \cdot 100) / 24 = 83.33 \text{ por ciento}$$

Cuadro 24: Lista de familias de macroinvertebrados identificados en el taller IV

Puntos de Muestreo	Familias de macroinvertebrados	Asertividad		Familia correcta
		Correcto	Incorrecto	
P10	Hyalellidae	X		
	Elmidae	X		
	Dolichopodidae		X	Limoniidae
	Chironomidae		X	No identificado
	Limoniidae	X		
	Simuliidae	X		
	Baetidae	X		
	Corixidae	X		
	Hirudinea	X		
	Aeshnidae	X		

«Continuación»

P11	Hyaellidae	X		
	Hydracarina	X		
	Elmidae	X		
	Culicidae		X	Chironomidae
	Simuliidae	X		
	Oligochaeta	X		
	Hydrobiosidae	X		
	Planariidae	X		
P12	Hyaellidae	X		
	Empididae		X	Tabanidae
	Simuliidae	X		
	Corixidae	X		
	Hirudinea	X		
	Dugesiiidae	X		

Al igual que en el Taller III, las identificaciones se llevaron a cabo en el local comunal, pero en la sección externa con techo que permitió una mejor iluminación y facilitó la identificación de organismos.

La familia *Limoniidae* (Orden Díptera) fue incorrectamente identificada como *Dolichopodidae* (Díptera) (Figura 23) en P10. Ambas familias de dípteros, no poseen una cápsula cefálica esclerotizada, y poseen lóbulos (4 o más lóbulos en *Dolichopodidae* y menos de 5 en *Limoniidae*) (Sundermann *et al.* 2007; Thorp & Rogers 2011). Además, faltó identificar la familia *Chironomidae* (Díptera). El puntaje original calculado por los participantes fue 42, sin embargo, luego de la corrección de las familias, el puntaje final fue de 40, resultando en calidad moderada.



Figura 23: Comparación de familias *Dolichopodidae* y *Limoniidae* (Díptera)

La familia *Chironomidae* (Díptera), fue incorrectamente identificada como *Culicidae* (Díptera) (Figura 24) en P11. Ambos dípteros presentan una cápsula cefálica esclerotizada, ambos presentan un par de pseudopatas en el segmento abdominal final, pero estos se diferencian en el tamaño de dicho órgano, siendo mayor en *Culicidae*, asimismo, *Chironomidae* presenta una pseudopata adicional en el primer segmento (Sundermann *et al.* 2007). El puntaje calculado por los participantes y el corregido se mantuvo en 36 (calidad moderada) debido a que ambas familias presentaban el mismo puntaje IBA.



Figura 24: Comparación de familias *Culicidae* y *Chironomidae* (Díptera)

En el punto 12, la familia *Tabanidae* (Díptera) fue mal identificada como *Empididae* (Díptera) en P12 (Figura 25). Ambas familias presentan pseudopatas usadas para locomoción, sin embargo, en *Empididae*, estas se localizan ventralmente y en *Tabanidae*, en ambos lados del segmento abdominal (Sundermann *et al.* 2007; Thorp & Rogers 2011). La suma del puntaje IBA calculada por los participantes y el puntaje corregido se mantuvo en 28, dando como resultado calidad moderada.



Figura 25: Comparación de familias *Empididae* y *Tabanidae* (Díptera)

Una de las limitaciones de la ciencia participativa mencionada por los científicos es la calidad de los datos obtenidos. Los principales desafíos surgen con el diseño e implementación de políticas y ciencia a partir de datos que no tienen una total confianza al ser percibidos como de baja calidad (Falk *et al.* 2019; Johansen *et al.* 2021; Kosmala *et al.* 2016). Muchos datos obtenidos en proyectos de ciencia participativa son relegados a un uso educativo para los participantes (Bonney *et al.* 2014). Sin embargo, otros estudios han demostrado que la calidad de los datos obtenidos de proyectos de ciencia participativa puede ser lo suficientemente buena, con una la baja variabilidad de los datos obtenidos entre profesionales y de voluntarios, si se sigue los protocolos estandarizados, y se podrían aplicar en ciencia y en toma de decisiones (Fuccillo *et al.* 2015; Lewandowski & Specht 2015).

Para mamíferos, los proyectos de ciencia participativa mostraron una eficacia de >90% en

la identificación de la mayoría de las especies (Forrester *et al.* 2017), y una eficacia de 99-100% en especies comunes de la zona (como ciervos y mapaches) (Gadsden *et al.* 2021) y 78% en aves (Parrish *et al.* 2019). Para fenología vegetal, Fuccillo *et al.* (2015) encontró una correcta identificación en 91 por ciento de las especies observadas; en insectos polinizadores la eficacia varió según metodología de identificación usada (79.1-94.3 por ciento) (Ratnieks *et al.* 2016) en invertebrados marinos la eficacia fue de 64 a 91 por ciento (Lawson *et al.* 2022) y en macroinvertebrados, el promedio de identificación a nivel familia fue de 29.6 por ciento, siendo mayor en *Gammaridae* y *Elmidae* (>50 por ciento) (Nerbonne & Vondracek 2003) y de 74.1 ± 3.9 en riqueza de familias y 66.3 ± 3.9 para EPT (Blake & Rhanor 2020).

El porcentaje de eficiencia de identificación de macroinvertebrados estuvo por encima del 80% en ambos talleres de evaluación (94.4% y 83.3% respectivamente), lo cual se considera aceptable (Cohn 2008).

Finalizando cada taller, tanto de capacitación como de evaluación, se brindó una retroalimentación en las técnicas usadas y en las identificaciones, de esta manera se redujo la repetición de errores.

El uso de imágenes en las capacitaciones permite una identificación eficaz (Katrak-Adefowora *et al.* 2020). Sin embargo, el tamaño del organismo puede impactar en la eficacia de la identificación (Ratnieks *et al.* 2016). En este sentido, macroinvertebrados de mayor tamaño o de características más resaltantes, son fácilmente identificados, mientras que los de menor tamaño son menos identificados o detectados con poca frecuencia (Gadsden *et al.* 2021).

Familias como *Aeshnidae*, *Hyaellidae* y *Corixidae* fueron fácilmente identificadas debido a su tamaño y características diferenciables con otros organismos. Por otro lado, familias pertenecientes al orden Díptera mostraron mayor dificultad en la identificación.

Durante el Taller IV, los participantes tuvieron dificultades en identificar organismos pertenecientes al orden Díptera, entre ellos la familia *Chironomidae* que fue mal identificada y en un caso no fue detectado por los participantes. Estos errores en la identificación en

organismos pequeños pueden llevar a que un orden esté subrepresentado en las muestras, mientras que otros de mayor tamaño están sobrerrepresentados (Koch *et al.* 2022; Krabbenhoft & Kashian 2020) y por ende, afectar el puntaje total del IBA y el resultado de la calidad de agua.

Engel & Voshell (2002) encontraron diferencias en muestras obtenidas entre voluntarios y profesionales, y explican que los voluntarios tienden a pasar por alto algunas familias tolerantes, como *Chironomidae*, con mayor frecuencia que otros organismos. Por otro lado, algunos voluntarios prefieren recolectar organismos de mayor tamaño y con movilidad limitada que facilita su captura (Reid & Tippler 2016).

Los resultados obtenidos de la eficacia en cada taller sugieren que las herramientas utilizadas en la identificación jugaron un rol importante para el desarrollo de las mismas. Durante el Taller III, se utilizaron las guías plastificadas y el aplicativo Aqua Biosmart y se obtuvo un mayor porcentaje de éxito en la identificación. Durante este taller se observó que los participantes usaban sus guías como primer paso de verificación, ya que, al tener una menor lista de macroinvertebrados, se les facilitó para hacer un primer filtro de identificación mientras que posteriormente, utilizaron el aplicativo Aqua Biosmart para buscar más fotografías de la familia en evaluación para asegurarse que era la familia encontrada. Mientras que en el Taller IV, únicamente se utilizó el aplicativo Aqua Biosmart. Estos resultados se respaldan por los obtenidos por Ratnieks *et al.* (2016) quienes demostraron que el uso de una guía a color más la proyección de diapositivas con fotografías mostró tener una eficacia de 85.6 por ciento en la identificación de insectos, comparado al uso solo de la guía (79.1 por ciento). Por lo que se sugiere que el uso de herramientas combinadas mejora la eficacia de identificación.

Otro factor a considerar es el tiempo en que fue realizada la evaluación con respecto a las capacitaciones. El Taller III, se realizó dos meses después del último taller de capacitación, por lo que los participantes aplicaron de manera directa todos los conceptos aprendidos en su entrenamiento, mientras que el Taller IV se realizó ocho meses después. Esto sugiere que el tiempo transcurrido entre los talleres de capacitación y evaluación pudo influir en la calidad de la identificación. El psicólogo alemán Hermann Ebbinghaus, estableció el término “curva del olvido”, en el cual midió la retención de temas estudiados en el tiempo, y concluyó

que, a más tiempo transcurrido, menos retención de información (Murre & Dros 2015). Sin embargo, la retención aumenta cuando hay un “aprendizaje espaciado” o “práctica distribuida” que es el intervalo que separa diferentes episodios de estudio de los mismos materiales (Cepeda *et al.* 2006). Ratnieks *et al.* (2016) sugieren que tanto la experiencia como la repetición de las capacitaciones, mejoran el proceso de aprendizaje debido a la oportunidad de reforzar conceptos y mejorar decisiones.

Los resultados de eficacia obtenidos únicamente por los miembros de la comunidad fueron mayores a los obtenidos con la influencia de los alumnos de la UNASAM. Esta diferencia en la eficacia puede deberse al tiempo de capacitación recibida. Los miembros de la comunidad tuvieron un régimen de entrenamiento de largo plazo (dos talleres de capacitación en un mes) por lo que demostraron estar más familiarizados con los macroinvertebrados, mientras que los alumnos de la UNASAM fueron entrenados en el momento en una sesión única (corto plazo). Es importante resaltar que los alumnos no contaban con experiencia previa en identificación de macroinvertebrados y para muchos, esta experiencia fue su primera actividad en campo. Sin embargo, el porcentaje de eficacia alcanzado por los alumnos demuestran que incluso participantes con poco tiempo de entrenamiento pueden alcanzar un nivel aceptable de identificación. Estos resultados son sustentados por los obtenidos por Katrak-Adefowora *et al.* (2020), en el cual se brindó las herramientas de identificación en el momento a voluntarios sin experiencia en biología y demostraron tener tanta precisión como los participantes con formación profesional.

4.3. PERCEPCIONES, HABILIDADES E INTERÉS GANADO

Se realizó una encuesta (Anexo 6) a 21 miembros participantes de la C.C Cordillera Blanca para la evaluación de las percepciones y habilidades ganadas en cuatro componentes. De la misma manera, se encuestó a 32 alumnos de la UNASAM para recoger sus percepciones.

4.3.1. Ciencia participativa

El 76.2 por ciento de miembros de la comunidad no conocían el término “Ciencia participativa” previo al inicio del proyecto, mientras que el 59.4 por ciento de los alumnos sí conocían el término (Figura 26).

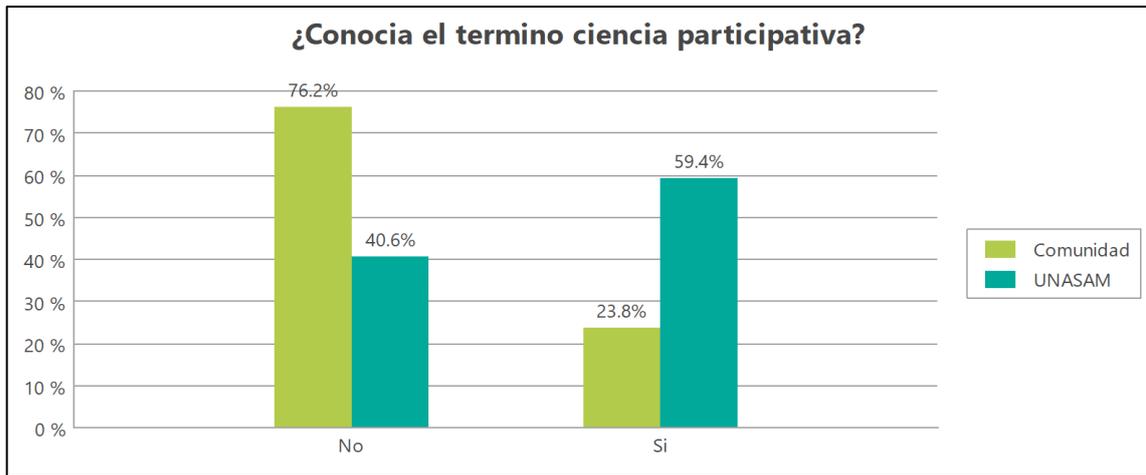


Figura 26: Conocimiento del término ciencia participativa en ambos grupos

En cuanto a la satisfacción de haber participado en un proyecto de ciencia participativa, el 85.7 por ciento de encuestados de la comunidad y el cien por ciento de los alumnos mencionaron que estaban “*muy satisfechos*” (Figura 27).

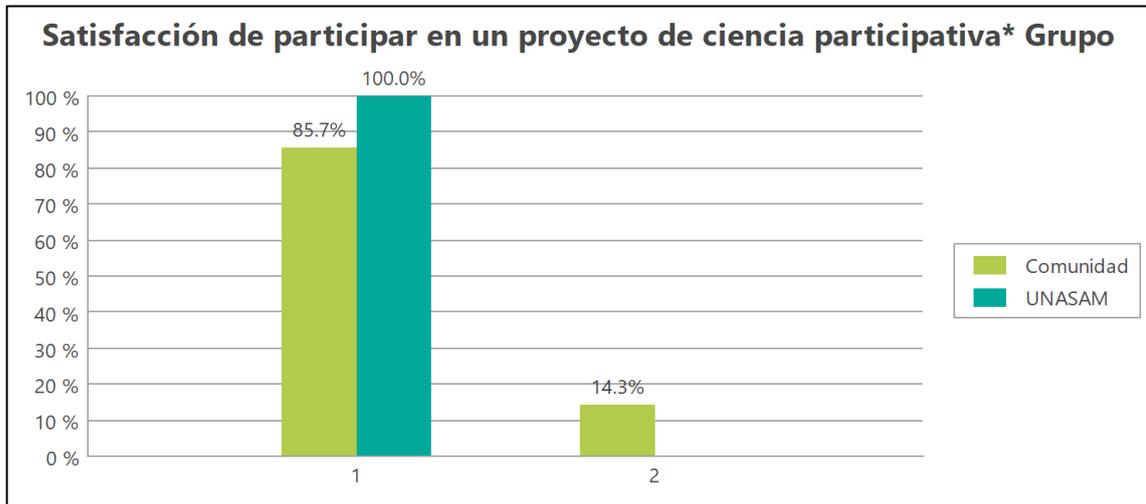


Figura 27: Satisfacción de participación en un proyecto de ciencia participativa en ambos grupos

El 85.7 por ciento de participantes de la comunidad y el 78 por ciento de estudiantes estarían *muy interesados* de participar nuevamente en otro proyecto de ciencia participativa (Figura 28).

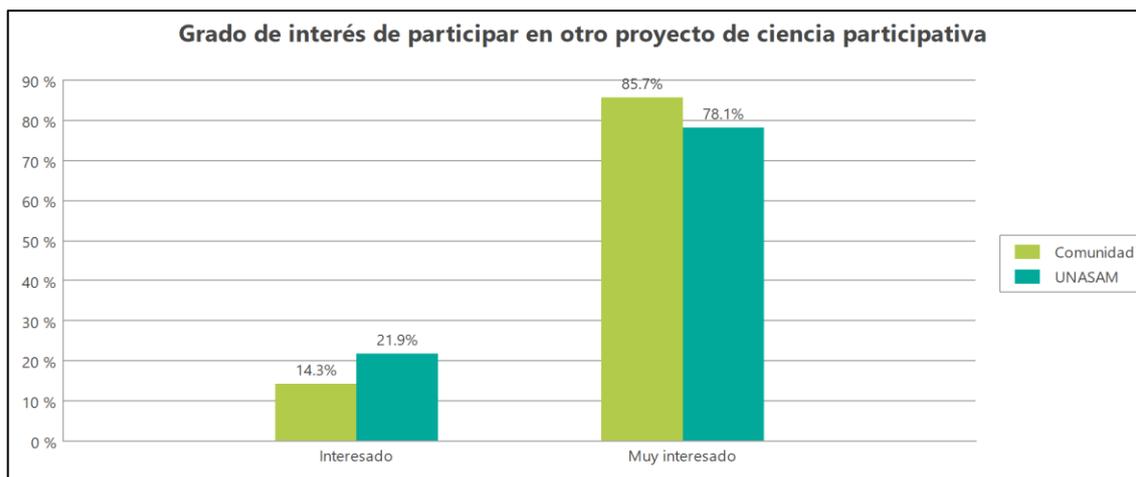


Figura 28: Interés de participar en otro proyecto de ciencia participativa por grupos

4.3.2. Conciencia ambiental

La participación tuvo un impacto muy fuerte en la percepción del ambiente en 76.2 por ciento de los entrevistados de la comunidad y 78.1 por ciento de los alumnos (Figura 29).

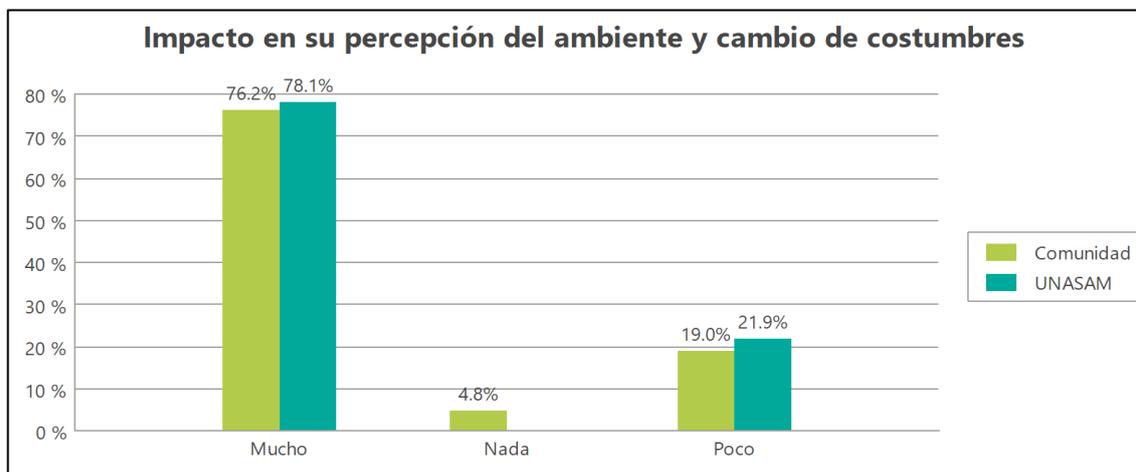


Figura 29: Impacto en percepción ambiental por grupos

El total de entrevistados de ambos grupos estuvo motivado a monitorear otras fuentes de agua (Figura 30).

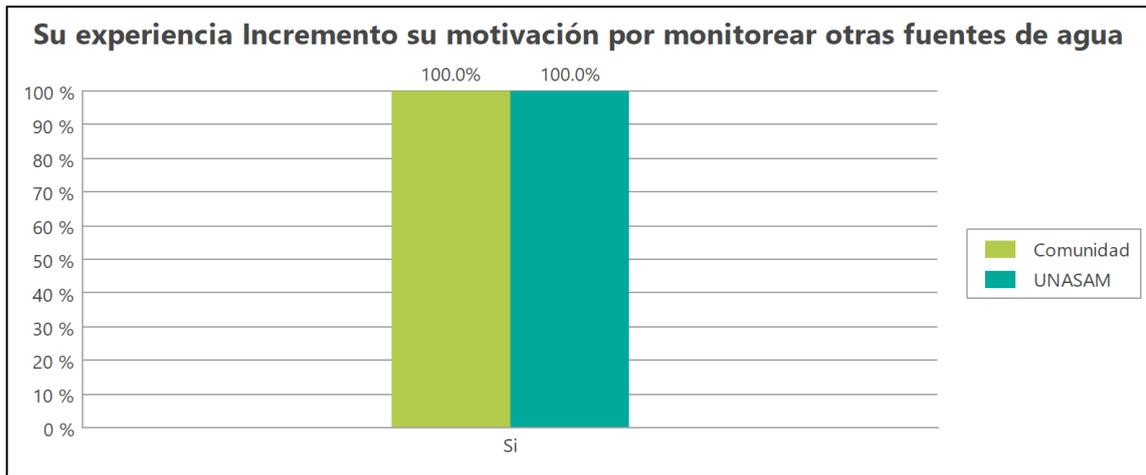


Figura 30: Motivación para monitorear otras fuentes de agua

4.3.3. Educación

El total de encuestados se mostró motivado para buscar información sobre la contaminación acuática (Figura 31).



Figura 31: Motivación a buscar información sobre contaminación acuática

Sobre si siente que aprendió una nueva habilidad, el 95.2 por ciento de entrevistados de la comunidad y el 100 por ciento de los alumnos mencionaron que *sí* aprendieron una nueva habilidad (Figura 32).

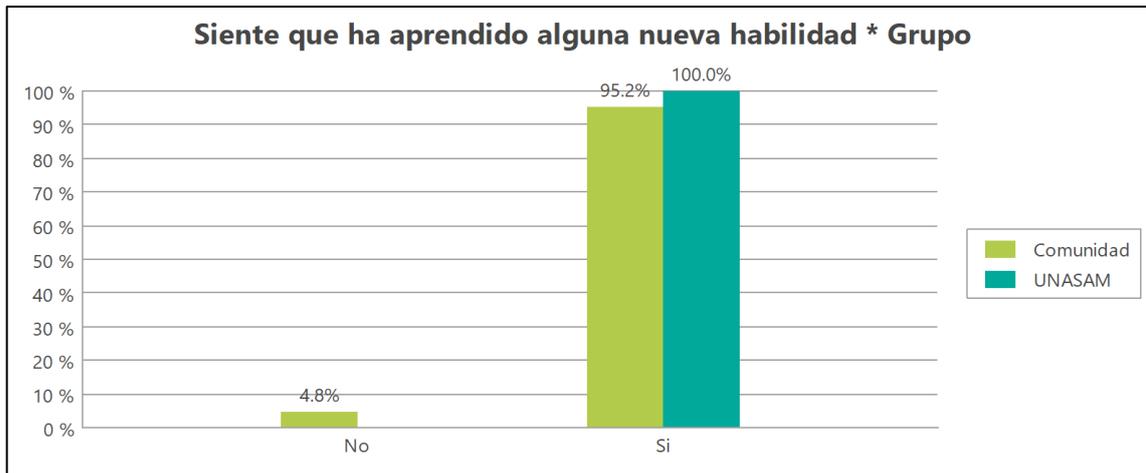


Figura 32: Siente que ha aprendido una nueva habilidad

a. Habilidades adquiridas

Sobre las habilidades adquiridas por la comunidad, el 71.4 por ciento mencionó que fue el *monitoreo de la calidad de agua*, y un 42.9 por ciento mencionó que fue la *identificación de macroinvertebrados* (Figura 33).

