DIAGNÓSTICO

Vertientes altoandinas

ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESCENTRALIZADA "TAITA IMBABURA"

4

DICIEMBRE 2024 |

Consorcio para la Gestión del Área Ecológica para la Conservación “Taita Imbabura” (CTI)

Imbabura - Ecuador

Miembros del Consorcio:

GAD Provincial de Imbabura

GAD Municipal de Ibarra

GAD Municipal de Antonio Ante

GAD Municipal de Otavalo

https://www.consorciotaitaimbabura.gob.ec/

Generalidades

En el año 2012, mediante ordenanzas emitidas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales de Antonio Ante, Ibarra y Otavalo, se declaró el Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura (Acuerdo Ministerial N.º 33). Aunque durante los años posteriores no se implementaron visiblemente medidas de gestión concretas, esta declaratoria constituyó un hito fundamental al reconocer formalmente la relevancia ecológica de la zona. Representó, además, el inicio de un proceso orientado a la conservación del ecosistema del Taita Imbabura.

En 2018, la administración del área fue asumida por el Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura (CTI), lo que dio paso a la implementación de acciones enfocadas en el fortalecimiento de una gestión integrada y colaborativa. Posteriormente, en 2021, el área fue incorporada al Subsistema Autónomo Descentralizado del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), bajo el nombre de Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” (APADTI), con una extensión de 3.717,48 hectáreas (MAATE, 2021).

Cuerpos de agua del volcán Cubilche ubicado en la zona de amortiguamiento

Presentación

La serie *Diagnósticos* constituye un trabajo exploratorio desarrollado en el Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura (APADTI), orientado a subsanar la limitada disponibilidad de información previa sobre las condiciones ecológicas de sus principales ecosistemas: páramo, matorral y bosque de Polylepis. Mediante un enfoque multidisciplinario que combina investigaciones de campo, análisis geoespacial y revisión de literatura científica especializada, este estudio busca ofrecer una visión integral sobre el estado de conservación del volcán Taita Imbabura.

El diagnóstico de vertientes tiene como objetivo analizar la calidad del agua de la mayoría de vertientes identificadas y gestionadas por Juntas Administradoras de Agua Potable en el Área Protegida y su zona de amortiguamiento mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Este proceso se realizó en dos fases; en la fase I se muestrearon 4 vertientes y la laguna Yakumama en noviembre del 2024 y la fase II se realizó en julio del 2025 en 6 vertientes, la laguna de Cubilche y dos vertientes ubicadas en la zona de amortiguamiento. Este diagnóstico constituye un insumo fundamental para comprender la dinámica y estado del agua, con esta información orientar acciones de manejo adaptativo y fortalecimiento de la gobernanza territorial en conjunto con las Juntas Administradoras de Agua Potable.

Entendiéndose que la generación de información sobre la calidad del agua es esencial para fortalecer los procesos de conservación. Además de garantizar la disponibilidad y potabilidad del recurso, contribuye a preservar el equilibrio ecológico en un contexto marcado por amenazas como el cambio climático y las presiones antropogénicas. Esta línea de investigación constituye, por tanto, una base técnica para el diseño de estrategias de manejo sostenible del agua en el Área Protegida Taita Imbabura.