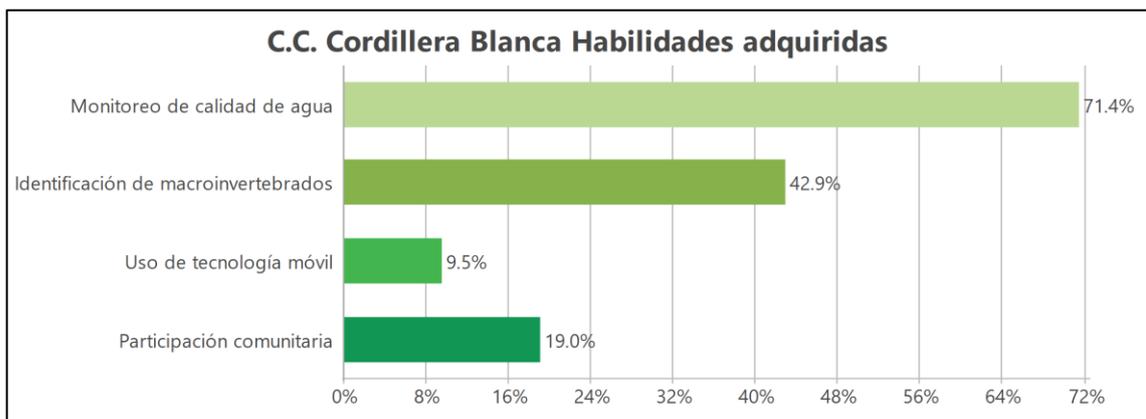


Figura 33: Habilidades adquiridas por parte de la C.C. Cordillera Blanca

De las habilidades adquiridas por género, el 76.9 por ciento de varones señalaron que su habilidad fue el *monitoreo de calidad de agua*, mientras que un 46.2 por ciento mencionó que fue la *identificación de macroinvertebrados*. El 50 por ciento de mujeres refirieron que la *participación comunitaria* fue su nueva habilidad adquirida (Cuadro 25).

Cuadro 25: Habilidades adquiridas en la C.C. Cordillera Blanca por género

Habilidades adquiridas	Femenino (porcentaje)	Masculino (porcentaje)
Monitoreo de calidad de agua	62.5	76.9
Identificación de macroinvertebrados	37.5	46.2
Uso de tecnología móvil	0	15.4
Participación comunitaria	50.0	0

Para los rangos de 30-39, el 80 por ciento adquirió la habilidad de *monitoreo de calidad de agua*, 40 por ciento *identificaciones de macroinvertebrados* y 20 por ciento el *uso de la tecnología móvil*. Para el rango de 40-49 la mayor habilidad adquirida fue el *monitoreo de calidad de agua* (Cuadro 26).

Cuadro 26: Habilidades adquiridas en la C.C. Cordillera Blanca por edad

Habilidades adquiridas	60-69 (porcentaje)	50-59 (porcentaje)	40-49 (porcentaje)	30-39 (porcentaje)
Monitoreo de calidad de agua	50.00	50.00	87.50	80.00
Identificación de macroinvertebrados	50.00	50.00	37.50	40.00
Uso de tecnología móvil	0	0	12.50	20.00
Participación comunitaria	25.00	50.00	12.50	0

En cuanto a los alumnos de la UNASAM, la mayor habilidad fue aprender las *técnicas de muestreo* (56.3 por ciento) y la *identificación de macroinvertebrados* (40.6 por ciento) (Figura 34).

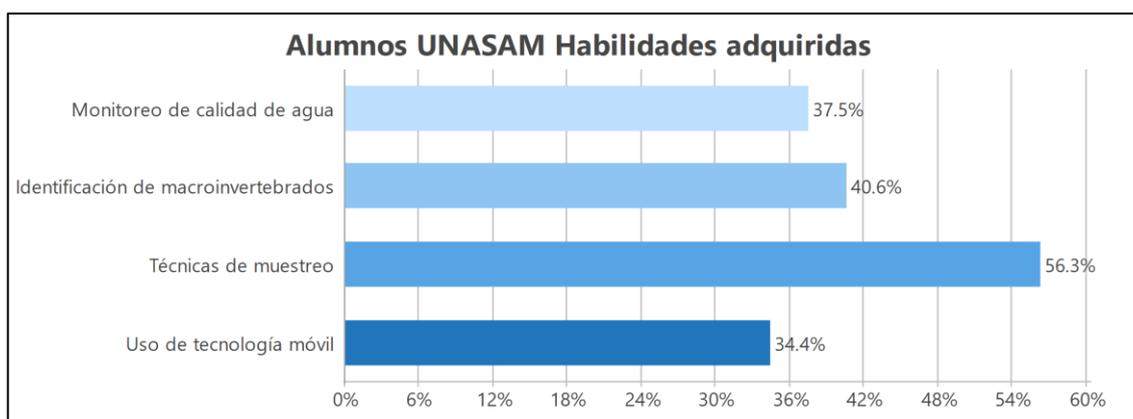


Figura 34: Habilidades adquiridas por los alumnos de la UNASAM

El total de encuestados señaló que *sí* estaría interesado en enseñar la metodología a otras comunidades (Figura 35).

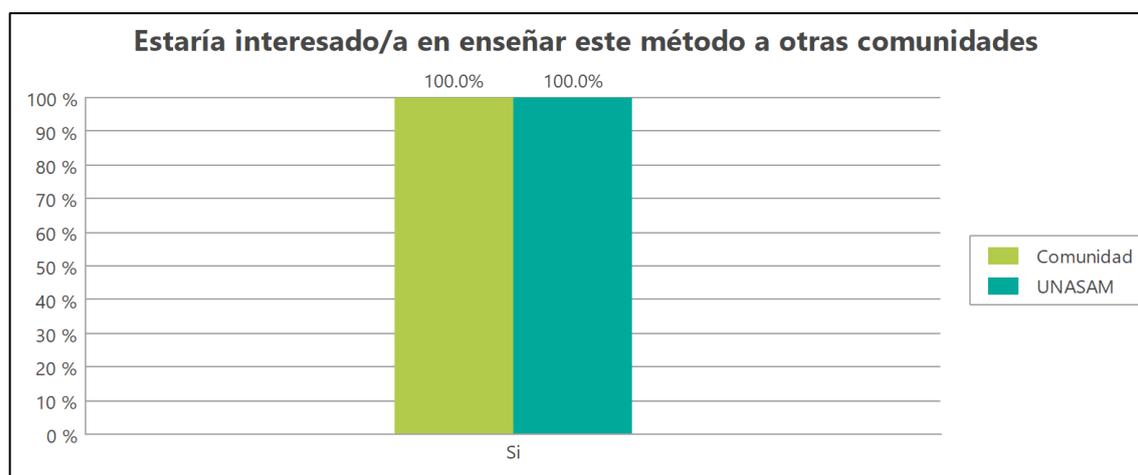


Figura 35: Interés en enseñar a otras comunidades

4.3.4. Gestión

a. Beneficio a la comunidad

El total de los encuestados consideraron que la metodología enseñada beneficia a la comunidad (Figura 36).

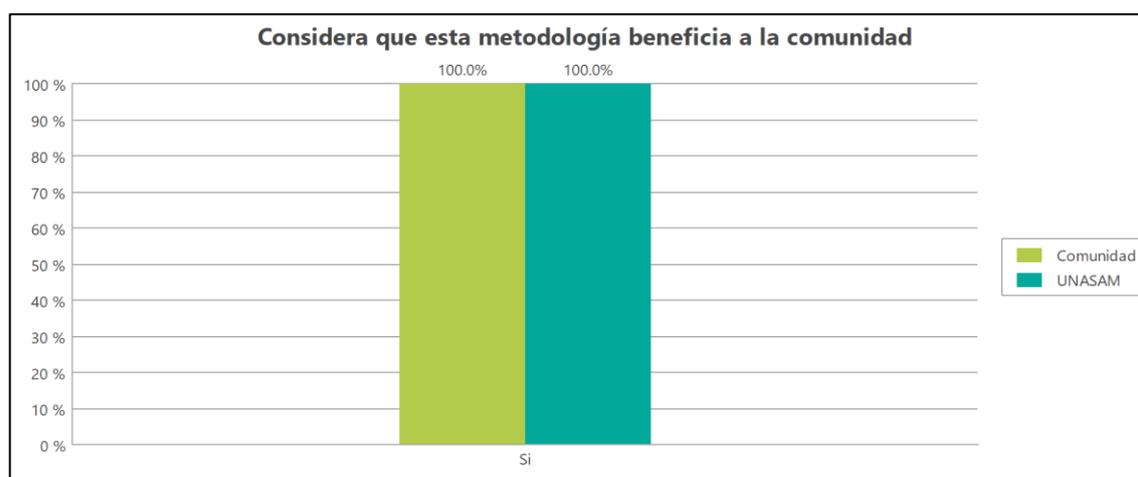


Figura 36: Metodología beneficia a la comunidad

Dentro de las razones por las cuales la metodología beneficia a la comunidad, el 81 por

ciento de encuestados de la comunidad refirió que de esta manera pueden *identificar buena calidad de agua* y el 23.8 por ciento mencionó que fue un *aprendizaje* para ellos (Figura 37).

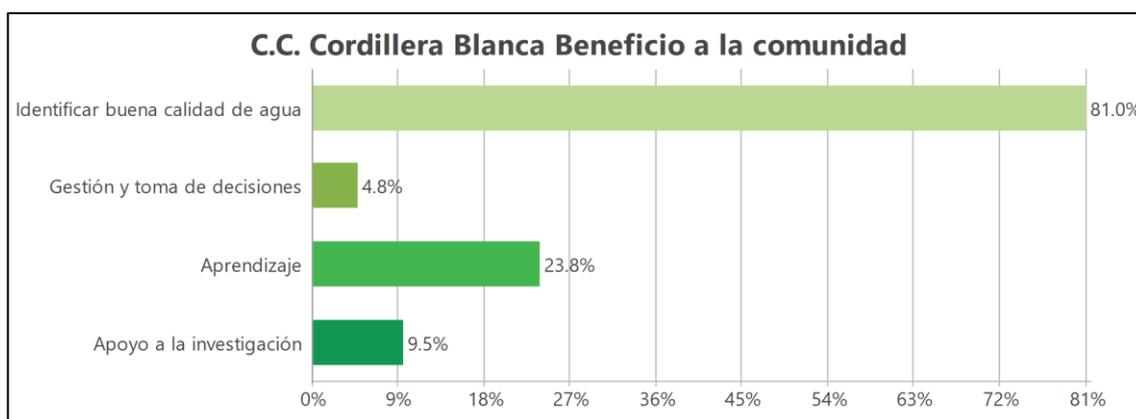


Figura 37: Beneficios a la comunidad por la C.C. Cordillera Blanca

Dentro de *Identificar buena calidad de agua*, el 83.3 por ciento de los entrevistados de la comunidad mencionaron que gracias a ello pueden *identificar el agua para usos agrícolas* (en especial pastos) y el 25 por ciento que *mejoraría su calidad de vida* (Figura 38).

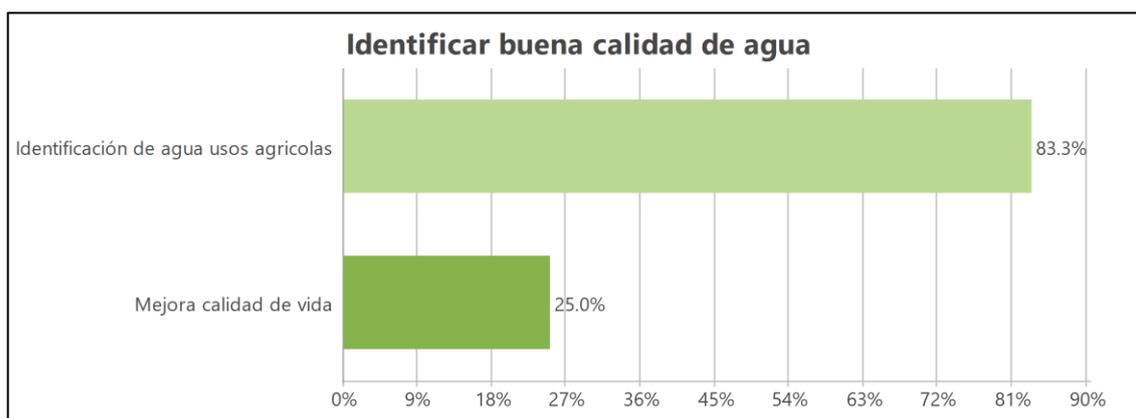


Figura 38: Razones para identificar buena calidad de agua por parte de C.C. Cordillera Blanca

El 56.3 por ciento de los alumnos de la UNASAM mencionaron que la metodología beneficiaba a la comunidad a través de la *identificación de buena calidad de agua* y el 40.6 por ciento que la metodología beneficiaba a la *gestión y la toma de decisiones* (Figura 39).

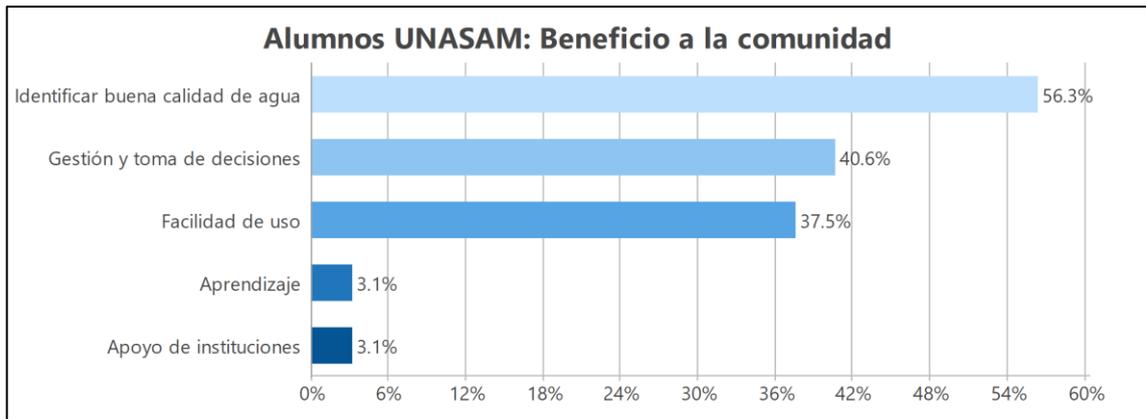


Figura 39: Beneficios a la comunidad por los alumnos de la UNASAM

Dentro de las razones por las cuales la *identificación de calidad de agua* beneficia a la comunidad, el 85.7 por ciento indicó que de esta manera la comunidad tenía *autonomía de análisis de sus aguas* (Figura 40).

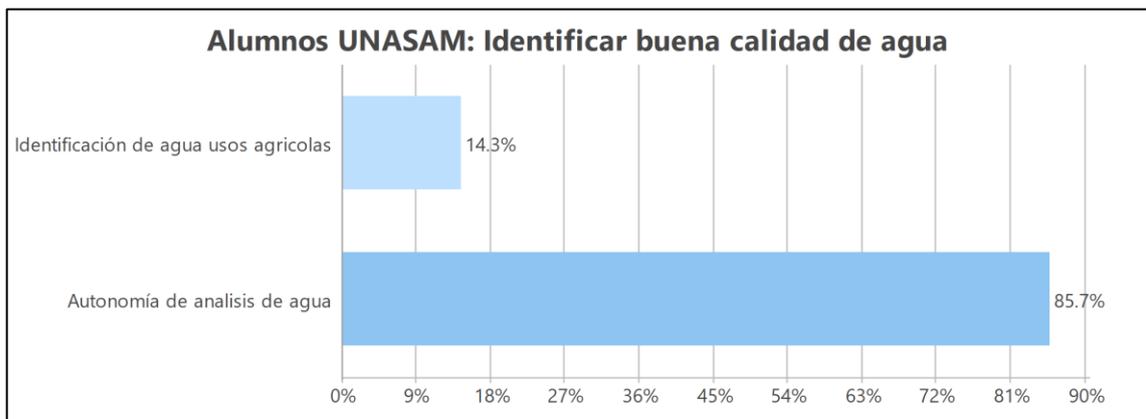


Figura 40: Razones para identificar buena calidad de agua por parte de los alumnos de la UNASAM

b. Beneficio a la conservación

El total de encuestados considera que la metodología enseñada beneficia a la conservación (Figura 41).

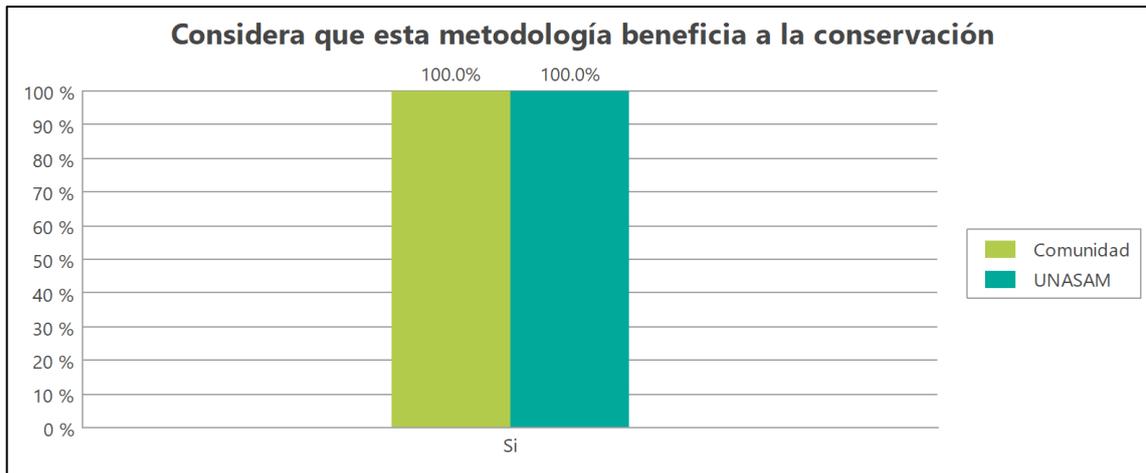


Figura 41: Metodología beneficia a la conservación

El 38.1 por ciento de la comunidad señaló que la metodología aprendida será usada en la *concientización en el uso del agua* como medio para propiciar la conservación y el 33.3 por ciento mencionó que de esta forma se puede hacer una *caracterización de zonas de conservación* (Figura 42).

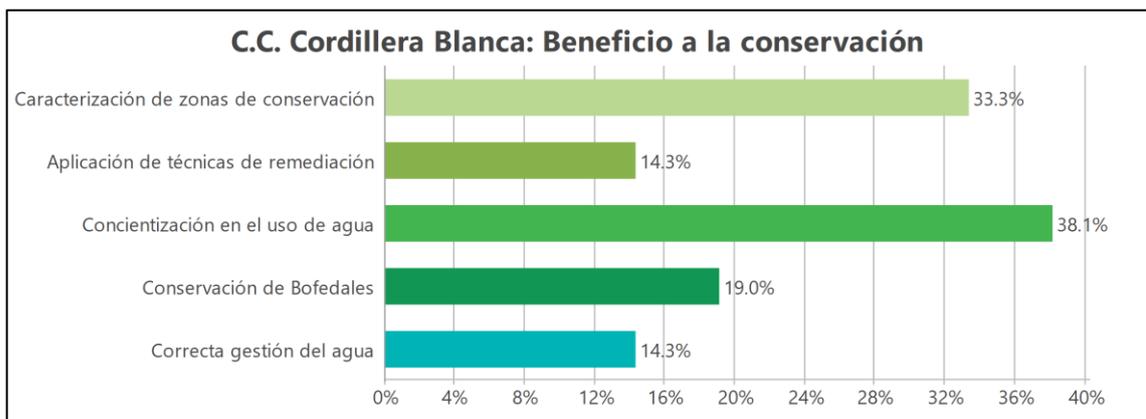


Figura 42: Beneficios a la conservación por la C.C. Cordillera Blanca

El mayor beneficio a la conservación por parte de los alumnos es la *caracterización de zonas* (75 por ciento), seguida por la aplicación de *técnicas de remediación* (18.8 por ciento) (Figura 43).

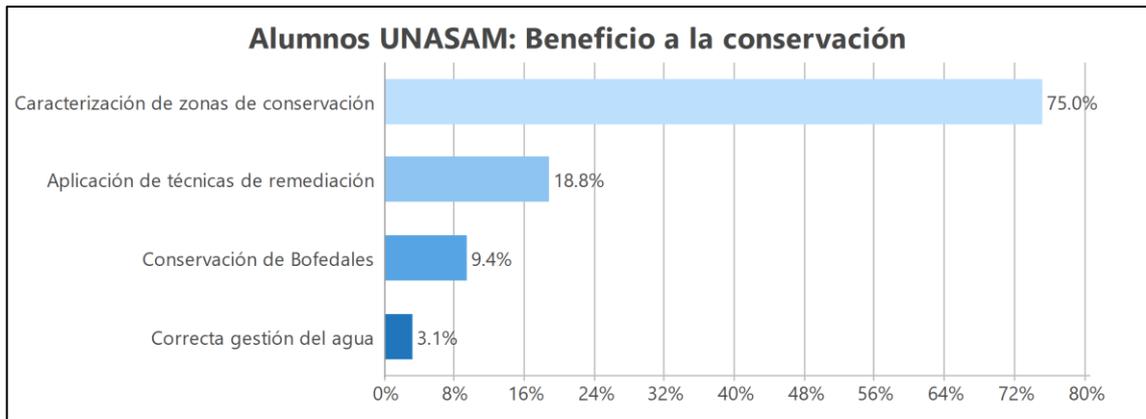


Figura 43: Beneficios a la conservación por los alumnos de la UNASAM

c. Aplicaciones en gestión C.C. Cordillera Blanca

El total de encuestados considera que esta metodología puede utilizarse en futuras gestiones y planeamientos sobre el uso de agua en su comunidad (Figura 44).

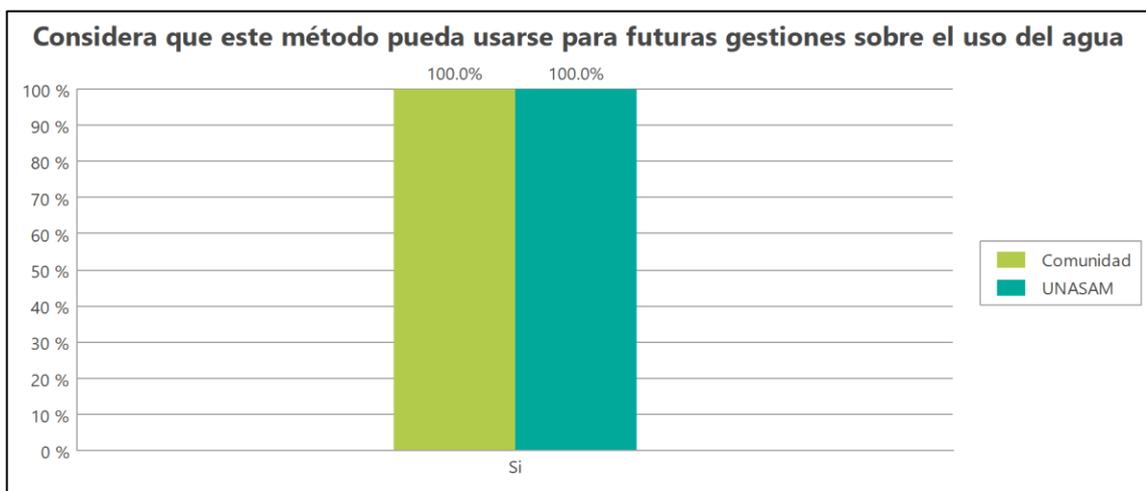


Figura 44: Considera que esta metodología pueda usarse para la gestión sobre el uso de agua

El 76.2 por ciento de los encuestados de la comunidad mencionaron que aplicarían la *evaluación de la calidad de agua* para la gestión, un 57.1 por ciento lo usaría para la *toma de decisiones* y el 52.4 por ciento para *capacitaciones* a otras comunidades o a otros miembros dentro de su comunidad (Figura 45).

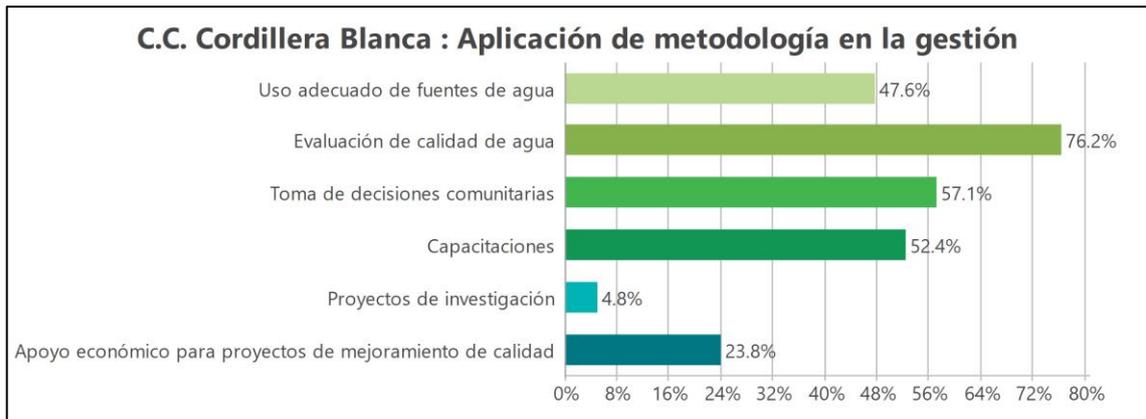


Figura 45: Aplicaciones en la gestión por la C.C. Cordillera Blanca

Dentro de la categoría evaluación de calidad de agua, el 40 por ciento de la comunidad mencionó la realización de *reportes* de calidad de agua y un 30 por ciento que lo usaría para la *evaluación de agua en terrenos de interés* para la comunidad (Figura 46).

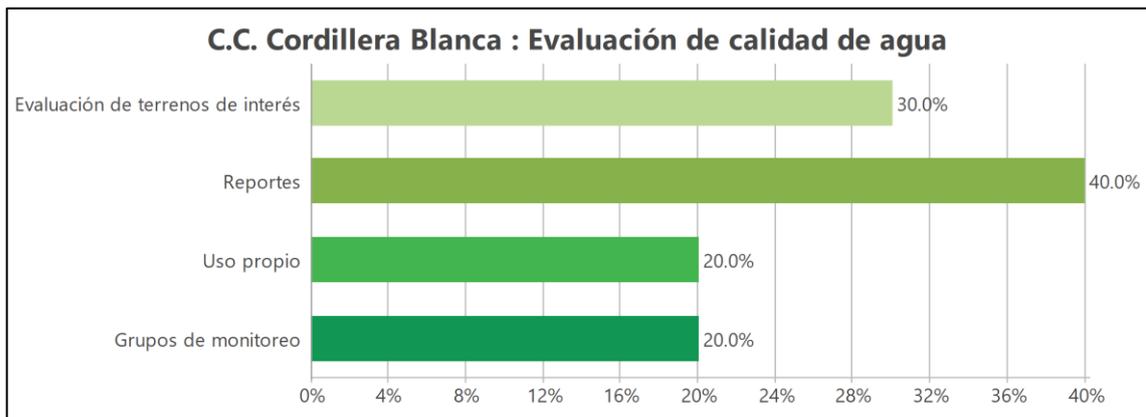


Figura 46: Evaluación de la calidad de agua para C.C. Cordillera Blanca

El 68.8 por ciento de los estudiantes de la UNASAM señalaron que aplicarían la metodología para el *uso adecuado de fuentes de agua* y el 56.3 que lo aplicarían para la *evaluación de calidad de agua* (Figura 47).

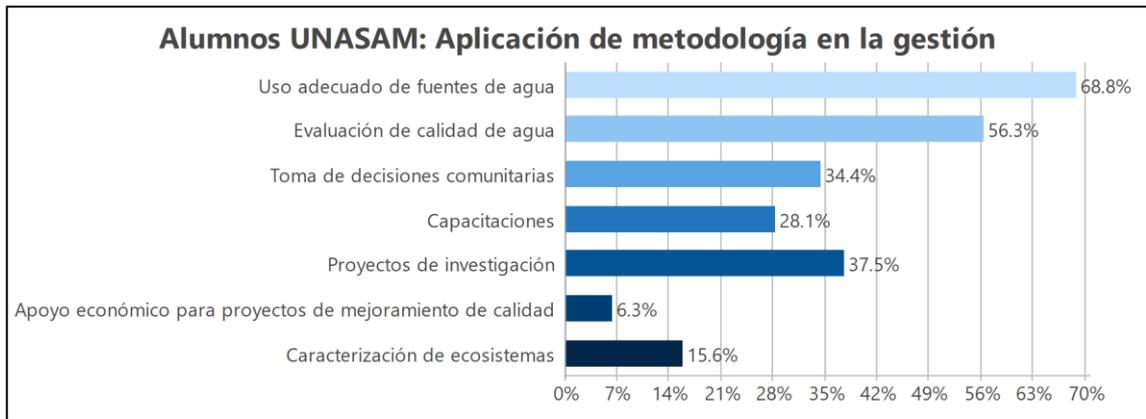


Figura 47: Aplicaciones en la gestión por los alumnos de la UNASAM

Para la evaluación de la calidad de agua, el 85.7 por ciento de los alumnos de la UNASAM refirieron que lo usarían en la evaluación de terrenos de interés (Figura 48).

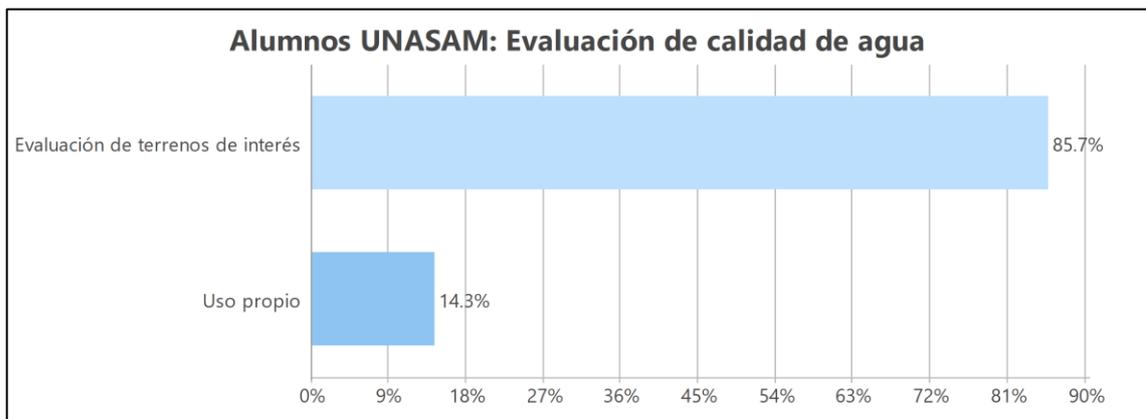


Figura 48: Evaluación de la calidad de agua para los alumnos de la UNASAM

d. Transferencia de información

El 95.2 por ciento de encuestados de la comunidad y el total de alumnos concuerdan que es importante compartir la información de calidad de agua con organismos con capacidad para la toma de decisiones (Figura 49).

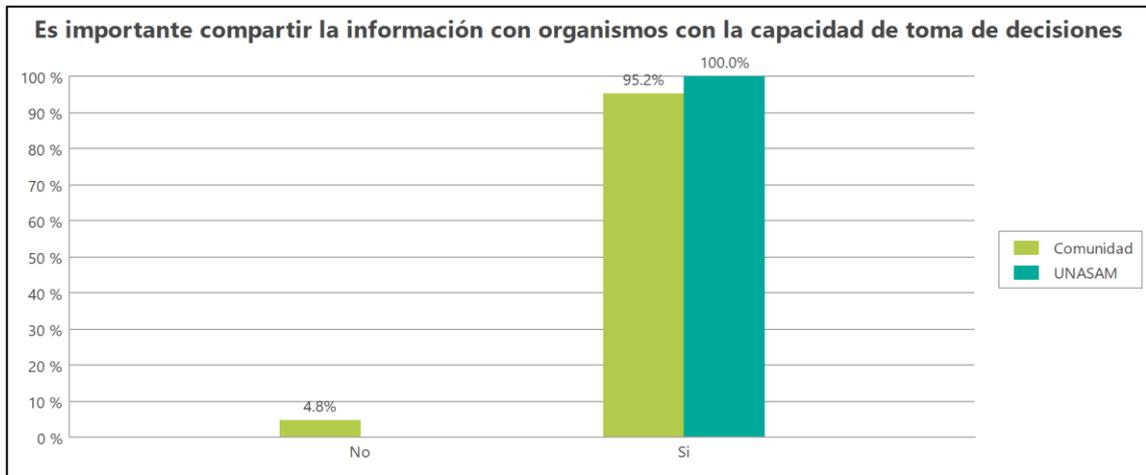


Figura 49: Compartir información con organismos con la capacidad de toma de decisiones

Para el 45 por ciento de la comunidad, la transferencia de información con instituciones, brindaría *apoyo para proyectos de mejora de calidad y saneamiento*; para el 30 por ciento esta acción los *involucraría en la toma de decisiones* (Figura 50).

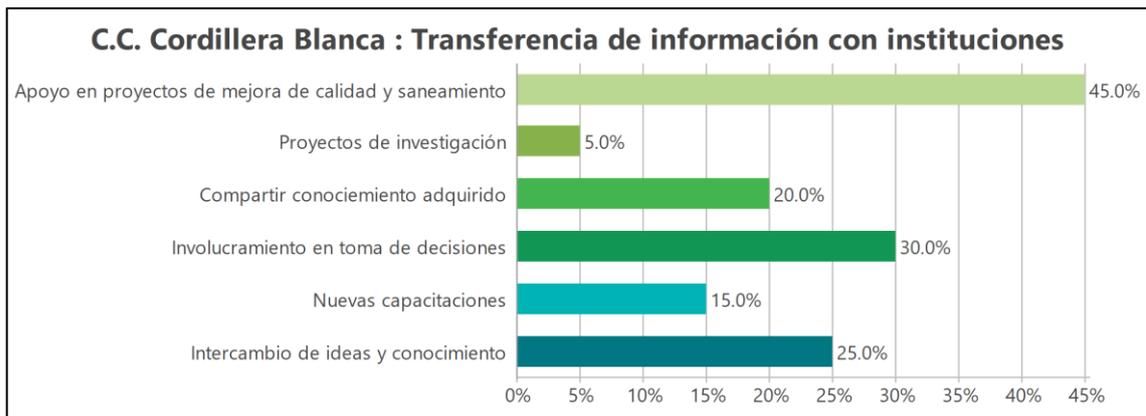


Figura 50: Importancia de la transferencia de información con instituciones por la C.C. Cordillera Blanca

Para el 46.9 por ciento de los alumnos, la transferencia de información traería *apoyo en proyectos de mejora de calidad y saneamiento*, y el 28.1 por ciento menciona que atraería *proyectos de investigación* (Figura 51).

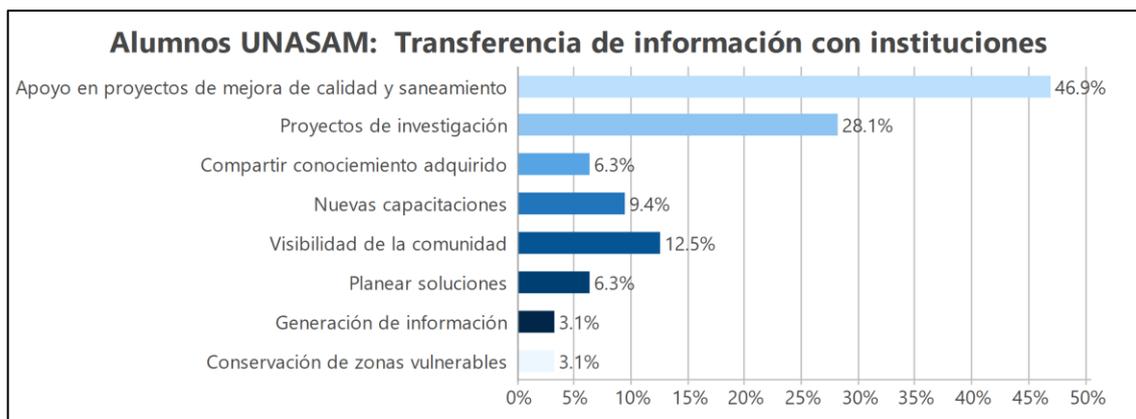


Figura 51: Importancia de la transferencia de información con instituciones para los alumnos de la UNASAM

- **Percepciones y habilidades**

- **Ciencia participativa:** Los resultados indican que, la mayoría de participantes de la comunidad eran ajenos al término “ciencia participativa” previo al inicio del proyecto (Figura 26). Es importante dejar en claro toda la terminología usada en el proyecto desde su inicio, de modo que no sea una barrera entre profesionales y voluntarios (Vohland *et al.* 2021). Su participación dejó “muy satisfechos” a la mayor parte de los participantes (Figura 27) y existe interés de participar nuevamente de futuros proyectos de ciencia participativa (Figura 28). Al respecto, Vohland *et al.* (2021) mencionan que factores como sentirse apreciado, recompensado por su trabajo y los beneficios ganados a través de su experiencia en el proyecto, impactan en el grado de satisfacción del participante. Por otra parte, la experiencia inicial en proyectos de ciencia participativa, ha demostrado captar el interés de los voluntarios para seguir participando en futuros proyectos (Allf *et al.* 2022).

- **Conciencia ambiental:** Los resultados obtenidos por la encuesta muestran que su participación en el proyecto impactó positivamente en su percepción del ambiente (Figura 30). De la misma forma, Jordan *et al.* (2011) reportaron un cambio en la actitud de los participantes respecto a los temas estudiados (plantas invasoras) y mejoró su apreciación por la ciencia. En contraste, Forrester *et al.* (2017) señalaron que las percepciones de los participantes frente a la conservación eran altas antes del inicio del voluntariado y no cambió luego de su participación; sin embargo, su interés

por el tema de investigación (vida silvestre) fue mayor luego de la participación. Una razón probable para el bajo cambio de actitudes es que los participantes ya presentan actitudes positivas frente al ambiente previo al involucramiento en los proyectos (Bonney *et al.* 2016). Sin embargo, muchos proyectos de ciencia participativa tienen como objetivo crear conciencia de los problemas ambientales, cambio de actitudes y perspectivas e influir en el comportamiento final de los voluntarios y aumentar su compromiso con temas ambientales (Allf *et al.* 2022; Pateman *et al.* 2021).

- **Educación:** Los encuestados señalaron mayor interés en aplicar los conocimientos adquiridos en otras fuentes de agua y buscar información referente a la contaminación acuática (Figura 31). Existe evidencia que incluso cuando el objetivo principal del proyecto no es la educación, los participantes presentan mayor concientización y conocimiento de los temas de ciencia y ecología través de la experiencia en la recolección de datos, mientras otros proyectos han incrementado la comprensión de los procesos científicos (Bonney *et al.* 2016; Domroese & Johnson 2017; Jordan *et al.* 2011). Adicionalmente, el aprendizaje de muchos proyectos de ciencia participativa en la actualidad está conectado con el progreso tecnológico mediante el uso de aplicativos móviles (Aydoğan *et al.* 2022; Vohland *et al.* 2021).

El compartir el aprendizaje con otros también demostró ser un resultado importante para los miembros de la comunidad (Figura 35), lo que se demostró durante el Taller IV, en donde evidenciaron dominio del tema. El aprendizaje social es importante en un contexto de comunidad ya que se distribuye e intercambia conocimiento entre miembros con más experiencia y principiantes, además de aplicar prácticas colaborativas y tomas de decisiones en conjunto (Alender 2016; Vohland *et al.* 2021).

- **Habilidades:** Las principales habilidades adquiridas por los participantes de la comunidad fueron “Monitoreo de calidad de agua” e “Identificación de macroinvertebrados”. Mientras que los alumnos de la UNASAM también mencionaron “Técnicas de monitoreo”. Esta última habilidad adquirida es importante para ellos ya que durante el Taller IV mencionaron que esta era su primera salida de campo, y que por la pandemia del COVID-19, no tuvieron oportunidad de aplicar sus

conocimientos teóricos en el campo. Otros proyectos de ciencia participativa reportan entre las habilidades adquiridas en sus voluntarios el monitoreo científico, liderazgo, capacidad de escribir proyectos, generar presentaciones (Stedman *et al.* 2009), aprender nuevos conceptos, interpretación de datos, trabajo en equipo, aplicación de tecnología (Bonney *et al.* 2016), identificación de fauna y flora, habilidades de pensamiento crítico que les permita realizar decisiones y aplicación de protocolos científicos (Dickinson *et al.* 2010).

La adquisición de habilidades como lo es el monitoreo de calidad de agua, brinda a los participantes la oportunidad de evaluar problemas cercanos a su comunidad y alcanzar un desarrollo sostenible (Wildlife Conservation Society (WCS) 2021).

- **Gestión:** Los encuestados mencionan la “identificación de la calidad de agua” y “toma de decisiones” como los principales beneficios para la gestión.

Para Buytaert *et al.* (2016), la gobernanza policéntrica consiste en múltiples niveles de toma de decisiones, por lo que existe una distribución de responsabilidades, recolección de datos y cogeneración de conocimiento. En ese sentido, la ciencia participativa contribuye a la obtención de información base para la toma de decisiones locales y multiniveles. Sin embargo, muchos hallazgos obtenidos por voluntarios de proyectos de ciencia participativa no son considerados por falta de credibilidad en la calidad de los datos por agencias gubernamentales e instituciones académicas (Carlson & Cohen 2018). Si bien puede que no se alcance la rigurosidad científica, esto no impide la generación de información de manera autónoma (Buytaert *et al.* 2016) (Figura 40) que les permita tomar decisiones para mejorar la agricultura y el bienestar de la comunidad (Figura 38). Comunidades en países en desarrollo, se benefician del monitoreo a través del empoderamiento y autonomía que les provee esta herramienta para la toma de decisiones de sus recursos locales (Carlson & Cohen 2018). Walker *et al.* (2021) definen el empoderamiento como el aprendizaje que permite a los miembros de la comunidad ganar espacios en la participación cívica y acceso a organizaciones en posición de poder con toma de decisiones. Por otro lado, comunidades cuyo sustento depende del entorno local (ej. agricultores y ganaderos), consideran que el aprendizaje de conocimiento científico

les permite comprender mejor su entorno y aplicarlo en las gestiones de su comunidad (ej. mejorar la gestión del riego a través de monitoreos) (Buytaert *et al.* 2014; Walker *et al.* 2021).

La mayoría de encuestados se mostró de acuerdo con la transferencia de información obtenida con organismos con capacidad de toma de decisiones (Figura 49), ya que al compartir la información les permite “involucrarse en la toma de decisiones” para su comunidad, permite el “intercambio de ideas y conocimiento” y les provee de “apoyo para mejorar la calidad de agua y obras de saneamiento” (Figura 50).

El intercambio de ideas y conocimiento es fundamental para la producción de conocimiento híbrido (local/científico) para la gestión de servicios ecosistémicos, ya que, de esta manera, se comparte conocimiento tradicional y prácticas de gestión técnicas para el uso más eficiente del recurso. Igualmente, este intercambio permite una mayor participación comunitaria (Buytaert *et al.* 2014). La ciencia participativa también tiene lugar en la co-formulación de políticas, en donde se intercambia ideas para la creación de soluciones a corto plazo por parte de los participantes y objetivos a largo plazo por parte de los formuladores de políticas (Vohland *et al.* 2021).