Sobre los puckyos o vertientes

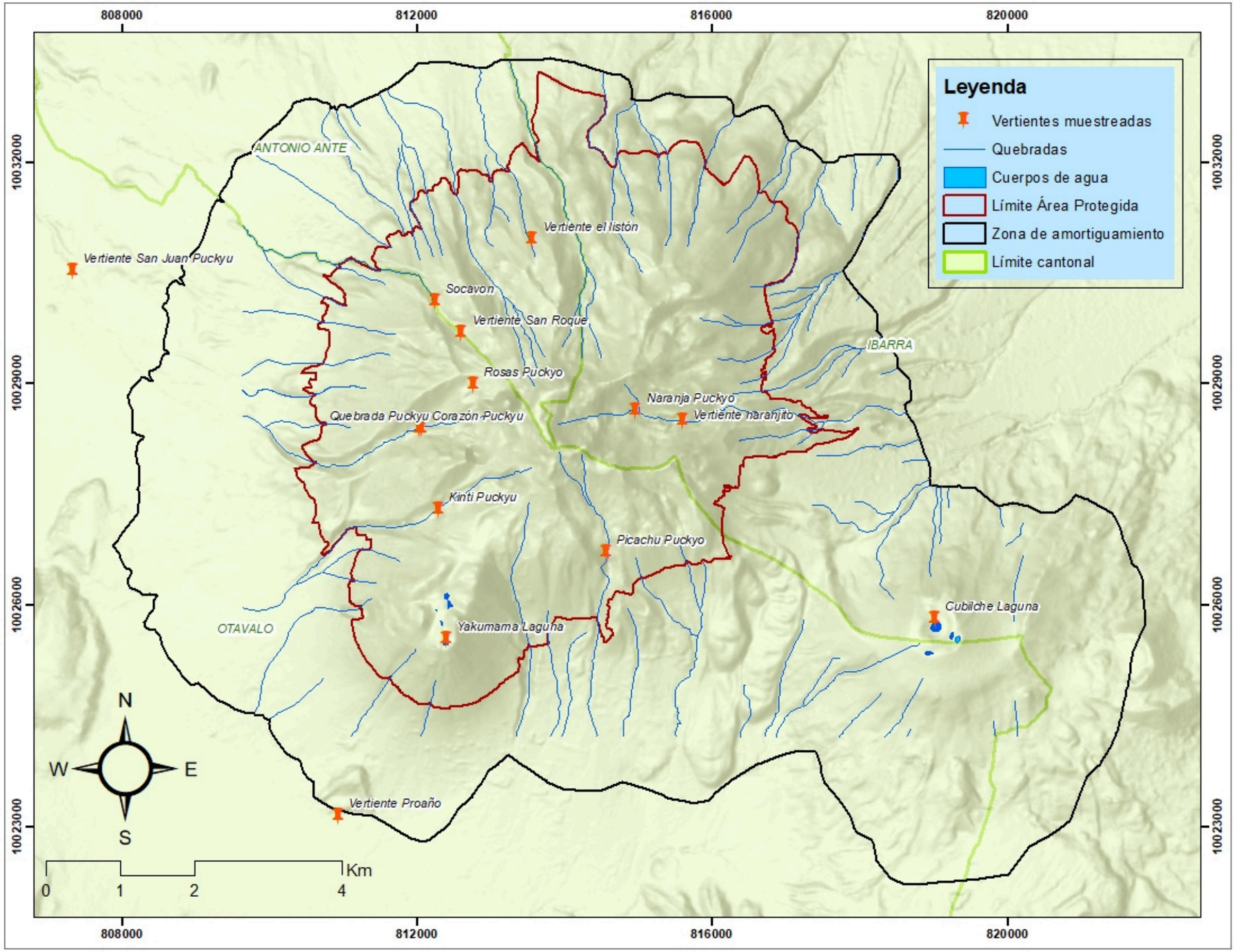
La información sobre la calidad del agua en el páramo del Taita Imbabura es escasa, lo cual se alinea con una tendencia general en los estudios hidrológicos de los Andes. Aunque en las últimas tres décadas se han desarrollado investigaciones sobre los recursos hídricos de los ecosistemas altoandinos, estas se han concentrado principalmente en los páramos del sur del Ecuador (Mosquera, et al., 2023). En este contexto, no resulta sorprendente la falta de datos específicos sobre las vertientes de agua en el Taita Imbabura. La información generada a través del presente estudio representa un primer esfuerzo para evaluar la calidad del agua y comprender su dinámica en esta área protegida.

En el Taita Imbabura, las captaciones de agua se localizan a más de 3.000 m.s.n.m., en el páramo. Estas vertientes, conocidas como puckyos u "ojitos de agua" en kichwa, conforman sistemas hidrológicos de alta relevancia ecológica y cultural. **Su origen se atribuye a la interacción entre la precipitación, los procesos de infiltración y la acumulación de agua por deshielos históricos.**

Las aguas que emergen de estas vertientes alimentan quebradas y ríos, y sostienen no solo la biodiversidad de los ecosistemas de páramo, matorral y bosque montano, sino también las actividades humanas aguas abajo. Entre los usos prioritarios se encuentran el abastecimiento para consumo humano y el riego agrícola. En la actualidad, **muchas** comunidades locales gestionan el recurso hídrico a través de autorizaciones legales y sistemas organizados de captación, tratamiento y distribución, como las Juntas Administradoras de Agua Potable.

Quebrada San Roque

Figura 1. Mapa de ubicación de las vertientes del Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura



Vista del Taita Imbabura

CONCEPTOS CLAVE

1.- Conductividad eléctrica (CE) : se mide en unidades de microsiemens por centímetro (µS/cm). Este parámetro mide la capacidad del agua para conducir electricidad, lo que está relacionado con la cantidad de iones (como sales, minerales, y metales disueltos) presentes en el agua, es decir, su salinidad ().

2.- Dureza cálcica: Se refiere a la cantidad de sales de calcio presentes en el agua, se consideran vertientes con alta dureza cuando contienen una elevada concentración de (Ca^{2+}) (Lopez-Molinero et al., 2013). Los rangos aceptables según la OMS, (2017) son de 100 – 300 mg/L.