La transferencia de información, aumenta la oportunidad de transparencia, colaboración y democratización, pero a la vez es importante que los agentes tomadores de decisiones generen confianza en la información recabada por los voluntarios de ciencia participativa. Se espera que la apreciación de los datos obtenidos por los voluntarios aumente dentro del entorno académico y facilite la aceptación entre autoridades gubernamentales (Vohland *et al.* 2021).

La creación de sinergias con diferentes asociaciones puede incrementar la viabilidad y la capacidad técnica de un proyecto de ciencia participativa y su perduración en el tiempo (Bonney *et al.* 2014). Estas asociaciones pueden ser actores gubernamentales involucrados en la gestión de recursos, como las municipalidades, gobiernos regionales o provinciales, además de organizaciones ambientales o instituciones académicas. Para una adecuada colaboración entre comunidad y gobierno es

necesario identificar qué tipo de información se requiere coleccionar para una buena toma de decisiones (Carlson & Cohen 2018).

- **Motivaciones y retención de participantes**

Entender las motivaciones, percepciones u oportunidades que influyen en los participantes es importante ya que nos brinda las bases para el reclutamiento. Asimismo, fallar en las aspiraciones y motivaciones presentadas por los voluntarios, disminuye el compromiso y la retención en proyectos de ciencia participativa (McAteer *et al.* 2021; West *et al.* 2021).

Las motivaciones por las que los voluntarios colaboran en proyectos de ciencia participativa son influenciadas por múltiples factores que pueden cambiar a lo largo de su participación. Estas motivaciones pueden ser también influenciadas por la personalidad, creencias personales, valores, demografía, cultura, edad y educación, por lo que es importante evaluar en qué grado se corresponden con los resultados deseados para mejorar la participación sostenida de los voluntarios (McAteer *et al.* 2021; West & Pateman 2016).

Clary *et al.* (1998) presentaron un instrumento para evaluar las motivaciones de voluntarios, llamado Inventario de funciones del voluntariado (IFV). En esta se presenta una escala de 6 factores motivacionales: Valores (preocupaciones altruistas o humanitarias), Carrera (mejorar perspectivas profesionales), Social (mejorar o desarrollar vínculos sociales), Desarrollo (generar conocimiento o habilidades), Mejora personal (autodesarrollo, sentirse mejor consigo mismo) y Protector (proteger el ego o escapar de problemas o pensamientos negativos). Por otro lado, Finkelstien (2009) resumió las motivaciones presentadas por Clary *et al.* (1998) en dos componentes: intrínseco (inherentemente satisfactorio) y extrínseco (requieren un resultado para ser considerado satisfactorias). Finalmente, Batson *et al.* (2002) proponen clasificar las motivaciones de los voluntarios en Egoísmo (incrementa el bienestar propio), Altruismo (incrementa bienestar de otras personas), Colectivismo (incrementa el bienestar comunal/grupal) y Principialismo (mantener principios morales propios).

A partir de las categorías presentadas, West *et al.* (2021) elaboraron una gráfica clasificando las motivaciones principales de los voluntarios. Durante el presente estudio, no se realizó una encuesta de motivaciones de participación. Sin embargo, la Figura 52 clasifica las posibles motivaciones encontradas por los participantes de la C.C Cordillera Blanca y los alumnos de la UNASAM basándose en los beneficios obtenidos de su participación. Los beneficios están usualmente relacionados con las motivaciones de los participantes (Vohland *et al.* 2021).

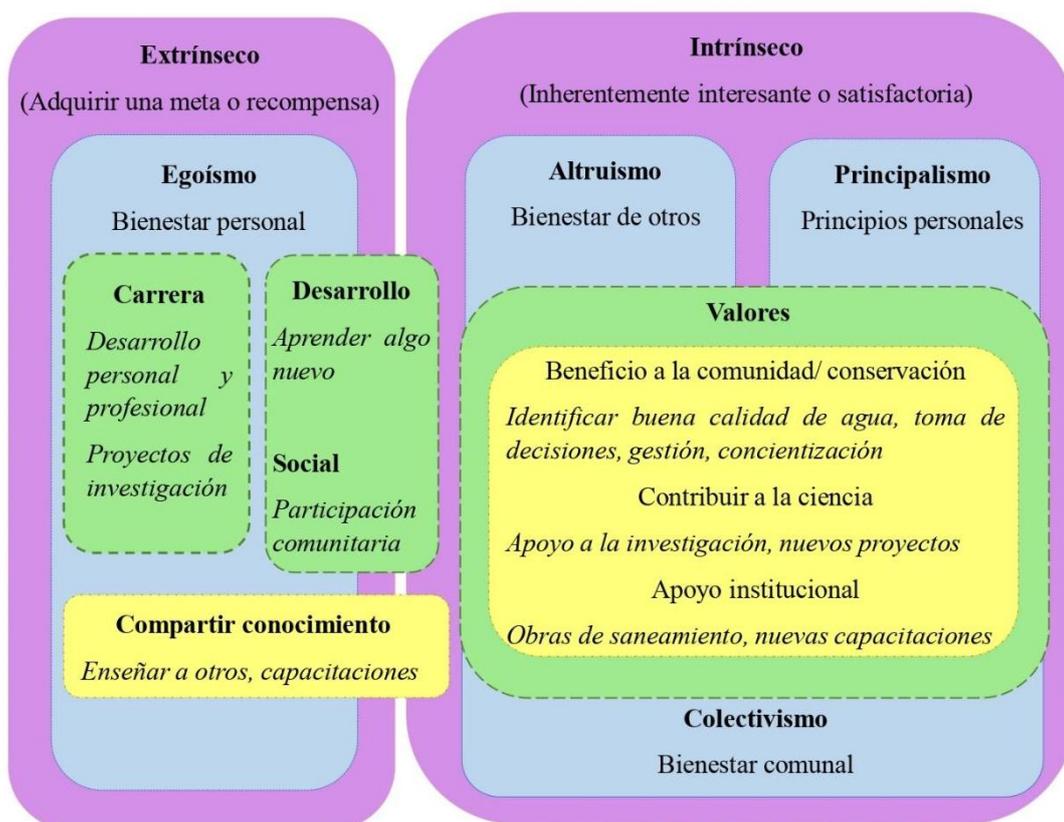


Figura 52: Categorías de beneficios y motivaciones

Nota: Las cajas moradas se basan en las motivaciones presentadas por Finkelstein (2009), las cajas celestes presentan la clasificación propuesta por Batson *et al.* (2002), las cajas verdes son las motivaciones propuestas por Clary *et al.* (1998) y finalmente las cajas amarillas se basan en West *et al.* (2021).

Fuente: Adaptado de West *et al.* (2021)

Los “Valores” representan las motivaciones intrínsecas de los participantes en expresar valores altruistas hacia los demás, visión de comunidad y principios morales. Las motivaciones obtenidas en este estudio y catalogadas en “Valores”,

señalan el beneficio comunal (gestión, toma de decisiones) y a la conservación (ej. Concientización en conservación, identificación de calidad de aguas para diversos usos). Igualmente, se señala el deseo de apoyar a la ciencia y a futuros proyectos científicos en su comunidad, como también el apoyo institucional. Los participantes mencionaron la importancia de compartir los datos obtenidos de los muestreos con organismos con la capacidad de toma de decisiones de manera que se genere un beneficio a la comunidad (Figura 49 y 50).

Trabajos anteriores señalan que las principales motivaciones de los voluntarios fueron la contribución al ambiente, aportar a la comunidad, la colaboración científica y el uso adecuado de datos colectados para la aplicación de medidas (Alender 2016; Raddick *et al.* 2013; Richter *et al.* 2021). Geoghegan *et al.* (2016) también mencionan que entre las motivaciones de componente altruista está el sentido de participación como algo valioso, y ayudar a un sitio específico.

Los participantes muestran interés de colaborar en proyectos científicos que les dé acceso a aprender sobre contaminación ambiental y que proponga acciones que les permita mitigar efectos contaminantes (McAteer *et al.* 2021). De esta manera, para satisfacer el deseo de contribución a la ciencia, es importante darle valor a la información recabada por los voluntarios y cómo esta contribuye a los objetivos del proyecto (Domroese & Johnson 2017) y a la adopción de políticas que conduzcan a cambios reales (Vohland *et al.* 2021). Estos resultados sugieren que los participantes quieren que sus esfuerzos tengan un impacto en la ciencia, como también que sean utilizados por agencias gubernamentales para la visualización de problemas y generación de soluciones.

Una evaluación sistemática de motivaciones en voluntarios, encontró que grupos poco representados (diferentes etnias y razas) resaltan las motivaciones de valores como el sentido de identidad y solidaridad por encima de otros. Por ello, entender las diferencias culturales de los participantes es importante para la elaboración de los objetivos de colaboración en proyectos de ciencia participativa (Rutherford *et al.* 2019). Asimismo, voluntarios de mayor edad son más propensos a poner las motivaciones de “Valores” por encima de otras, mientras que los jóvenes presentan

motivaciones más “egoístas” que mejoren su carrera o reputación, o divertirse (West *et al.* 2021).

Por otro lado, tenemos motivaciones que se presentan en un componente más “extrínseco”, como un sistema de recompensas, sentirse parte de la comunidad o que les brinde una ventaja en su desarrollo personal (Richter *et al.* 2021). La respuesta “contribuye a mi desarrollo personal y profesional” fue brindada únicamente por los alumnos de la UNASAM (Cuadro 20). Dentro de estas se destacan “técnicas de muestreo” y “aprender a identificar macroinvertebrados” (Figura 34). Esta respuesta fue catalogada en “Carrera”. Estudios previos encontraron relación entre la edad de los participantes con la motivación “Carrera”, en donde los participantes más jóvenes (20-39 años) de proyectos de ciencia participativa, tienen como objetivo adquirir habilidades que les permita desarrollarse profesionalmente (Alender 2016; Chacón *et al.* 2017; Clary *et al.* 1998). Asimismo, entre las habilidades ganadas por los encuestados más jóvenes de la comunidad (30-39 años) destaca el uso de tecnologías móviles como una nueva habilidad adquirida.

Igualmente, los alumnos mencionaron la importancia de los “proyectos de investigación”. La incorporación de proyectos de ciencia participativa en estudiantes de pregrado, brinda la oportunidad de involucrarse en investigación científica. Esta participación, ofrece un sentido de pertenencia como miembros de la comunidad científica y desarrollo de su identidad académica (Johns *et al.* 2021).

A diferencia de otras categorías, los componentes “egoístas” presentan elementos de carácter extrínseco e intrínseco (West *et al.* 2021).

West & Pateman (2016) clasifican “Desarrollo” en “aprender algo nuevo” y “compartir conocimiento”. Este último con un componente intrínseco de compartir con los demás (altruismo). Los encuestados pertenecientes a la comunidad mencionaron “aprendizaje” como un beneficio a la comunidad y la motivación de buscar temas relacionados con la contaminación ambiental, además de mencionar la importancia de compartir el conocimiento con otras comunidades (Figura 35 y 37).

Un aspecto importante encontrado en proyectos de ciencia participativa es las relaciones adquiridas del aprendizaje mutuo. La transferencia de conocimientos a través de un sistema informal de enseñanza en donde los participantes con más experiencia comparten su formación con los más novatos, aporta al sentido de compañerismo (Bell *et al.* 2008). La adquisición de nuevo conocimiento ha sido una de las motivaciones principales en diversos estudios, ya que les brinda información sobre las especies, hábitats y procesos ecosistémicos que los rodean (Bell *et al.* 2008; Domroese & Johnson 2017; West & Pateman 2016).

Por otro lado, las mujeres de la comunidad mencionaron el impacto que tuvo su participación en el proyecto en su desenvolvimiento y participación en las asambleas de su comunidad (Cuadro 25). Otras observaciones han obtenido resultados similares en donde las mujeres indican más a menudo “participación social” como motivación (Chacón *et al.* 2017; Richter *et al.* 2021). La participación de las mujeres está relacionada con el desarrollo personal, mayor confianza en sí mismas y adquisiciones de conocimientos (Vohland *et al.* 2021). La participación y el trabajo en equipo puede influir en la capacidad de contribución en actividades sociales, que, a su vez, pueda aportar al sentido de comunidad, ampliar sus redes personales y la formulación de propuestas ambientales en su comunidad (Domroese & Johnson 2017; McAteer *et al.* 2021).

Diversos trabajos señalan la poca diversidad de voluntarios en proyectos de ciencia participativa, en donde las mujeres de etnias poco representadas, tienden a ser el grupo con menos participación (Allf *et al.* 2022; Blake *et al.* 2020; Domhnaill *et al.* 2020; Pateman *et al.* 2021). La participación de mujeres pertenecientes a la C.C. Cordillera Blanca fue menor al 40 por ciento, no siendo representativo de la población de mujeres en el distrito de Recuay (52.7 por ciento, según INEI 2018). Allf *et al.* (2022) proponen un marco centrado en el voluntariado, donde señala la importancia de la inclusión demográfica de los participantes, que refleje la diversidad de la población en general. De esta manera, se espera una evaluación más precisa mediante la reducción de los sesgos de participación, además de comprender las diferentes motivaciones de la sociedad participante y permite un diseño adecuado en los proyectos de ciencia participativa (West *et al.* 2021).

No se obtuvieron respuestas pertenecientes a “Protector”. Algunas respuestas referentes a esta categoría son “ejercitarse” y “tomar aire fresco” (West *et al.* 2021).

Comprender las diferentes motivaciones del total de participantes es fundamental, ya que al satisfacer estas motivaciones aumenta la calidad de la experiencia de los voluntarios, que eventualmente, conlleva a mejores resultados (Alender 2016; West & Pateman 2016). Las investigaciones realizadas en inteligencia colectiva sugieren que unir a personas de diferentes orígenes promueve el pensamiento innovador, estrecha las relaciones entre distintos actores institucionales y, en consecuencia, mejora las perspectivas de futuras acciones conjuntas (Buytaert *et al.* 2014).

Los participantes con motivaciones satisfechas, demuestran un mayor nivel de desempeño y retención, además de que es probable que comuniquen mensajes positivos a otros miembros de su entorno, lo que respalda el reclutamiento de nuevos voluntarios (McAteer *et al.* 2021).

La retención también da a lugar al desarrollo de cualidades como liderazgo y confianza de sus habilidades en participantes con experiencia, generando datos más confiables (Cooper *et al.* 2007).

4.3.5. Nube de palabras

Se utilizó el programa MAXQDA2022 Analytics Pro para el análisis de frecuencia de palabras en las encuestas de cada grupo.

Se realizaron tablas con las diez palabras más usadas en cada grupo. La frecuencia mostrada indica la frecuencia absoluta de cada palabra en el texto procesado; el rango indica el ranking de la palabra, en caso haya palabras con la misma frecuencia se le asigna el mismo rango. La columna de porcentaje indica el porcentaje de la palabra en el total de palabras de las encuestas de ese grupo. Dentro de las 10 palabras más usadas en la C.C. Cordillera Blanca se encuentran *Agua*, *Calidad* y *Comunidad*, que se encuentran mencionadas en más del 80 por ciento de las encuestas (Cuadro 27).

Cuadro 27: Diez palabras más usadas en las encuestas de la C.C. Cordillera Blanca

Palabra	Frecuencia	Porcentaje	Rango	Documentos	Documentos (porcentaje)
Agua	60	10.07	1	21	100.00
Calidad	40	6.71	2	17	80.95
Comunidad	26	4.36	3	18	85.71
Identificación	15	2.52	4	14	66.67
Monitoreo	15	2.52	4	13	61.90
Proyectos	14	2.35	6	12	57.14
Decisiones	13	2.18	7	10	47.62
Fuentes	13	2.18	7	12	57.14
Toma	13	2.18	7	10	47.62
Apoyo	11	1.85	10	10	47.62

Entre las palabras más frecuentes entre los alumnos de la UNASAM están: *Agua* y *Calidad*, que fueron mencionadas en todas las encuestas realizadas a este grupo, seguidas de *Proyectos*, mencionada en 71.8 por ciento de las encuestas (Cuadro 28).

Cuadro 28: Diez palabras más usadas en las encuestas de los alumnos de la UNASAM

Palabra	Frecuencia	Porcentaje	Rango	Documentos	Documentos (porcentaje)
Agua	91	10.09	1	32	100.00
Calidad	78	8.65	2	32	100.00
Proyectos	31	3.44	3	23	71.88
Uso	31	3.44	3	19	59.38
Evaluar	24	2.66	5	20	62.50
Buena	23	2.55	6	17	53.13
Zonas	22	2.44	7	18	56.25
Comunidad	21	2.33	8	17	53.13
Conservación	21	2.33	8	19	59.38
Identificar	20	2.22	10	16	50.00

Se realizó la nube de palabras por grupos C.C Cordillera Blanca y alumnos de la UNASAM. La frecuencia para que una palabra sea incluida en la nube fue de 5 y el número de palabras

en la nube fue de 30. Se retiraron palabras conectoras. Las palabras con mayor frecuencia tuvieron mayor tamaño.

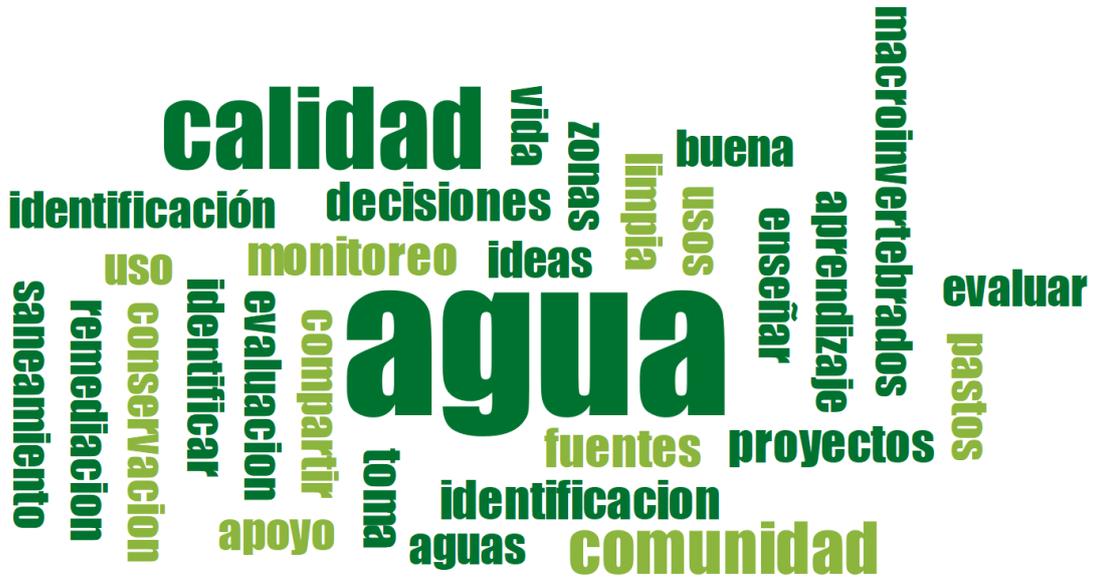


Figura 53: Nube de palabras de las respuestas con mayor frecuencia de la C.C. Cordillera Blanca



Figura 54: Nube de palabras de las respuestas con mayor frecuencia de los alumnos de la UNASAM

Para ambos grupos, las palabras “Agua” y “Calidad” fueron las más comunes. Este resultado destaca la importancia del enfoque de calidad de agua como resultado de la experiencia ganada por los participantes. Las diferencias se observan con la tercera palabra más común. Para los participantes de la C.C. Cordillera Blanca, “Comunidad” fue la tercera palabra más usada. Estos resultados se apoyan en las percepciones y motivaciones recibidas por los participantes de la comunidad, en donde centran los beneficios obtenidos por su participación en el bienestar comunitario.

Por otro lado, la tercera palabra más usada por los alumnos de la UNASAM fue “Proyectos”. Al ser estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería ambiental, esto demuestra su enfoque profesional y la visión de las herramientas ganadas con su participación en la aplicación de proyectos de investigación.

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de un modelo de ciencia participativa en regiones vulnerables, como las comunidades en los Andes tropicales, aporta conocimiento, cambio de actitudes frente a problemas ambientales, fomenta la participación social, aporta información válida para la generación de políticas e intercambio de ideas entre comunidades y entre distintos actores (academia, gobiernos regionales y locales, ONGs), y provee de herramientas que permitan la autonomía en la toma de decisiones para el bienestar de la comunidad y asegurar el desarrollo y la sostenibilidad del recurso hídrico.
- Los resultados sugieren una fuerte voluntad de los participantes en el uso del aplicativo Aqua Biosmart como medio para la evaluación y monitoreo de calidad de agua. El uso de aplicativos móviles ofrece un gran potencial para la evaluación de calidad de agua en zonas rurales. Sin embargo, es esencial tener en cuenta el acceso a tecnologías móviles, conectividad y habilidades necesarias para el uso de dichos aplicativos en las áreas de trabajo. En el presente estudio, esta demostró ser la principal limitación al uso sostenido del aplicativo y una brecha en la participación de la población.
- Los participantes de la comunidad demostraron una eficacia en la identificación de los macroinvertebrados bentónicos hasta en un 94.4%. Los resultados muestran que voluntarios sin experiencia en taxonomía, pueden contribuir con éxito en las identificaciones con un entrenamiento previo. Es importante incluir un proceso de verificación de los datos para asegurar su calidad y brindar las correcciones en el momento. Los comentarios de retroalimentación a tiempo, han mostrado tener beneficios en la mejora de la calidad de datos, como también en el involucramiento de los voluntarios.

- Comprender las percepciones, motivaciones y beneficios generados para los participantes, ayudará al reclutamiento y retención de voluntarios. Por otro lado, la inclusión y diversidad en los proyectos de ciencia participativa, brinda la oportunidad de generar confianza en la participación social a la población poco representada, como las mujeres. Mayor diversidad de experiencias y orígenes, aporta a un mayor intercambio de ideas, que finalmente aporta a la formulación de políticas de gestión.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar el grado de participación mediante una mayor comunicación con otros sectores de la comunidad y partes interesadas, y considerar la inclusión, diversidad y equidad de género en los participantes en todas las fases del desarrollo del proyecto de ciencia participativa, a fin de que sea representativo de la población en general. De este modo, se asegura un debate más diverso entre las partes interesadas, ofrece mayor oportunidad de participación a grupos subrepresentados, y mejora el alcance del proyecto de investigación.
- El uso de tecnologías móviles ha demostrado ser una limitante en las zonas rurales andinas, por lo que se recomienda el uso de guías de identificación para disminuir la brecha de participación de la población que no cuenta con la tecnología suficiente para el uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart.
- Para mejorar la eficacia en la identificación de los macroinvertebrados en campo, Falk et al. (2019) recomienda colocar imágenes de familias similares al lado de la otra con explicaciones señalando las diferencias de cada una. Asimismo, Kosmala *et al.* (2016), propone realizar capacitaciones de repaso anuales para mantener la calidad de datos.
- Se recomienda fomentar los resultados y beneficios obtenidos de la ciencia participativa en comunidades rurales con agentes políticos y académicos. El objetivo es mejorar el nivel de confianza en los datos y su aplicación en la toma de decisiones. Adicionalmente, generar mayor involucramiento de las comunidades en el desarrollo sostenible y la gestión integral de los recursos hídricos.

Modificaciones sugeridas para el aplicativo Aqua Biosmart

Luego de la experiencia en campo en el uso del aplicativo, se recolectaron opiniones y sugerencias de los participantes para proponer mejoras técnicas al sistema operativo del Aqua Biosmart. Entre ellas están:

1. Registro de usuarios en el aplicativo mediante correo electrónico: de esta manera el usuario quedará registrado en la web de Aqua Biosmart y se podrá verificar quienes registran más información.
2. Índices diferenciados: dentro del índice IBA y BMWP/Col, hay familias que no están incluidas en esos índices, por lo que en su cuadro de puntaje se visualiza un cero. Cuando se seleccione una zona: Sierra (IBA) y Costa/Selva (BMWP), solo se mostrará en la lista de familias, aquellas que tienen un puntaje en dicho índice, de modo que se acorte la lista y el usuario revise menos familias. Es decir, que, si se selecciona SIERRA, solo aparezcan las familias con puntajes de 1 a 10 (Figura 55).

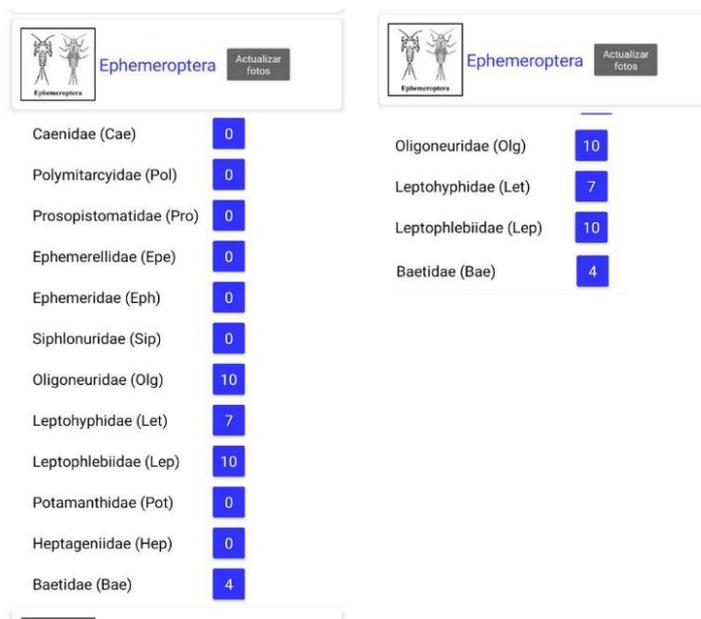


Figura 55: Vista actual vs. Vista con modificaciones

3. Botón de Editar en Historial: en muchos casos, el usuario registra rápido la información del punto de muestreo y pueden ocasionar errores. Sin embargo, una vez finalizada la evaluación ya no se puede modificar el nombre del punto y observaciones. Se propone crear un botón de editar datos (Figura 56).



Figura 56: Botón de editar información del punto

4. Visualización en mapa: se propone un botón que permita visualizar los puntos registrados por el usuario en Google Maps o en la misma app en modo mapa (Figura 57).

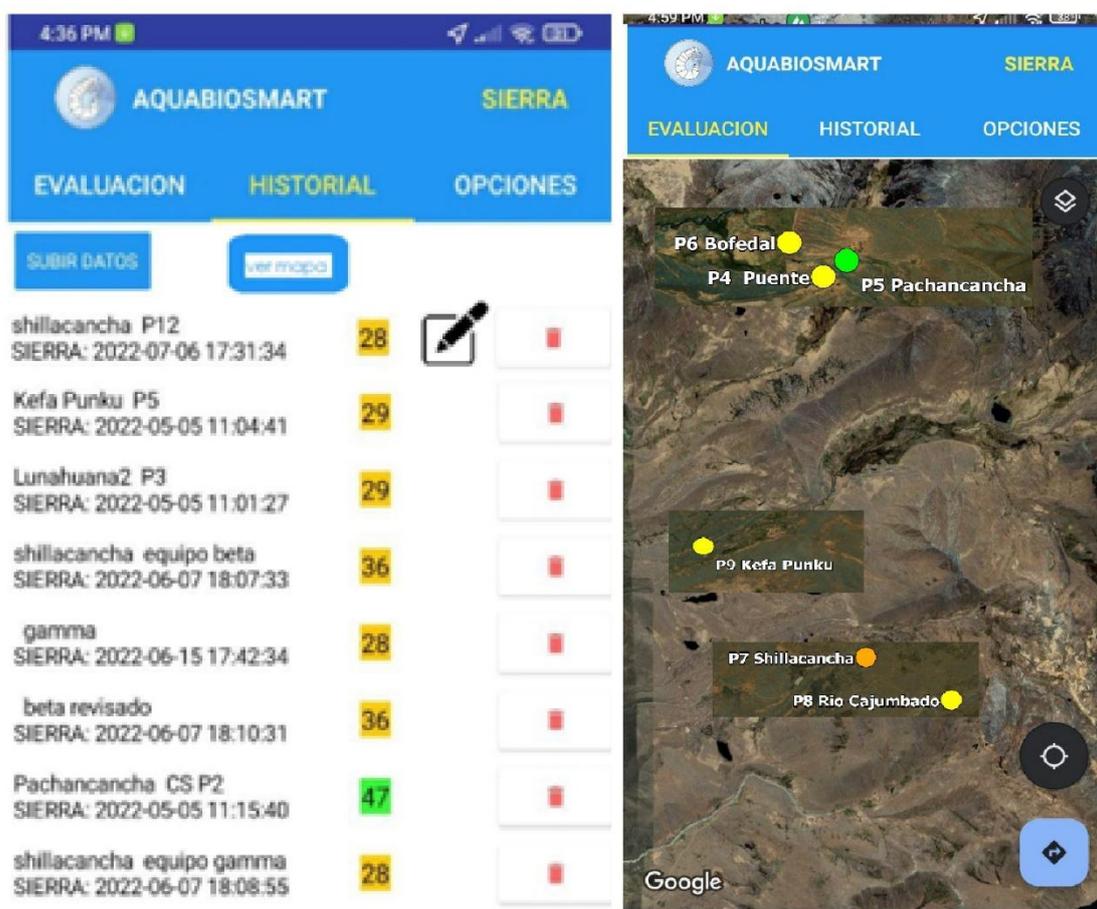


Figura 57: Visualización de los puntos en un mapa

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab Hamid, S. & Md Rawi, C. S. 2017. Application of aquatic insects (Ephemeroptera, plecoptera and trichoptera) in water quality assessment of Malaysian headwater (en línea). *Tropical Life Sciences Research*, 28(2), 143-162. Disponible en <https://doi.org/10.21315/tlsr2017.28.2.11>
- Abubakr, A., Ahmad Gojar, A., Balkhi, M. & Malik, R. 2018. Macro-Invertebrates (Annelida; Oligochaeta) As Bio-Indicator of Water Quality under Temperate Climatic Conditions (en línea). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 6(1), 726-737. Disponible en <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5903>
- 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.
- Adler, F., Green, A.M. & Şekercioğlu, Ç. H. 2020. Citizen science in ecology: A place for humans in nature (en línea). *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1469(1), 52-64. Disponible en <https://doi.org/10.1111/nyas.14340>
- Adler, P. & Courtney, G. 2019. Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera (en línea). *Insects*, 10(3), 70. Disponible en <https://doi.org/10.3390/insects10030070>
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), II(September), 202-213.
- Alba-Tercedor, J. & Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978) (en línea). *Limnetica*, 4(1), 51-66. Disponible en <https://doi.org/10.23818/limn.04.06>
- Albutra, Q., Ascaño, C. & Demayo, C. 2017. Water quality assessment using macroinvertebrates along the mining area of Brgy (en línea). *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4(11), 99-103. Disponible en <https://doi.org/10.21833/ijaas.2017.011.015>

- Alender, B. 2016. Understanding volunteer motivations to participate in citizen science projects: A deeper look at water quality monitoring (en línea). *Journal of Science Communication*, 15(3), A04. Disponible en <https://doi.org/10.22323/2.15030204>
- Allf, B. C., Cooper, C.B., Larson, L.R., Dunn, R.R., Futch, S.E., Sharova, M. & Cavalier, D. 2022. Citizen Science as an Ecosystem of Engagement: Implications for Learning and Broadening Participation (en línea). *BioScience*, 72(7), 651-663. Disponible en <https://doi.org/10.1093/biosci/biac035>
- Andina. 2022. Con aplicativo para celulares asháninkas fortalecen monitoreo de pesca | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina (en línea). Disponible en <https://andina.pe/agencia/noticia-con-aplicativo-para-celulares-ashaninkas-fortalecen-monitoreo-pesca-753115.aspx>
- AQEM Consortium. 2002. Manual for the Application of the AQEM System: A Comprehensive Method to Assess European Streams Using Benthic Macroinvertebrates (en línea), Developed for the Purpose of the Water Framework Directive. Disponible en <http://eugris.info/displayresource.aspx?r=94&Cat=document>
- Arimoro, F.O., Ikomi, R.B. & Iwegbue, C.M.A. 2007. Water quality changes in relation to Diptera community patterns and diversity measured at an organic effluent impacted stream in the Niger Delta, Nigeria (en línea). *Ecological Indicators*, 7(3), 541-552. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.06.002>
- Armitage, P.D., Moss, D., Wright, J.F. & Furse, M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites (en línea). *Water Research*, 17(3), 333-347. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)
- August, T.A., West, S.E., Robson, H., Lyon, J., Huddart, J., Velasquez, L.F. & Thornhill, I. 2019. Citizen meets social science: Predicting volunteer involvement in a global freshwater monitoring experiment (en línea). *Freshwater Science*, 38(2), 321-331. Disponible en <https://doi.org/10.1086/703416>
- Ausable River Association. s.f. What Insects Tell Us About Water Quality (en línea). Consultado 6 jul. 2022. Disponible en <https://www.ausableriver.org/blog/what-insects-tell-us-about-water-quality>
- Autoridad Nacional del Agua. s.f. Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca | Drupal (en línea). Consultado 16 jun. 2022. Disponible en <https://www.ana.gob.pe/nosotros/planificacion-hidrica/plan-gestion-cuencas>

- Autoridad Nacional del Agua. 2014. Inventario de Lagunas de la Cordillera Blanca. 91.
- Awal, S. & Svozil, D. 2010. Macro-invertebrate species diversity as a potential universal measure of wetland ecosystem integrity in constructed wetlands in South East Melbourne (en línea). *Aquatic Ecosystem Health & Management* 13(4), 472-479. Disponible en <https://doi.org/10.1080/14634988.2010.526439>
- Aydođan, E., Atik, A. D., Dikmen, E. Ő. & Erkoç, F. 2022. Development and usability testing of an educational mobile learning app for climate change and health impacts (en línea). *Turkish Journal of Biochemistry*, 47(3), 373-383. Disponible en <https://doi.org/10.1515/tjb-2020-0350>
- Batson, C.D., Ahmad, N. & Tsang, J. 2002. Four Motives for Community Involvement (en línea). *Journal of Social Issues*, 58(3), 429-445. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1540-4560.00269>
- Bell, S., Marzano, M., Cent, J., Kobierska, H., Podjed, D., Vandzinskaite, D., Reinert, H., Armaitiene, A., Grodzinska-Jurczak, M. & Mursic, R. 2008. What counts? Volunteers and their organisations in the recording and monitoring of biodiversity (en línea). *Biodiversity and conservation.*, 17(14), Art. 14. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9357-9>
- Bennett, N. & Satterfield, T. 2018. Environmental governance: A practical framework to guide design, evaluation, and análisis (en línea). *Conservation Letters*, 11. Disponible en <https://doi.org/10.1111/conl.12600>
- Berezina, N.A. 2001. Influence of ambient pH on freshwater invertebrates under experimental conditions (en línea). *Russian Journal of Ecology*, 32(5), 343-351. Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1011978311733>
- Blake, C. & Rhanor, A.K. 2020. The impact of channelization on macroinvertebrate bioindicators in small order Illinois streams: Insights from long-term citizen science research (en línea). *Aquatic Sciences*, 82(2), 1-11. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00027-020-0706-4>
- Blake, C., Rhanor, A. & Pajic, C. 2020. The Demographics of Citizen Science Participation and Its Implications for Data Quality and Environmental Justice (en línea). *Citizen Science: Theory and Practice*, 5(1), Art. 1. Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.320>
- Blaney, RJP., Philippe, A.C.V., Pocock, M.J.O. & Jones, G.D. 2016. Citizen Science and Environmental Monitoring: Towards a Methodology for Evaluating Opportunities, Costs and Benefits Final Report on behalf of UK Environmental

- Observation Framework by: Citizen Science and Environmental Monitoring-Final Report, Final Report, 77.
- Bonney, P. 2020. Citizen science: Knowledge, networks and the boundaries of participation. Federation University Australia.
- Bonney, R., Cooper, C.B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K.V. & Shirk, J. 2009. Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience* (en línea), 59(11), 977-984. Disponible en <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Bonney, R., Phillips, T.B., Ballard, H.L. & Enck, J.W. 2016. Can citizen science enhance public understanding of science? (en línea). *Public Understanding of Science*, 25(1), 2-16. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Bonney, R., Shirk, J.L., Phillips, T.B., Wiggins, A., Ballard, H.L., Miller-Rushing, A.J. & Parrish, J.K. 2014. Next steps for citizen science (en línea). *Science*, 343(6178), 1436-1437. Disponible en <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Bowser, A., Hansen, D., Preece, J., He, Y., Boston, C. & Hammock, J. 2014. Gamifying citizen science: A study of two user groups (en línea). Proceedings of the companion publication of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing, 137-140. Disponible en <https://doi.org/10.1145/2556420.2556502>
- Brooks, S.J., Fitch, B., Davy-Bowker, J. & Codesal, S.A. 2019. Anglers' Riverfly Monitoring Initiative (ARMI): A UK-wide citizen science project for water quality assessment (en línea). *Freshwater Science*, 38(2), 270-280. Disponible en <https://doi.org/10.1086/703397>
- Buss, D. 2008. Desenvolvimento de um índice biológico para uso de voluntários na avaliação da qualidade da água de rios. *Oecologia Brasiliensis*, 12(3), 11.
- Buytaert, W., Dewulf, A., De Bièvre, B., Clark, J., & Hannah, D.M. 2016. Citizen Science for Water Resources Management: Toward Polycentric Monitoring and Governance? (en línea). *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(4), 01816002. Disponible en [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000641](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000641)
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T.C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D.M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., Tilahun, S., Van Hecken, D., Zhumanova, M. 2014. Citizen science in hydrology

- and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development (en línea). *Frontiers in Earth Science*, 2. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2014.00026>
- Canning, A.D. & Death, R.G. 2019. Ecosystem Health Indicators—Freshwater Environments. *In* B. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology* (2nd Edition) (en línea). (p. 46-60). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10617-7>
- Cano, A., Mendoza, W., Castillo, S., Morales, M., La Torre, María. I., Aponte, H., Delgado, A., Valencia, N. & Vega, N. 2011. Flora y vegetación de suelos crioturbados y hábitats asociados en la Cordillera Blanca, Ancash, Perú (en línea). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 95-103. Disponible en <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.56>
- Carlson, T. & Cohen, A. 2018. Linking community-based monitoring to water policy: Perceptions of citizen scientists (en línea). *Journal of Environmental Management*, 219, 168-177. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.077>
- Carrera, C. & Fierro, K. 2018. Manual de Monitoreo: Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores de la Calidad de Agua (en línea). *En Ecociencia* (Vol. 2). Disponible en https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=144719&tab=opac
- Cepeda, N.J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J.T. & Rohrer, D. 2006. Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis (en línea). *Psychological Bulletin*, 132(3), 354-380. Disponible en <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>
- Cequera, M.M. 2012. Modelo multifactorial para optimización de la productividad en el proceso de generación de energía eléctrica: Aplicación al caso de las centrales hidroeléctricas venezolanas. E.T.S.I. Industriales (UPM).
- Chacón, F., Gutiérrez, G., Sauto, V., Vecina, M.L. & Pérez, A. 2017. Volunteer Functions Inventory: A systematic review (en línea). *Psicothema*, 29(3), 306-316. Disponible en <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.371>
- Chávez, D. & Zapata, F. 2019. Biorremediación en la Comunidad Campesina Cordillera Blanca, Perú | PANORAMA. Instituto de Montaña (en línea). Disponible en <https://panorama.solutions/es/solution/biorremediacion-en-la-comunidad-campesina-cordillera-blanca-peru>
- Ciarfella, C. 2014. Efficacy of citizen science in water quality studies: A macroinvertebrate biomonitoring project in the Charles River watershed, Massachusetts. University of Massachusetts.

- Clary, E.G., Snyder, M., Ridge, R.D., Copeland, J., Stukas, A.A., Haugen, J. & Miene, P. 1998. Understanding and assessing the motivations of volunteers: A functional approach (en línea). *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(6), 1516-1530. Disponible en <https://doi.org/10.1037//0022-3514.74.6.1516>
- Cohn, J. 2008. Citizen Science: Can Volunteers Do Real Research? (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.1641/B580303>
- CONDESAN. s.f. Iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA) – Condesan (en línea). Consultado 16 jun. 2022. Disponible en <https://condesan.org/redes-de-investigacion/iniciativa-regional-de-monitoreo-hidrologico-de-ecosistemas-andinos-imhea/>
- Connolly, N.M., Crossland, M.R. & Pearson, R.G. 2004. Effect of low dissolved oxygen on survival, emergence, and drift of tropical stream macroinvertebrates (en línea). *Journal of the North American Benthological Society*, 23(2), 251-270. Disponible en [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2004\)](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2004))
- Conrad, C.C. & Hilchey, K.G. 2011. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities (en línea). *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1-4), 273-291. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>
- Cooper, C., Dickinson, J., Phillips, T. & Bonney, R. 2007. Citizen Science as a Tool for Conservation in Residential Ecosystems (en línea). *Ecology and Society*, 12(2). Disponible en <https://doi.org/10.5751/ES-02197-120211>
- Cozby, P. 2005. *Métodos de investigación del comportamiento*. 8ª ed. McGraw-Hill Inc. ISBN 970-10-4825-3.
- Croijmans, L., de Jong, J.F. & Prins, H.H.T. 2021. Oxygen is a better predictor of macroinvertebrate richness than temperature—A systematic review (en línea). *Environmental Research Letters*, 16(2), 023002. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9b42>
- Cronbach, L.J. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests (en línea). *Psychometrika*, 16(3), 297-334. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Cunha, D.G.F., Marques, J.F., de Resende, J.C., de Falco, P.B., de Souza, C.M. & Loiselle, S.A. 2017. Citizen science participation in research in the environmental sciences: Key factors related to projects' success and longevity (en línea). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3), 2229-2245. Disponible en <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160548>

- De Los Ríos-Escalante, P., Morrone, J.J. & Rivera, R. 2012. Patrones de distribución de especies sudamericanas de hyalella (Amphipoda: Hyalellidae) (en línea). *Gayana*, 76(2), 153-161. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000300008>
- Dickinson, J.L., Zuckerberg, B. & Bonter, D.N. 2010. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits (en línea). *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41(1), 149-172. Disponible en <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>
- Domhnaill, C.M., Lyons, S. & Nolan, A. 2020. The Citizens in Citizen Science: Demographic, Socioeconomic, and Health Characteristics of Biodiversity Recorders in Ireland (en línea). *Citizen Science: Theory and Practice*, 5(1), Art. 1. Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.283>
- Domínguez, E. & Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. *Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo (en línea). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_bentonicos_Sudamericanos_Sistematica_y_Biologia
- Domroese, M.C. & Johnson, E.A. 2017. Why watch bees? Motivations of citizen science volunteers in the Great Pollinator Project (en línea). *Biological Conservation*, 208, 40-47. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.020>
- Elliott, J.M. 2008. The Ecology of Riffle Beetles (Coleoptera: Elmidae) (en línea). *Freshwater Reviews*, 1(2), 189-203. Disponible en <https://doi.org/10.1608/frj-1.2.4>
- Engel, S.R. & Voshell, J.R. 2002. Volunteer Biological Monitoring: Can It Accurately Assess the Ecological Condition of Streams? (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.1093/AE/48.3.164>
- Equator Initiative. 2022. Recuperando La Calidad Del Agua Del Rio Negro – Equator Initiative (en línea). Disponible en <https://www.equatorinitiative.org/2017/07/14/recuperando-la-calidad-del-agua-del-rio-negro/>
- Espinal, S. 2010. Aplicación del concepto de participación ciudadana y su impacto en la gestión integral de los recursos hídricos. Caso cuenca del lago Cocibolca (en línea). *Nexo Revista Científica*, 23(1), Art. 1. Disponible en <https://doi.org/10.5377/nexo.v23i1.36>
- Falk, S., Foster, G., Comont, R., Conroy, J., Bostock, H., Salisbury, A., Kilbey, D., Bennett, J. & Smith, B. 2019. Evaluating the ability of citizen scientists to identify bumblebee (*Bombus*) species (en línea). *PLoS ONE*, 14(6). Disponible en

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218614>

- Finkelstien, M.A. 2009. Intrinsic vs. Extrinsic motivational orientations and the volunteer process (en línea). *Personality and Individual Differences*, 46(5), 653-658. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.01.010>
- Flores Cochachin, M. 2019. Determinación de la capacidad de carga ganadera para la conservación de pastizales en la subcuenca del Río Negro Distrito de Olleros-Ancash 2017. Tesis Ing. Amb. Huaraz, PE. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 151 p.
- Flores, M.J.L. & Zafaralla, M. 2012. Macroinvertebrate Composition, Diversity and Richness in Relation to the Water Quality Status of Mananga River (en línea). Disponible en *Philippine Science Letters*, 5(2), 103-113.
- Flores Rojas, D. & Huamantincó Araujo, A. 2018. Desarrollo de una herramienta de vigilancia ambiental ciudadana basada en macroinvertebrados bentónicos (Mib) en la cuenca del río Jequetepeque, Cajamarca, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2).
- Fochetti, R. 2020. Plecoptera—An overview (en línea). *En Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/plecoptera>
- Fog, L. 2018. Con ciencia ciudadana miden impactos hidrológicos en cuencas—América Latina y el Caribe (en línea). Disponible en <https://www.scidev.net/america-latina/news/con-ciencia-ciudadana-miden-impactos-hidrologicos-en-cuencas/>
- Fondriest Environmental, I. 2013. Dissolved Oxygen—Environmental Measurement Systems (en línea). Disponible en <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>
- Fore, L., Paulsen, K. & O’Laughlin, K. 2001. Assessing the performance of volunteers in monitoring streams. *Freshwater Biology*, 46, 109-123.
- Forrester, T., Baker, M., Costello, R., Kays, R., Parsons, A. & McShea, W. 2017. Creating advocates for mammal conservation through citizen science (en línea). *Biological Conservation*, 208, 98-105. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.025>
- Frías-Navarro, D. 2022. Apuntes de estimación de la fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. *En Lectura crítica y recomendaciones para redactar el informe de investigación* (en línea). Universidad de Valencia. España. disponible en <https://doi.org/10.17605/osf.io/kngtp>

- Friberg, N., Milner, A.M., Svendsen, L.M., Lindegaard, C. & Larsen, S.E. 2001. Macroinvertebrate stream communities along regional and physico-chemical gradients in Western Greenland (en línea). *Freshwater Biology*, 46(12), 1753-1764. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00857.x>
- Fuccillo, K.K., Crimmins, T.M., de Rivera, C.E. & Elder, T.S. 2015. Assessing accuracy in citizen science-based plant phenology monitoring (en línea). *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 917-926. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0892-7>
- Gadsden, G.I., Malhotra, R., Schell, J., Carey, T. & Harris, N.C. 2021. Michigan ZoomIN: Validating Crowd-Sourcing to Identify Mammals from Camera Surveys (en línea). *Wildlife Society Bulletin*, 45(2), 221-229. Disponible en <https://doi.org/10.1002/wsb.1175>
- Geoghegan, H., Dyke, A., West, S. & Pateman, R. 2016. Understanding motivations for citizen science (Final Report on Behalf of UKEOF, University of Reading, Stockholm Environment Institute (University of York) and University of the West of England.) (en línea). Disponible en <https://www.sei.org/publications/understanding-motivations-for-citizen-science/>
- George, D. & Mallery, P. 2003. *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*, 11.0 update. Allyn and Bacon.
- Global Water Partnership. 2009. Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas. *En* Global Water Partnership y Red Internacional of Basin
- Gonsamo, A. & D'Odorico, P. 2014. Citizen science: Best practices to remove observer bias in trend análisis (en línea). *International Journal of Biometeorology*. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0806-8>
- Guerrero-de León, A.A., Gerritsen, P.R.W., Martínez-Rivera, L.M., Salcido-Ruiz, S., Meza-Rodríguez, D. & Bustos-Santana, H.R. 2010. Governance and social participation in the management of water in El Cangrejo micro-basin, municipality of Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, X(33), 541-567.
- Hellawell, J.M. 1978. *Biological surveillance of rivers; a biological monitoring handbook*. *En* Stevenage: Water Research Center. Medmenham, Bucks. (UK); Stevenage (UK) WRC, Medmenham Lab.; WRC, Stevenage Lab.
- Hieber, M., Robinson, C.T., Uehlinger, U. & Ward, J.V. 2005. A comparison of benthic macroinvertebrate assemblages among different types of alpine streams (en línea). *Freshwater Biology*, 50(12), 2087-2100. Disponible en

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01460.x>

- Hilsenhoff, W.L. 2001. Diversity and Classification of Insects and Collembola (en línea). *In Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (p. 661-731). Disponible en Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-012690647-9/50018-1>
- Huamantínco, A.A. & Ortiz, W. 2011. Clave de géneros de larvas de Trichoptera (Insecta) de la Vertiente Occidental de los Andes, Lima, Perú (en línea). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 75-80. Disponible en <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.54>
- Huddart, J.E.A., Thompson, M.S.A., Woodward, G. & Brooks, S.J. 2016. Citizen science: From detecting pollution to evaluating ecological restoration (en línea). *WIREs Water*, 3(3), 287-300. Disponible en <https://doi.org/10.1002/wat2.1138>
- Hussain, Q. & Pandit, A. 2012. Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors (en línea). *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 4(7). Disponible en <https://doi.org/10.5897/ijfa11.045>
- INAIGEM. 2019. Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú 2018.
- INEI. 2018. Censos Nacionales 2017. XII de Población y VII de Vivienda. <https://estadist.inei.gob.pe/map>
- INEI. 2019. Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2018 (Telecomunicación, pp. 55-86).
- INEI. 2021. Estadísticas de las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares (Informe Técnico N.º 2; p. 49).
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Costa Rica. 2012. Manual de codificación y validación Encuesta Continua de Empleo.
- Jacobsen, D., Dangles, O., Andino, P., Espinosa, R., Hamerlík, L. & Cadier, E. 2010. Longitudinal zonation of macroinvertebrates in an Ecuadorian glacier-fed stream: Do tropical glacial systems fit the temperate model? (en línea). *Freshwater Biology*, 55(6), 1234-1248. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02348.x>
- Johansen, E., Aberle, N., Østensen, M.-A. & Majaneva, S. 2021. Assessing the Value of a Citizen Science Approach for Ctenophore Identification (en línea). *Frontiers in Marine Science*, 8, 1691. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.772851>
- Johns, B., Thomas, D., Lundgren, L., Larson, L. & Cooper, C. 2021. Undergraduate Student Experiences with Citizen Science Highlight Potential to Broaden Scientific Engagement (en línea). *Citizen Science: Theory and Practice*, 6(1), Art. 1. Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.419>

- Jolejole, M.E., Cayetano, M.G. & Magbanua, F.S. 2021. Responses of benthic macroinvertebrate communities in tropical Asian streams passing through an industrial zone (en línea). *Chemistry and Ecology*, 37(5), 399-418. Disponible en <https://doi.org/10.1080/02757540.2021.1888935>
- Jordan, R.C., Ballard, H.L. & Phillips, T.B. 2012. Key issues and new approaches for evaluating citizen-science learning outcomes (en línea). *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 307-309. Disponible en <https://doi.org/10.1890/110280>
- Jordan, R.C., Gray, S.A., Howe, D.V., Brooks, W.R. & Ehrenfeld, J.G. 2011. Knowledge Gain and Behavioral Change in Citizen-Science Programs (en línea). *Conservation Biology*, 25(6), 1148-1154. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01745.x>
- Juen, I., Kaser, G. & Georges, C. 2007. Modelling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Perú) (en línea). *Global and Planetary Change*, 59(1-4), 37-48. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.038>
- Katrak-Adefowora, R., Blickley, J. & Zellmer, A. 2020. Just-in-Time Training Improves Accuracy of Citizen Scientist Wildlife Identifications from Camera Trap Photos (en línea). *Citizen Science: Theory and Practice*, 5, 8. Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.219>
- Kazancı, N., Ekingen, P., Dügél, M. & Türkmen, G. 2015. Hirudinea (Annelida) species and their ecological preferences in some running waters and lakes (en línea). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(3), 1087-1096. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0574-3>
- Kelley, P. 2019. Relationship of Dissolved Oxygen Availability and Chloride Contribution to Freshwater Macroinvertebrate Diversity Found in Various Ponds in Northern Illinois (en línea). *ESSAI*, 17. Disponible en <https://dc.cod.edu/essai/vol17/iss1/24>
- Kenik, R. 1976. *Freshwater Planarians (Turbellaria) of North America—Roman Kenk—* Google Libros. U.S. Environmental Protection Agency.
- Koch, W., Hogeweg, L., Nilsen, E.B. & Finstad, A.G. 2022. Maximizing citizen scientists' contribution to automated species recognition (en línea). *Scientific Reports*, 12(1), 1-10. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11257-x>
- Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A. & Simmons, B. 2016. Assessing data quality in citizen science (en línea). *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 551-560. Disponible en <https://doi.org/10.1002/fee.1436>

- Krabbenhoft, C.A. & Kashian, D.R. 2020. Citizen science data are a reliable complement to quantitative ecological assessments in urban rivers (en línea). *Ecological Indicators*, 116, 106476. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106476>
- Kremen, C., Ullman, K.S. & Thorp, R.W. 2011. Evaluating the Quality of Citizen-Scientist Data on Pollinator Communities (en línea). *Conservation Biology*, 25(3), 607-617. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01657.x>
- La Matta Romero, F. 2020. Influencia del drenaje ácido de roca en la Comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos, Índices bióticos de calidad de agua y grupos funcionales alimenticios en ríos y cabeceras de la Cordillera Blanca (Subcuenca de Quillcay, Ancash). Tesis Lic. Biol. Lima, PE. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 118 p.
- Lawson, K.N., Tracy, B.M., Sharova, M., Muirhead, J.R. & Cawood, A. 2022. Engaging Online Citizen Scientists and the Consensus Method to Monitor the Marine Biofouling Community (en línea). *Frontiers in Marine Science*, 9. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.862430>
- Lewandowski, E. & Specht, H. 2015. Influence of volunteer and project characteristics on data quality of biological surveys (en línea). *Conservation Biology*, 29(3), 713-723. Disponible en <https://doi.org/10.1111/cobi.12481>
- Loayza-Muro, R. 2014. Calidad de agua en cabeceras de cuencas altoandinas en el contexto de cambio climático. Nota Técnica 2. Ministerio del Ambiente.
- Lock, K., Adriaens, T., Meutter, F.V.D. & Goethals, P. 2013. Effect of water quality on waterbugs (Hemiptera: Gerromorpha and nepomorpha) in flanders (Belgium): Results from a large-scale field survey (en línea). *Annales de Limnologie*, 49(2), 121-128. Disponible en <https://doi.org/10.1051/limn/2013047>
- López Mendoza, S., Huertas Pineda, D.F., Jaramillo Londoño, Á.M., Calderón Rivera, D. S. & Díaz Arévalo, J.L. 2022. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia) (en línea). *Ingeniería y Desarrollo*, 37(02), 269-288. Disponible en <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6281>
- Marambio, M., Lopez, L., Kefi - Daly Yahia, O., Daly Yahia, M., Deidun, A., Piraino, S., Nunes, P. & Fuentes, V. 2016. The Medjelly App: A preventive and mitigation tool against jellyfish blooms involving a citizen science network.
- Mark, B.G. & Mckenzie, J.M. 2007. Tracing increasing tropical Andean glacier melt with stable isotopes in wáter (en línea). *Environmental Science and Technology*, 41(20), 6955-6960. Disponible en <https://doi.org/10.1021/es071099d>

- Mauad, M. 2013. Comparación y aplicabilidad de índices bióticos para evaluar calidad de aguas en ambientes lóticos del Parque Nacional Nahuel Huapi. Tesis Ph. D. buenos Aires, ARG. Universidad Nacional de La Plata. 164 p.
- McAteer, B., Flannery, W. & Murtagh, B. 2021. Linking the motivations and outcomes of volunteers to understand participation in marine community science (en línea). *Marine Policy*, 124, 104375. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104375>
- Md Rawi, C.S., Al-Shami, S.A., Madrus, M.R. & Ahmad, A.H. 2014. Biological and ecological diversity of aquatic macroinvertebrates in response to hydrological and physicochemical parameters in tropical forest streams of Gunung Tebu, Malaysia: Implications for ecohydrological assessment (en línea). *Ecohydrology*, 7(2), 496-507. Disponible en <https://doi.org/10.1002/eco.1368>
- Mejía, C.A. 1998. Indicadores de Efectividad y Eficiencia. Centro de Estudios en Planificación, Políticas Públicas e Investigación Ambiental (en línea). p. 1-17. Disponible en <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/INDICADORES/Indicadores-efectividad-eficacia.pdf>.
- Meneses Campo, Y., Castro Rebolledo, M.I. & Jaramillo Londoño, A.M. 2019. Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI (en línea). *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-310. Disponible en <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716>
- Ministerio de Desarrollo e Inclusión social. 2022. Programa Nacional PAIS. Tambo Cordillera Blanca (en línea). Disponible en <https://www.pais.gob.pe>
- MonkeyLearn. s.f. Learn How to Code Open-Ended Survey Questions (en línea). Consultado 12 jul. 2022. Disponible en <https://monkeylearn.com/blog/survey-coding/>
- Moolna, A., Duddy, M., Fitch, B. & White, K. 2020. Citizen science and aquatic macroinvertebrates: Public engagement for catchment-scale pollution vigilance (en línea). *Écoscience*, 27(4), 303-317. Disponible en <https://doi.org/10.1080/11956860.2020.1812922>
- Mosquera-Murillo, Z. & Mosquera-Mosquera, M. 2021. Riqueza genérica y distribución de los odonatos (Insecta: Odonata) del departamento del Chocó, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 25(1), 191-205.
- Murre, J.M.J. & Dros, J. 2015. Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve (en línea). *PLOS ONE*, 10(7), e0120644. Disponible en

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>
- Nerbonne, J.F. & Vondracek, B. 2003. Volunteer Macroinvertebrate Monitoring: Assessing Training Needs through Examining Error and Bias in Untrained Volunteers (en línea). *Journal of the North American Benthological Society*, 22(1), 152-163. Disponible en <https://doi.org/10.2307/1467984>
- Office of Environment & Heritage, N. 2015. River macroinvertebrate sampling manual for volunteers. Office of Environment and Heritage NSW (en línea). Disponible en www.environment.nsw.gov.au
- Oviedo-Machado, N. & Reinoso-Flórez, G. 2018. Ecological aspects of Chironomidae larvae (Diptera) of the Opia river (Tolima, Colombia) (en línea). *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 101-109. Disponible en <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6546>
- Panis, L.I., Goddeeris, B. & Verheyen, R. 1995. The hemoglobin concentration of *Chironomus cf. Plumosus* l. (Diptera: Chironomidae) larvae from two lentic hábitats (en línea). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 29(1), 1-4. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02061785>
- Parrish, J.K., Jones, T., Burgess, H.K., He, Y., Fortson, L. & Cavalier, D. 2019. Hoping for optimality or designing for inclusion: Persistence, learning, and the social network of citizen science (en línea). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(6), 1894-1901. Disponible en <https://doi.org/10.1073/pnas.1807186115>
- Pateman, R.M., Dyke, A. & West, S.E. 2021. The Diversity of Participants in Environmental Citizen Science. *Citizen Science: Theory and Practice* (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.369>
- Pejovic, V. & Skarlatidou, A. 2020. Understanding Interaction Design Challenges in Mobile Extreme Citizen Science (en línea). *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(3), 251-270. Disponible en <https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1630934>
- Pimentel, H.F. 2014. Análisis desde la perspectiva de los índices bióticos, ECA-Agua y manejo adaptativo; usando macroinvertebrados bentónicos en ríos altoandinos. *Camisea 2009-2012*. 1-146.
- Proyecto Nuestro Río. 2021. Nuestro Río. Nuestro Río (en línea). Disponible en <https://nuestrorio.wixsite.com/proyecto/sobreproyecto>
- Quero Virla, M. 1997. Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12(2), 248-252.

- Raddick, M.J., Bracey, G., Gay, P.L., Lintott, C.J., Cardamone, C., Murray, P., Schawinski, K., Szalay, A.S. & Vandenberg, J. 2013. Galaxy Zoo: Motivations of Citizen Scientists (en línea). *Astronomy Education Review*, 12(1). Disponible en <https://doi.org/10.3847/AER2011021>
- Ramírez, S.A., González, W.A.R., Rivera, D.S.C., Londoño, Á.M.J. & Fernández, D.J.M. 2019. Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos (en línea). *Avances Investigación en Ingeniería*, 16(1), Art. 1. Disponible en <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5191>
- Ratnieks, F.L.W., Schrell, F., Sheppard, R.C., Brown, E., Bristow, O.E. & Garbuzov, M. 2016. Data reliability in citizen science: Learning curve and the effects of training method, volunteer background and experience on identification accuracy of insects visiting ivy flowers (en línea). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(10), 1226-1235. Disponible en <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12581>
- Redling, A. 2013. WaterQuality App Makes Tracking Data Easy. *Environmental Monitor* (en línea). Disponible en <https://www.fondriest.com/news/waterquality-app-makes-tracking-data-easy-and-educational.htm>
- Reid, D. & Tippler, C. 2016. Comparison of stream macroinvertebrate monitoring data from citizen scientists and an aquatic ecologist.
- Reyes Cruz, J.L., Garzón Castrillón, M.A., Tapia Sánchez, B., Reyes Cruz, J.L., Garzón Castrillón, M.A. & Tapia Sánchez, B. 2018. Diseño y validación de una escala tipo Likert para establecer características emprendedoras (en línea). *Dimensión Empresarial*, 16(2), 135-160. Disponible en <https://doi.org/10.15665/dem.v16i2.1599>
- Richter, A., Comay, O., Svenningsen, C.S., Larsen, J.C., Hecker, S., Tøttrup, A.P., Pe'er, G., Dunn, R.R., Bonn, A. & Marselle, M. 2021. Motivation and support services in citizen science insect monitoring: A cross-country study (en línea). *Biological Conservation*, 263, 109325. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109325>
- Rincón Gómez, W. 2014. Preguntas abiertas en encuestas ¿Cómo realizar su análisis?. *Comunicaciones en Estadística*, 7(2), 139-156.
- Ríos-Touma, B., Acosta, R. & Prat, N. 2014. The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation (en línea). *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 249-273. Disponible

en <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15791>

- Roldán Pérez, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo para la Protección del Medio Ambiente «José Celestino Mutis».
- Roldán Pérez, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldán-Pérez, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica (en línea). Vol. 40. Disponible en <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/335>
- Rutherford, A., Bu, F., Dawson, A. & McCall, V. 2019. Volunteering for All: National framework (Literature Review to Inform the Development of Scotland's Volunteering) (en línea). University of Stirling report for the Scottish Government. Disponible en <http://www.gov.scot/publications/volunteering-national-framework/>
- Saari, G. N., Wang, Z. & Brooks, B.W. 2018. Revisiting inland hypoxia: Diverse exceedances of dissolved oxygen thresholds for freshwater aquatic life (en línea). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3139-3150. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8908-6>
- Samanez Valer, I., Rimarachín Ching, V., Palma Gonzales, C., Arana Maestre, J., Ortega Torres, H., Correa Roldán, V. & Hidalgo Del Águila, M. 2014. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. MINAM, UNMSM.
- Shackleton, M., Holland, A., Stitz, L. & McInerney, P. 2019. Macroinvertebrate Responses to Conductivity in Different Bioregions of Victoria, Australia (en línea). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(6), 1334-1342. Disponible en <https://doi.org/10.1002/etc.4400>
- Shirk, J.L., Ballard, H.L., Wilderman, C.C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B.V., Krasny, M.E. & Bonney, R. 2012. Public participation in scientific research: A framework for deliberate design (en línea). *Ecology and Society*, 17(2). Disponible en <https://doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Sommer, B. & Horwitz, Æ. P. 2009. Macroinvertebrate cycles of decline and recovery in Swan Coastal Plain (Western Australia) wetlands affected by drought-induced acidification. 191-203. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9692-6>

- Stedman, R., Lee, B., Brasier, K., Weigle, J.L. & Higdon, F. 2009. Cleaning Up Water? Or Building Rural Community? Community Watershed Organizations in Pennsylvania* (en línea). *Rural Sociology*, 74(2), 178-200. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2009.tb00388.x>
- Steingruber, S., Boggero, A., Pradella, C., Dumnicka, E. & Colombo, L. 2013. Can we use macroinvertebrates as indicators of acidification of high-altitude Alpine lakes? *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 101.
- Stitz, L., Fabbro, L. & Kinnear, S. 2013. Macroinvertebrate Tolerance across a Range of Conductivities in the Isaac River Catchment (Central Queensland). *Water In Mining Conference*, Brisbane.
- Stroud Water Research Center. 2022. Water Quality Mobile App (en línea). WikiWatershed. Disponible en <https://wikiwatershed.org/water-quality-app/>
- Sundermann, A., Lohse, S., Beck, L.A. & Haase, P. 2007. Key to the larval stages of aquatic true flies (Diptera), based on the operational taxa list for running waters in Germany (en línea). *Annales de Limnologie*, 43(1), 61-74. Disponible en <https://doi.org/10.1051/limn/2007028>
- Tampo, L., Kaboré, I., Alhassan, E.H., Ouéda, A., Bawa, L.M. & Djaneye-Boundjou, G. 2021. Benthic Macroinvertebrates as Ecological Indicators: Their Sensitivity to the Water Quality and Human Disturbances in a Tropical River (en línea). *Frontiers in Water*, 3, 108. Disponible en <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.662765>
- Thompson, A. & Mapstone, B. 1997. Observer Effects and Training in Underwater Visual Surveys of Reef Fishes (en línea). *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOLOGICAL PROGRESS SERIES*, 154, 53-63. Disponible en <https://doi.org/10.3354/meps154053>
- Thornhill, I., Loiselle, S., Clymans, W. & Van Noordwijk, C.G.E. 2019. How citizen scientists can enrich freshwater science as contributors, collaborators, and co-creators (en línea). *Freshwater Science*, 38(2), 231-235. Disponible en <https://doi.org/10.1086/703378>
- Thornhill, I., Loiselle, S., Lind, K. & Ophof, D. 2016. The Citizen Science Opportunity for Researchers and Agencies (en línea). *BioScience*, 66(9), 720-721. Disponible en <https://doi.org/10.1093/biosci/biw089>
- Thorp, J.H., & Rogers, D.C. 2011. Midges, Mosquitoes, Blackflies, and Other True Flies (en línea). *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America* (p. 247-260). Elsevier. Disponible en <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381426-5.00027-2>
- Torres-Olvera, M.J., Durán-Rodríguez, O.Y., Torres-García, U., Pineda-López, R.,

- Ramírez-Herrejón, J.P., Torres-Olvera, M.J., Durán-Rodríguez, O.Y., Torres-García, U., Pineda-López, R. & Ramírez-Herrejón, J.P. 2018. Validation of an index of biological integrity based on aquatic macroinvertebrates assemblages in two subtropical basins of central Mexico (en línea). *Latin american journal of aquatic research*, 46(5), 945-960. Disponible en <https://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-8>
- Turin, C. 2021. *Solution Search Water Pollution and Behavior Change* (en línea). Disponible en <https://solutionsearch.org/contests/entry/1047>
- US EPA. s.f. Indicators: Conductivity. Consultado 5 jul. 2022. Disponible en <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>
- USAID & Instituto de Montaña. 2017. Plan de desarrollo de la comunidad campesina «Cordillera Blanca» 2016-2021 Ancash-Recuay/Huaraz (p. 45) (en línea). Disponible en <https://mountain.pe/noticia/asegurando-el-agua-y-los-medios-de-vida-en-la-montana/>
- Vargas Canchanya, D.E. 2017. Adaptación de macroinvertebrados bentónicos a condiciones extremas: Respuesta de biomarcadores de exposición a metales y radiación UV-B en la zona altoandina de la subcuenca Quillcay (Huaraz, Ancash). Tesis Lic. Lima, PE. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 127 p. Disponible en <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/9288>
- VERBI Software GmbH. 2021. MAXQDA (en línea). Disponible en <https://www.maxqda.com/legalinfo>
- Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. 2021. *The Science of Citizen Science* (en línea). Consultado 27 jul. 2022. Disponible en <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. & Bradley, R.S. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future (en línea). *Earth-Science Reviews*, 89(3-4), 79-96. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>
- Walker, D.W., Smigaj, M. & Tani, M. 2021. The benefits and negative impacts of citizen science applications to water as experienced by participants and communities (en línea). *WIREs Water*, 8(1), e1488. Disponible en <https://doi.org/10.1002/wat2.1488>
- Weller, M.O. & Bossart, J.L. 2017. Insect Community Diversity Tracks Degradation and Recovery of a Wastewater Assimilation Marsh in Southeast Louisiana (en línea).

Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13157-017-0897-1>

- West, S. & Pateman, R. 2016. Recruiting and Retaining Participants in Citizen Science: What Can Be Learned from the Volunteering Literature? (en línea). *Citizen Science: Theory and Practice*, 1(2). Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.8>
- West, S., Pateman, R. & Dyke, A. 2021. Variations in the Motivations of Environmental Citizen Scientists. *Citizen Science: Theory and Practice*, 6 (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.5334/cstp.370>
- Wildlife Conservation Society (WCS). 2021. Sistematización de la experiencia ciencia ciudadana en el distrito de Cuyocuyo, Puno.
- Wollmann, K. 2000. Corixidae (Hemiptera, Heteroptera) in acidic mining lakes with $\text{pH} \leq 3$ in Lusatia (en línea), Germany. *Hydrobiologia*, 433(1), 181-183. Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1004051629258>
- Zimmer, A., Brito Rodríguez, M. k, Alegre Oropeza, C., Sánchez León, J. & Recharte Bullard, J. 2018. Implementación de Dos Sistemas de Biorremediación como Estrategia para la Prevención y Mitigación de los Efectos del Drenaje Ácido de Roca en la Cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4, 57-76.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Programa para las actividades de capacitación



**“CASCADA: Cascading impacts of Peruvian glacier shrinkage on biogeochemical cycling and acid drainage in aquatic ecosystems – Toxin or Treat?”
(006-2019 FONDECYT)**

TALLER DE CAPACITACIÓN: USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS PARA LA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Fecha:

8.00-8.20 am	Presentación del proyecto y de sus integrantes
8.20-8.40 am	Presentación de los participantes
8.40-9.20 am	Uso de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua Índices de calidad de agua
9.20-9.40am	Técnicas de muestreo de macroinvertebrados Separación de muestras Uso de cartillas para evaluación de índices ABI (Índice biótico andino)
9.40-10.00am	Ronda de preguntas e intercambio de ideas
10.00- 10.40am	Identificación de macroinvertebrados a través de muestras traídas por expositores
10.40-11.00am	Conclusiones
11.00-12.00 pm	Traslado a quebrada limpia
12.00-12.40pm	Coffee Break
12.40- 2.00 pm	Muestreo e identificación en quebrada limpia
2.00-3.00pm	Regreso a Comunidad

Anexo 2: Guía de identificación de macroinvertebrados



Proyecto "CASCADA: Cascading impacts of Peruvian glacier shrinkage on biogeochemical cycling and acid drainage in aquatic ecosystems – Toxin or Treat?" (006-2019 FONDECYT)

GUÍA DE BIOINDICADORES PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA DEL SANTA-CORDILLERA BLANCA

Esta guía tiene como finalidad utilizar la diversidad de larvas de insectos que habitan en lagunas, ríos y arroyos de la cuenca del Santa (Cordillera Blanca, Ancash) para evaluar la calidad del agua. A continuación se describen los pasos que se deben seguir para ello:

1. Reconocer todos los diferentes tipos de ambientes: sustratos (ramas, hojarasca, rocas, sedimento) y agua (puquios, pozas, rápidos)
 - A. Aguas de poca profundidad, con sustrato de cantos rodados
 - B. Aguas estáticas (puquio) con vegetación acuática
 - C. Aguas rápidas, con sustratos rocosos

- En cada lugar se recomienda elegir la zona de orilla porque es menos profunda, tiene menor corriente de agua y un sustrato más estable.
- El muestreo no debe hacerse en la zona central del río porque es más profunda, la corriente remueve el sedimento y se puede dañar la red.
- A lo largo de la orilla, se selecciona tres lugares diferentes separados 10 metros entre sí.



1

2. En el caso de ríos y arroyos se lava las ramas, hojas y rocas, y se remueve el sedimento con las manos delante de la red. La red se coloca contra la corriente para que las larvas sean arrastradas a su interior. En el caso de puquios se agita la vegetación acuática dentro de la red. Esto se realiza por 10 minutos en los lugares seleccionados.



Red de colecta



Lavado de rocas

3. Armar el juego de tamices colocándolos en orden creciente de tamaño de las rendijas (las más pequeñas abajo y las más grandes arriba). El contenido de la red se coloca en el tamiz superior y se lava varias veces con abundante agua del río usando un balde. Mientras una persona echa el agua, otra lava los tamices con las manos.



4. Revisar los primeros dos tamices y retirar cualquier larva con las pinzas o chupones plásticos. Los últimos dos tamices se voltean sobre una bandeja de plástico blanca y se agrega un poco de agua.



5. Las larvas que se puedan separar a simple vista se colocan en frascos plásticos pequeños con ayuda de pinzas o chupones plásticos. El sobrante de sedimento se guarda en frascos grandes, y se revisa con una lupa en el laboratorio para separar las larvas de la misma forma que en campo.



2

6. Se identifican las larvas con ayuda de las fotos de esta guía. Cada tipo de larva tiene un número (del 1 al 10) que representa su tolerancia o sensibilidad a la contaminación. Cada vez que se encuentra un tipo de larva se anota su número una sola vez, sin importar el número de larvas encontrado.

Por ejemplo, si se encuentran:

- 20 larvas de Chironomidae → 2
- 35 larvas de Simuliidae → 5
- 8 larvas de Baetidae → 4
- 11 larvas de Tabanidae → 4

más sensible



más tolerante

7. Una vez identificados todos los tipos de larvas, se suman los números. En el ejemplo anterior, $2 + 5 + 4 + 4 = 15$. Este número se ubica en un rango de puntajes de calidad de agua de la tabla del Índice Biótico Andino. Por ejemplo, el número 15 se ubica entre 10 y 20, que equivale a una **mala calidad** de agua (color anaranjado).

Rango de puntajes y color según el Índice Biótico Andino (IBA) para la clasificación de calidad de agua (Ríos-Touma et al., 2014)

IBA	Color y Calidad
>74	Excelente
45-74	Buena
27-44	Regular
11-26	Mala
<11	Muy mala

Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62(Abril), 249-273.

3

MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

Los macroinvertebrados son las larvas acuáticas de los insectos que viven en el lugar. Para identificarlos, primero conoceremos el **orden** al que pertenecen, y luego, la **familia**. Según la familia, le asignaremos el puntaje correspondiente. En esta guía, hemos incluido los bichitos más representativos de la Cordillera Blanca, en caso encuentres uno distinto a los mostrados, guárdalo en un frasco con alcohol y envíalo a tu Universidad local.

Conozcamos los órdenes

Am	Ar	C	D
 Amphipoda Son camaroncitos de río. Tienen 10 patitas	 Arachnida Son como garrapatas, con 4 pares de patas	 Coleoptera Tienen un caparazón duro y 3 pares de patas	 Diptera Son gusanos blandos y sin patas verdaderas
E	O	P	T
 Ephemeroptera Con branquias al lado del abdomen y 3 colas	 Oligochaeta Muy similares a los gusanos de tierra	 Plecoptera Antenas y colas largas. No tienen branquias	 Trichoptera Algunos arman casitas. Gusanos con patitas y gancho anal
G			
 Gastropoda Caracoles pequeños			

4

Indicadores de mala a muy mala calidad de agua



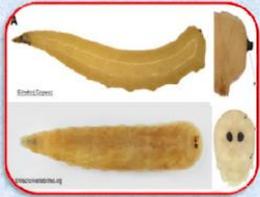
Oligochaeta O,1

Son lombrices de agua. No tienen cabeza visible. Presentan anillos a lo largo del cuerpo.



Chironomidae D,2

Tienen forma de "C". Se mueven muy rápido. Su cabeza es más oscura que su cuerpo. Tiene una "palita" debajo de su cabeza.



Muscidae D,2

No tienen cabeza. Su cuerpo tiene anillos y 2 puntos negros en la parte superior. Tienen protuberancias que parecen patitas cortas. Su cola tiene un punto oscuro.



Physidae G,3

Es un caracol con la abertura hacia el lado izquierdo. Tiene una espiral achatada.

5

Indicadores de regular a mala calidad de agua



Tabanidae D,4

Gusano grueso con anillos que sobresalen alrededor de su cuerpo y termina en una punta.



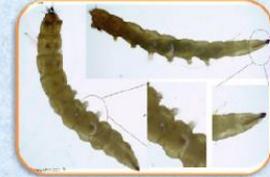
Baetidae E,4

Antenas largas, ojos grandes. Tiene 3 colas. Al lado de su cuerpo tiene branquias en forma de hojas ovaladas.



Ceratopogonidae D,4

Gusano largo y delgado. Su cabeza es más oscura y cola punteaguda.



Empididae D,4

Gusanos largos, con anillos y pequeñas patitas peludas en todo el cuerpo. En la cola tienen una punta oscura.



Hygrobatidae Ar,4

Similar a una garrapata. Tiene 4 pares de patas y 2 puntos que parecen ojos.

6

Indicadores de buena a regular calidad de agua



Tipulidae D,5

Gusano grueso con tentáculos en uno de los extremos. Su cabeza no es visible.



Hydropsychidae T, 5

Bichita que hace su casita de piedras muy finas y forma ovalada. Su cabeza es más oscura que su cuerpo.



Sciridae C,5

Tienen largas antenas. Su cuerpo es alargado o redondito. Tiene placas duras y oscuras en todo el cuerpo y 3 pares de patitas.



Hyalellidae Am,4

Son como pequeños camaranchos de color rojo, una vez en alcohol se tornan blancos. Posee 2 antenas largas sobre su cabeza.



Simuliidae D,5

Gusano con un extremo grueso en forma de globo. La cabeza tiene unos patitos a los lados y una patita debajo.



Elmidae C,5

De cuerpo alargado, con placas en todo su cuerpo ("armazón") y duros al tacto. Tienen 3 pares de patitas.

7

Indicadores de buena a excelente calidad de agua



Leptoceridae T, 8

Casi siempre los encuentran en su casita construida de partículas finas, con forma de tubo largo y delgado. Sus patitas sobresalen de su casa y su cuerpo es blando.



Hydrobiosidae T, 8

No tienen casita. Su cabeza y la primera placa son más oscuras que su cuerpo. Sus patas delanteras tienen una "pinza" como cangrejo y tienen unas garritas en su cola.

8



Leptophlebiidae T, 10
 Su cabeza es ancha y con patas gruesas. Sus branquias son puntilagudas y, en algunos casos, parecen hojas. Tiene 3 colitas largas.



Limnephilidae T, 7
 Su casa está hecha de piecitas. Su cabeza es más oscura que el cuerpo y tiene grupos de pelitos en cada pliegue.



Gripopterygidae P, 10
 Tiene antenas largas, 3 pares de patitas, y cuerpo alargado. Tiene 2 colas largas con pelitos en el medio.



Perlidae P, 10
 Antenas largas y 3 pares de patitas. Su cuerpo tiene 3 segmentos ovalados con pelitos a los lados. No tiene pelitos en la cola.



Blephariceridae D, 10
 Tiene 6 divisiones en su cuerpo. En cada uno de estos segmentos tiene pelitos a los extremos y hacia su panza tiene unos discos negros al centro (los usan para adherirse a las rocas)

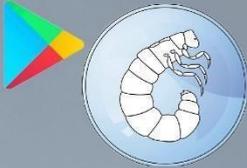
Elaborada por
 Raúl Loayza Muro, Fiorella La Matta Romero y Vanessa Arévalo Seijas
 Laboratorio de Ecotoxicología – Facultad de Ciencias y Filosofía
 Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima (2021)
 Email: raul.loayza@upch.pe /
 fiorella.lamatta@upch.pe/vanessa.arevalo@upch.pe

Fotografías por Vanessa Arévalo, Fiorella La Matta, Karen Velásquez y Andrea Bustamante

Anexo 3: Tutorial de uso de aplicativo móvil Aqua Biosmart

Aplicativo móvil Aqua BioSmart

PASO 1



Descárgalo gratis desde Google Play Store para Android. Acepta el permiso de UBICACIÓN



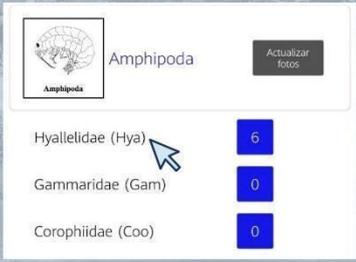
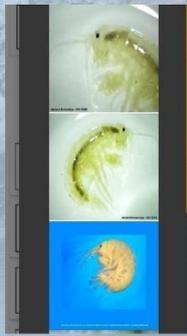
PASO 2




En OPCIONES, seleccionar **SIERRA**. Luego, ir a EVALUACIÓN y AGREGAR FAMILIAS. A continuación, obtendremos una lista de Ordenes. Damos click en **ACTUALIZAR FOTOS** en cada Orden.

PASO 3

Identificamos las características del macro encontrado (ej. parece un camarón, tiene 3 colas, antenas cortas, etc), y seleccionamos el Orden más parecido. Aparecerá una lista de familias. Al hacerle click al **NOMBRE** de la familia podremos visualizar fotos.

PASO 4




Una vez confirmado el macro, hacemos click en el **NÚMERO** al lado del nombre de la familia. El puntaje IBA se agregará automáticamente a una calculadora. Seguimos agregando las familias encontradas y obtendremos el puntaje total con el color correspondiente a la calidad de agua.

Anexo 4: Encuesta #1 para participantes del taller de capacitación en identificación de macroinvertebrados y cálculo de calidad de agua según índice IBA en la comunidad campesina Cordillera Blanca

Encuesta N°1 para participantes del taller de capacitación #1 en identificación de macroinvertebrados y cálculo de calidad de agua según índice IBA en la C.C. Cordillera Blanca.

Fecha: _____

N° de encuesta: _____

Buenos días/tardes. Mi nombre es Vanessa Arévalo, tesista de Maestría en Gestión de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Deseo hacerle unas preguntas acerca de que le pareció el primer taller.

¿Usted está de acuerdo para contestar algunas preguntas, que sólo le tomará 5 minutos de su tiempo? (SI/NO) _____

1. ¿Conocía sobre el uso de macroinvertebrados en el análisis de calidad de agua?
Sí_ No_
2. Del 1 al 5 (siendo 1 “fácil” y 5 “difícil”) ¿Qué nivel de dificultad encontró usted en el muestreo de macroinvertebrados? _____
3. Del 1 al 5 (siendo 1 “fácil” y 5 “difícil”) ¿Qué nivel de dificultad encontró usted la identificación de macroinvertebrados? _____
4. Del 1 al 5 (siendo 1 “fácil” y 5 “difícil”) ¿Qué nivel de dificultad encontró usted el análisis de calidad de agua según el índice IBA? _____
5. ¿Cree que esta metodología es útil para el análisis de calidad de agua?
Sí_ /No_
6. ¿Aplicaría esta metodología para analizar la calidad en otra fuente de agua? Si_ No_
7. ¿Le enseñaría a calcular calidad de agua según índice IBA a algún amigo/familiar/compañero de trabajo? Sí_ No_
8. ¿Cuál fue su mayor dificultad al hacer el análisis de calidad de agua?

9. ¿Qué le gustaría ver en próximos talleres?

Muchas gracias por su tiempo

Anexo 5: Encuesta #2: Uso del aplicativo móvil Aqua Biosmart

Encuesta #2: Evaluación de capacitación del aplicativo Aqua Biosmart

Fecha:

Encuesta:

Buenos días, me gustaría hacerle una encuesta sobre el aplicativo Aqua Biosmart. Califique las siguientes preguntas del 1 al 5, donde 1 sea "Muy fácil/Muy útil" y 5 sea "Muy difícil/Nada útil".

Nº	Preguntas	1	2	3	4	5
1	¿Cómo calificaría el uso de la app Aqua Biosmart?					
2	¿Qué tan útil le ha parecido la app Aqua Biosmart?					
3	¿Cómo calificaría la identificación a través de las fotografías de la app Aqua Biosmart?					
4	¿Cómo calificaría usted la interpretación del resultado final de la calidad de agua en Aqua Biosmart?					
5	¿Qué tan satisfecho se siente respecto a la capacitación en la app?					

6. ¿Usaría la app Aqua Biosmart para el monitoreo de cuerpos de agua? Sí _____/No _____

7	¿Cuáles cree usted que son las ventajas para usar la app Aqua Biosmart?	a. Facilidad de uso	
		b. Simplificación de monitoreo (herramienta completa)	
		c. Fácil de entender	
		d. Imágenes que facilitan la identificación	
		e. Otro	
8	¿Cuáles cree usted que son las limitaciones para usar la app Aqua Biosmart?	a. Contar con un smartphone/teléfono inteligente	
		b. Conectividad a Internet	
		c. Sistema operativo (Android/IOS)	
		d. Manejo correcto de la app	
		e. Otros	

Muchas gracias por su tiempo

Anexo 6: Encuesta #3: Percepciones en ciencia participativa, conciencia ambiental, educación y gestión

Encuesta #3: Percepciones en ciencia participativa, conciencia ambiental, educación y gestión

Fecha:

Código:

Buenos días, me gustaría hacerle una encuesta anónima sobre sus percepciones del proyecto.

Sobre el participante:

Nivel de estudios:	Rango de edad	Acceso a la tecnología móvil	Sí	No
Primaria completa	60-69	Cuenta con un teléfono inteligente		
Primaria incompleta	50-59	Tiene acceso a internet en su teléfono		
Secundaria completa	40-49	Pudo descargarse Aqua Biosmart		
Secundaria incompleta	30-39	Sexo	Rol en la comunidad	
Carrera técnica	20-29			
Universitaria	menos de 20	Masculino	Ocupación	

Componente	Nº	Pregunta	Respuesta
CIENCIA PARTICIPATIVA	1	Previo al proyecto, ¿Conocía el término ciencia participativa? Sí/No	
	2	Del 1 al 5 (siendo 1 muy satisfecho y 5 nada satisfecho, ¿Qué tan satisfecho se siente en haber participado en un proyecto de ciencia participativa?	
	3	Del 1 al 5 (siendo 1 muy interesado y 5 nada interesado, ¿Cuál es su grado de interés de participar en otro proyecto de ciencia participativa?	
CONCIENCIA AMBIENTAL	4	¿Su participación en el proyecto tuvo algún impacto en su percepción del ambiente y cambio de costumbres? Mucho, poco o nada	
	5	¿Su experiencia en el proyecto incremento su motivación por monitorear otras fuentes de agua de su localidad?	
EDUCACIÓN	6	¿La experiencia realizada lo motivo a buscar información sobre contaminación acuática u otros temas relacionados?	
	7	A partir de su experiencia ¿Siente que ha aprendido alguna nueva habilidad? En caso sea Si la respuesta, explicar cuál fue	
	8	Estaría interesado/a en enseñar este método a otras comunidades?	
GESTIÓN	9	¿Usted considera que esta metodología beneficia a la comunidad? Si_ No__ ¿por qué?	
	10	¿Usted considera que esta metodología beneficia a la conservación? Si__ No__ ¿Por qué?	
	11	¿Usted considera que este método de evaluación pueda usarse para futuras gestiones y planeamientos sobre el uso del agua en su comunidad? Sí/No En caso conteste si, ¿Cómo aplicaría esta metodología en la gestión?	
	12	¿En qué otras circunstancias creen que podría utilizar esta nueva metodología?	
	13	¿Usted cree que es importante compartir la información recabada con organismos con la capacidad de toma de decisiones (ej. Gobiernos regionales, ANA, INAIGEM, etc)? SI__ NO__ ¿Por qué?	

Anexo 7: Encuesta #4: Encuesta de satisfacción en la capacitación a alumnos de la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo

Encuesta de satisfacción en la capacitación por parte de la comunidad Cordillera Blanca

Esta encuesta tiene como objetivo calificar la capacitación por parte de los miembros de la comunidad Cordillera Blanca en el muestreo, identificación de macroinvertebrados y uso del aplicativo AquaBiosmart

1. En general, ¿Cómo calificaría el taller de capacitación en evaluación de calidad de agua por parte de la Comunidad Cordillera Blanca?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy Buena	<input type="radio"/>	Muy Mala				

2. ¿Qué tan claras fueron las explicaciones del instructor?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Extremadamente claras	<input type="radio"/>	Para nada claras				

3. En general, califique el dominio del tema por parte de los instructores

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy Buena	<input type="radio"/>	Muy Mala				

4. ¿Cómo calificarías la capacitación en el MUESTREO de macroinvertebrados de parte de los instructores?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy Buena	<input type="radio"/>	Muy Mala				

5. ¿Cómo calificarías la capacitación en la IDENTIFICACIÓN de macroinvertebrados por parte de los instructores?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy Buena	<input type="radio"/>	Muy Mala				

6. ¿Cómo calificarías la capacitación en el aplicativo AquaBiosmart por parte de los instructores?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy Buena	<input type="radio"/>	Muy Mala				

7. ¿Qué tan útil considera lo aprendido en el taller para tu desarrollo personal o profesional?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy útil	<input type="radio"/>	Nada útil				

Anexo 8: Fotografías de zonas de muestreo

Zona: SacracanCHA		
P1	P2	P3
		
P4	P5	P6
		

Zona: Shillacancha

P7



P8



P9



P10



P11



P12



Anexo 9: Lista de familias de macroinvertebrados y sus puntajes por cada punto de muestreo

MES	Puntos de muestreo	Familias	Riqueza	Puntaje IBA	Índice IBA	Calidad de agua
SETIEMB RE	P1	Hyalellidae	12	6	56	BUENA
		Corixidae		5		
		Chironomidae		2		
		Leptoceridae		8		
		Baetidae		4		
		Gripopterygidae		10		
		Planariidae		5		
		Hirudinea		3		
		Sphaeriidae		3		
		Limoniidae		4		
		Oligochaeta		1		
		Elmidae		5		
	P2	Hyalellidae	10	6	52	BUENA
		Gripopterygidae		10		
		Baetidae		4		
		Chironomidae		2		
		Oligochaeta		1		
		Hydrobiosidae		8		
		Elmidae (adultos)		5		
		Planariidae		5		
		Corixidae		5		
		Aeshnidae		6		
		P3		Hirudinea		
	Chironomidae		2			
	Hyalellidae		6			
	Limnephilidae		7			
	Corixidae		5			
	Leptoceridae		8			
	P4	Simuliidae	8	5	41	REGULAR
		Planariidae		5		
		Hyalellidae		6		
		Baetidae		4		
Leptophlebiidae		10				
Tipulidae		5				
Dolichopodidae		5				
Chironomidae		2				

	P5	Hyaellidae	10	6	49	BUENA
		Hydracarina		4		
		Elmidae		5		
		Chironomidae		2		
		Simuliidae		5		
		Tabanidae		4		
		Leptophlebiidae		10		
		Oligochaeta		1		
		Leptoceridae		7		
		Planariidae		5		
		P6		Sphaeriidae		
	Muscidae		2			
	Baetidae		4			
	Hirudinea		3			
Aeshnidae	6					
Planariidae	5					
Leptophlebiidae	10					
NOVIEM BRE	P7	Oligochaeta	4	1	16	MALA
		Planariidae		5		
		Hyaellidae		6		
		Baetidae		4		
	P8	Hyaellidae	7	6	31	REGULAR
		Limnephilidae		7		
		Corixidae		5		
		Chironomidae		2		
		Oligochaeta		1		
		Baetidae		4		
		Hydroptilidae		6		
	P9	Baetidae	8	4	35	REGULAR
		Hydropsychidae		5		
		Chironomidae		2		
Hyaellidae		6				
Limnephilidae		7				
Elmidae		5				
Planariidae		5				
Oligochaeta		1				
MAYO	P10	Hyaellidae	9	6	40	REGULAR
		Elmidae		5		
		Chironomidae		2		
		Limoniidae		4		
		Simuliidae		5		
		Baetidae		4		

	Corixidae		5		
	Hirudinea		3		
	Aeshnidae		6		
P11	Hyalellidae	8	6	36	REGULAR
	Hydracarina		4		
	Elmidae		5		
	Chironomidae		2		
	Simuliidae		5		
	Oligochaeta		1		
	Hydrobiosidae		8		
	Planariidae		5		
P12	Hyalellidae	6	6	28	REGULAR
	Tabanidae		4		
	Simuliidae		5		
	Corixidae		5		
	Hirudinea		3		
	Dugesidae		5		

Anexo 10: Lista de puntajes según el Índice Biótico Andino

60

Acosta *et al.*

Anexo 7. Propuesta para el Índice Biótico Andino (ABI) para evaluar la calidad del agua de los ríos andinos. *Proposal for the Andean Biotic Index ABI to evaluate water quality in Andean Streams.*

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

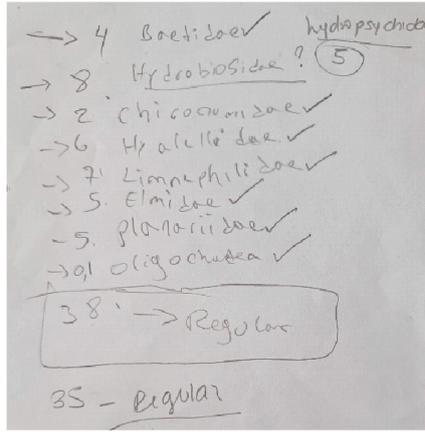
FUENTE: Acosta *et al.* (2009)

Anexo 11: Eficacia de identificación talleres de evaluación

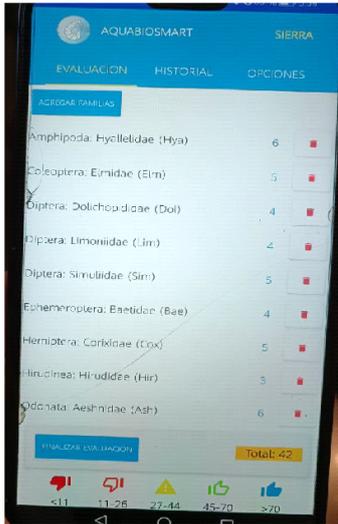
Eficacia de identificación Taller III

<p>Shillacancha Oligochaeta 1 ✓ Planariidae 5 ✓ Hyallellidae 6 ✓ Baetidae 4 ✓ <hr/> 16/16 ✓ App Mala</p>	<p>AQUA BIOSMART SIERRA</p> <p>Evaluación Historial Configuración</p> <p>+ Agregar familia</p> <p>Oligochaeta: (Todas) 1 Amphipoda: Hyallellidae (Hya) 6 Turbellaria: Planariidae (Pla) 5 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4</p> <p>Finalizar Evaluación Total: 16</p> <p><11 11-26 27-44 45-70 >70</p>
<p>Resultados P7</p>	<p>Resultados aplicativo P7</p>

<p>Rio Cajumbanda Hyallellidae 6 ✓ Limnephilidae 7 ✓ Corixidae 5 ✓ Chironomidae 2 ✓ Oligochaeta 1 ✓ Baetidae 4 ✓ Hydroptilidae 5 1 6 ✓ <hr/> 30 / 31 ✓ App Regular</p>	<p>AQUA BIOSMART SIERRA</p> <p>Evaluación Historial Configuración</p> <p>- Agregar familia</p> <p>Amphipoda: Hyallellidae (Hya) 6 Hemiptera: Corixidae (Cox) 5 Trichoptera: Limnephilidae (Lim) 7 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4 Trichoptera: Hydroptilidae (Hyp) 6 Diptera: Chironomidae (Chi) 2 Oligochaeta: (Todas) 1</p> <p>Finalizar Evaluación Total: 31</p> <p><11 11-26 27-44 45-70 >70</p>
<p>Resultados P8</p>	<p>Resultados aplicativo P8</p>

 <p> → 4 Baetidae ✓ <i>Hydropsychidae</i> → 8 Hydrobiosidae? (5) → 2 Chironomidae ✓ → 6 Hyalellidae ✓ → 7 Limnephilidae ✓ → 5 Elmidae ✓ → 5 Planariidae ✓ → 01 Oligochaeta ✓ 38 → Regular 35 - Regular </p>	 <p> AQUABIOSMART SIERRA EVALUACION HISTORIAL OPCIONES AGREGAR FAMILIAS Amphipoda: Hyalellidae (Hya) 6 Coleoptera: Elmidae (Elm) 5 Diptera: Chironomidae (Chi) 2 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4 Oligochaeta: (Todas) 1 Trichoptera: Hydropsychidae (Hyd) 5 Trichoptera: Limnephilidae (Lim) 7 Turbellaria: Planariidae (Pla) 5 Total: 35 <11 11-26 27-44 45-70 >70 </p>
Resultados P9	Resultados aplicativo P9

Eficacia de identificación Taller IV

 <p> AQUABIOSMART SIERRA EVALUACION HISTORIAL OPCIONES AGREGAR FAMILIAS Amphipoda: Hyalellidae (Hya) 6 Coleoptera: Elmidae (Elm) 5 Diptera: Dolichopididae (Dol) 4 Diptera: Limoniidae (Lim) 4 Diptera: Simuliidae (Sim) 5 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4 Hemiptera: Corixidae (Cox) 5 Hirudinea: Hirudidae (Hir) 3 Odonata: Aeshnidae (Ash) 6 Total: 42 <11 11-26 27-44 45-70 >70 </p>	 <p> AQUABIOSMART SIERRA EVALUACION HISTORIAL OPCIONES AGREGAR FAMILIAS Amphipoda: Hyalellidae (Hya) 6 Coleoptera: Elmidae (Elm) 5 Diptera: Dolichopididae (Dol) 4 Diptera: Limoniidae (Lim) 4 Diptera: Simuliidae (Sim) 5 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4 Hemiptera: Corixidae (Cox) 5 Hirudinea: Hirudidae (Hir) 3 Odonata: Aeshnidae (Ash) 6 Total: 42 <11 11-26 27-44 45-70 >70 </p>	 <p> AQUABIOSMART SIERRA EVALUACION HISTORIAL OPCIONES AGREGAR FAMILIAS Amphipoda: Hyalellidae (Hya) 6 Coleoptera: Elmidae (Elm) 5 Diptera: Chironomidae (Chi) 2 Diptera: Limoniidae (Lim) 4 Diptera: Simuliidae (Sim) 5 Ephemeroptera: Baetidae (Bae) 4 Hemiptera: Corixidae (Cox) 5 Hirudinea: Hirudidae (Hir) 3 Odonata: Aeshnidae (Ash) 6 Total: 40 <11 11-26 27-44 45-70 >70 </p>
P10 IBA	Resultados P10	Resultados corregidos P10

P11 IBA	Resultados P11	Resultados corregidos P11

P12 IBA	Resultados P12	Resultados corregidos P12

Anexo 12: Asistencia Taller I



REGISTRO DE ASISTENCIA: TALLER DE CAPACITACIÓN #1: USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS PARA LA EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Nombres y apellidos	DNI	Sector	Institución	Ocupación	Celular	Firma
Maria Rodriguez Macedo	31641061					[Firma]
Robert Batavarca	46587993	CC Cordillera Blanca				[Firma]
Fredy Cruz Tamayo	42019488	CC - CB				[Firma]
Guillermo Paucar	32644480	CC CB				[Firma]
Giovanni Lopez Molina	74047945	-	INABEM	Practicante	943817565	[Firma]
Alex Tabares Mendez	08716175	-	Huaraz	conductor		[Firma]
Juan Julio Cruz Jaramillo	16027424	-				[Firma]
Delia Rodriguez B.	32694370	CB				[Firma]
Vicente Ricardo Salvador	32642621	CB				[Firma]
Fiorella Lallata Romero	70439703	-	UPCH	Bióloga		[Firma]
Vanessa Nevado Seysis	72544348	-	UPCH	Bióloga		[Firma]

Fecha:
PROYECTO CASCADA

Anexo 13: Asistencia Taller II



REGISTRO DE ASISTENCIA: TALLER DE CAPACITACIÓN #2: APLICATIVO MÓVIL AQUABIOSMART

Nombres y apellidos	DNI	Sector	Institución	Ocupación	Celular	Firma
Neymar Balabarca León		Cordillera Blanca				
Marjette Alvarado León		Cordillera Blanca				
Ebberly Balabarca León		Cordillera Blanca				
Delia Rodríguez Macedo	32644370	Cordillera Blanca				[Firma]
Frustran Cruz de Balabarca	316416616	Cordillera Blanca				[Firma]
Maria Rodríguez Macedo	31641061	Cordillera Blanca				[Firma]
Simena Grandos Bustamante		Cordillera Blanca				
Yali Bustamante Rodríguez		CB				
Alba ROSTANTE Rodríguez		CB				
Percy Cruz Tamara	32644398	CB				[Firma]
Lizet León Tiluca	43530558	CB				[Firma]
Gerónimo Salvador Cruz	32642140	CB				[Firma]
Fernando H. Calderón Quispe	73148092	CB	INAI GEM	Biologo	931711911	[Firma]
Adriana Cabelero Bedriñana	31668713	DIG	INAIGEM	Ing. Civil	943252241	[Firma]
Janina Bustamante Huanda	42237210	DIGC	INAIGEM	Ing. Agronomía	941100150	[Firma]
Lucas A. Espinoza Alamo	31678059	Cordillera Blanca			943813238	[Firma]
Versaño R. Cruz Tamara	80220800	Cordillera Blanca			942351034	[Firma]
Robert Balabarca Cruz	46587483	Cordillera Blanca		Presidente	901227939	[Firma]
Walter Torres Caracas	7121620	DIGC	INAIGEM	Geofísico	993071967	[Firma]

Fecha: 15 octubre 2021.

PROYECTO CASCADA

Anexo 14: Constancia de entrega de kits de muestreo e identificación



"CASCADA: Cascading impacts of Peruvian glacier shrinkage on biogeochemical cycling and acid drainage in aquatic ecosystems – Toxin or Treat?" (006-2019 FONDECYT)

Constancia de entrega de materiales para identificación de macroinvertebrados bentónicos

Se realiza la entrega de 4 "kits" para el muestreo e identificación de macroinvertebrados bentónicos a la Comunidad Cordillera Blanca en el marco del proyecto CASCADA.

Cada kit cuenta con:

- 1 bandeja de plástico blanca
- 1 lupa
- 2 pinzas
- 1 colador
- 4 pipeta Pasteur
- 1 Frasco de 1 Litro
- 2 frascos pequeños

En total, se entrega:

- 4 bandejas de plástico blancas
- 4 lupas
- 8 pinzas
- 4 coladores
- 16 pipeta Pasteur
- 4 Frascos de 1 Litro
- 8 frascos pequeños

Nombre: Robert Galbarca Cruz
DNI: 76587483
Representante Comunidad Cordillera Blanca
C.C. CORDILLERA BLANCA
Robert Galbarca Cruz
DNI 44587483
PRESIDENTE

FIRMA

Nombre: Raúl A. Loayza Muro
DNI: 10149687
Representante proyecto CASCADA
Raúl A. Loayza Muro

FIRMA

Ancash, Viernes 15 de septiembre de 2021

Anexo 15: Asistencia Taller III



REGISTRO DE ASISTENCIA: TALLER DE CAPACITACIÓN #3: Uso de AquaBioSmart en campo

Nombres y apellidos	DNI	Sector	Institución	Ocupación	Celular	Firma
Fran/ Trinidad Villa corca	97745889	—			919 10 6210	[Firma]
OROPISZO WILLY P. GARCIA	51623696				966 184665	[Firma]
Gerónimo Salvador Cruz	32692140	Cordillera Blanca	—	—	—	[Firma]
Evsebio Rojas	32691536	Cordillera Blanca	—	—	—	[Firma]
Glorina Castromonte Miranda	92237810		WDIGEM			[Firma]
Beatriz Leon Julca	32694882	Cordillera Blanca	—	—	—	[Firma]
Gean pierre Sigifredo Leon	—	Cordillera Blanca				[Firma]
Florella La Horta Romero	70439703	Lima	UPCH	Bióloga	967719206	[Firma]
Raul Loayza Muro	10149687	Lima	UPCH	Biólogo	959164911	[Firma]
Vanessa Nevado Seijas	72544348	Lima	UPCH	Bióloga	94357788	[Firma]

Fecha: 26/11/21
 PROYECTO CASCADA

Anexo 16: Asistencia Taller IV



REGISTRO DE ASISTENCIA: TALLER DE CAPACITACIÓN #4

Nombres y apellidos	DNI	Sector	Institución	Ocupación	Celular	Firma
Oscar Basseto Sanchez	31612449		IPAIGEY	conductor	943325111	[Firma]
Walter Martin Leyva Molina	45202692		INAIGEM	asesor	954175641	[Firma]
Rosari Taboada Hermosa	46455939		INAIGEM	asesor	949972877	[Firma]
Brian Williams	4817177		INAMGEM	PS	94147170	[Firma]
Robert Galvarraga Cruz	46582483		Ciudad Blanca	presidente	90227974	[Firma]
Rodriguez Roque Eloy	75071816		UNASAM	Estudiante	732264154	[Firma]
Cabello Laveriano Ely	72850195		UNASAM	Estudiante	921247823	[Firma]
Wilfredo Mafuina Nievas	75816514		UNASAM	Estu.	977846939	[Firma]
Leante Cadenas Samil	71304481		UNASAM	Estudiante	967357893	[Firma]
Mayer Adriano Luna	75257530		UNASAM	Estudiante	928406402	[Firma]
Thania Mejhuay Trinidad	75230501		UNASAM	Estudiante	925586146	[Firma]
Diaz Perez Sonia	71652298		UNASAM	Estudiante	920561513	[Firma]
Antigua Luis Gayli	73534828		UNASAM	Estudiante	921968200	[Firma]
Beatriz Cacha Morales	76296603		UNASAM	Estudiante	970058640	[Firma]
Tatiana Melany Bernabé Hernández	75731245		UNASAM	Estudiante	947076437	[Firma]
Asencios Cueva Thakeline Jhanira	71458437		UNASAM	Estudiante	971044322	[Firma]
Castillo Solas Lucia Antonia	2010606031		UNASAM	Estudiante	901002834	[Firma]
Brisson Heidi	14087881		FRANCIA	Profesora	+330685605230	[Firma]
Eduin Pascual Cadenas	31674597		UNASAM	Profesor	966550970	[Firma]
Deja Rodriguez Nacido	32644370		C. Cordillera			[Firma]
Nana Rodriguez Nacido	31641061		C. Cord.			[Firma]
Francoisa Cruz de Babarica	31640626		C. Cor			[Firma]

Fecha: 17/05/22



REGISTRO DE ASISTENCIA: TALLER DE CAPACITACIÓN #4

Nombres y apellidos	DNI	Sector	Institución	Ocupación	Celular	Firma
Beatriz Maribel Leon Juica	32644882	C. Cordiller	UNASAM		944957069	<i>[Signature]</i>
Tehana Isabel Rojas Flores	70004093		UNASAM	EDU.	946688097	<i>[Signature]</i>
Daniella Padilla Castano	71477480		UNASAM	ESTU.	939767015	<i>[Signature]</i>
Edith Rojas Marques	73618916		UNASAM	ESTU.	921887476	<i>[Signature]</i>
Madelin Quila Flores	76095439		UNASAM	ESTU.	979180364	<i>[Signature]</i>
Indira Aroca Valdeirama	73639107		UNASAM	ESTU.	900257348	<i>[Signature]</i>
Ricardo Felix Castillo	74025671		UNASAM	ESTU.	928276769	<i>[Signature]</i>
IVIN CRISTO MAR ALEJANDRO	70114307		UNASAM	ESTU.	929077629	<i>[Signature]</i>
FLORES GARCIA RODOLFO	76706695		UNASAM	ESTU.	939102517	<i>[Signature]</i>
LEON ROMERO FLORENA	71795193		UNASAM	ESTU.	9131914967	<i>[Signature]</i>
HUAMAN ABULAZ LORALO	75496791		UNASAM	ESTU.	901781280	<i>[Signature]</i>
QUISPE ROSALES GINA	75882317		UNASAM	ESTU.	970195629	<i>[Signature]</i>
ALVARADO RAMOS KARLA	72430938		UNASAM	ESTU.	959847997	<i>[Signature]</i>
Jhayra Sandra Sepa Torres	7277310		UNASAM	ESTU.	946056161	<i>[Signature]</i>
Jimmy Inocencio Araya Albornoz	74311066		UNASAM	ESTU.	992778635	<i>[Signature]</i>

Fecha: 17/05/22

Anexo 17: Modelo de certificado de participación



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Certificado de participación

Se agradece su destacada participación en el estudio “Aplicación de tecnología móvil en el monitoreo biológico de calidad de agua: un caso de ciencia participativa en la comunidad Cordillera Blanca” durante agosto a noviembre de 2021, financiado por el Proyecto CASCADA: Cascading impacts of Peruvian glacier shrinkage on biogeochemical cycling and acid drainage in aquatic ecosystems – Toxin or Treat?” (006-2019 FONDECYT; Fondo Newton – Paulet).

Los invitamos a seguir participando en la conservación de ecosistemas acuáticos en su comunidad y en la cuenca del río Negro.

Raúl Loayza Muro
Director Proyecto CASCADA

Vanessa Arévalo Seijas
Tesisista Proyecto CASCADA

Fiorella La Matta Romero
Asistente Proyecto CASCADA

Canrey Chico, 24 de febrero de 2022

Anexo 18: Galería fotográfica



Capacitación para el Comité de Usuarios Shallap-Huapish-Toclla (agosto 2019)



Práctica de identificación de macroinvertebrados Comité de Usuarios Shallap-Huapish-Toclla (agosto 2019)



Talleres de capacitación comunidad campesina Cordillera Blanca (setiembre 2021)



Muestreo de macroinvertebrados



Uso de coladores y selección de macroinvertebrados en bandeja



Identificación de macroinvertebrados usando guías y aplicativo Aqua Biosmart



Identificación de macroinvertebrados a través del aplicativo Aqua Biosmart



Encuestas realizadas por tesista Vanessa Arévalo



Entrega de material de difusión y certificados de participación.