3.- Dureza magnésica: Se refiere a la cantidad de magnesio (Mg^{2+}) disuelto que proviene de la disolución de minerales como la dolomita o el olivino en el agua subterránea o superficial. El agua con altos niveles de magnesio se considera de dureza elevada (Smith & S. Fritz, 1988; Lopez-Molinero et al., 2013). Los rangos aceptables según la OMS, (2017) son de 10 – 50 mg/L.

4.- Dureza total: es una medida de la concentración total de sales de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) presentes en una muestra de agua. se expresa generalmente (mg/L) de carbonato de calcio equivalente. se utiliza para determinar la calidad del agua en el transporte, almacenamiento y distribución a sistemas domésticos e industriales para garantizar la seguridad del consumidor (Kozisek, 2020; Lopez-Molinero et al., 2013).

5.- pH: El pH del agua es una medida de la cantidad de iones hidrógeno para determinar acidez (<7) o alcalinidad (>7), donde 7 es neutro, el pH de las vertientes de agua subterránea generalmente oscila entre 6.5 y 8.5, conocer el pH de las vertientes de agua ayuda a determinar si el agua es apta para consumo humano, identificar procesos como la disolución de minerales, o infiltración de contaminantes, y ayuda a monitorear cambios en el equilibrio químico de los ecosistemas acuáticos (Saalidong et al., 2022).

6.- Sólidos suspendidos fijos: Son la fracción inorgánica de los sólidos suspendidos, principalmente compuestas por minerales como sílice, arcilla, carbonatos y óxidos metálicos resistentes a altas temperaturas (550 °C), ayudan a identificar la presencia de sedimentos minerales en el agua (Buehler et al., 2012; Bilotta & Brazier, 2008).

7.- Sólidos suspendidos volátiles: Son la fracción orgánica de los sólidos suspendidos, que se volatilizan y queman cuando se calientan a altas temperaturas (550 °C), es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua útil en estudios de contaminación, calidad del agua y en sistemas de tratamiento de aguas residuales (Thompson & Kadiyala, 2013; Buehler et al., 2012).

8.- Turbidez: Se refiere a la claridad del agua, que está determinada por la cantidad de SST presentes en ella, se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU), la medición de la turbidez ayuda a monitorear la calidad del agua en vertientes naturales e identificar posibles fuentes de contaminación que aumentan la turbidez del agua, según la OMS, (2017), la turbidez del agua potable no debe superar las 5 NTU , y los valores ideales están por debajo de 1 NTU.

CONCEPTOS CLAVE

9.- Sólidos suspendidos totales: Son el conjunto total de partículas sólidas presentes en suspensión en el agua, tanto orgánicas como inorgánicas (Bilotta & Brazier, 2008). Los SST pueden actuar como transportadores físicos de aniones y no metales adsorbidos en su superficie afectando la precisión de los análisis químicos y transportando contaminantes, por ello su eliminación es esencial para diseñar estrategias de manejo sostenible y tratamiento del agua (Thompson & Kadiyala, 2013).

10.- Cloruro: El cloruro (Cl-) es un anión formado cuando el elemento cloro se disuelve en agua, en las vertientes de agua, los cloruros se encuentran en forma de sales solubles tales como (NaCl), (KCl) y (CaCl2), suelen encontrarse en un rango de 15 a 35 mg/L y no representan un peligro para la salud humana en concentraciones menores a 250 mg/L (Pal, S., y Chakraborty, K, 2017)

11.- Nitrato: El nitrato (NO3−) es un ion compuesto encontrado en las vertientes de agua, derivado principalmente de procesos naturales que se generan a través de la interacción de compuestos nitrogenados gaseosos con el agua de lluvia y actividades humanas por el uso excesivo de fertilizantes, aguas residuales industriales y desechos animales que provocan contaminación las regulaciones ambientales han establecido límites en el agua potable no superiores a 50 mg/L (Alahi & Mukhopadhyay, 2018).

12.- Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO3: Representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente debido a la presencia de iones bicarbonato (HCO_3^-) (Michalowski & Asuero, 2012).

13.- Alcalinidad de carbonatos como CaCO3: Representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente debido a la presencia de iones carbonato (CO_3^{2-}) (Michalowski & Asuero, 2012).

14.- Alcalinidad de hidróxidos como CaCO3: Representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente debido a la presencia de iones hidróxido (OH^-) (Michalowski & Asuero, 2012).

15.- Alcalinidad total como CACO3: La alcalinidad total en mg/L representa la capacidad global del agua para neutralizar ácidos, considerando la contribución combinada de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) en concentraciones desde 20 – 200 mg/L. Este parámetro fisicoquímico es esencial para interpretar los procesos biogeoquímicos en las vertientes de agua (Ahmad et al., 2024; Michalowski & Asuero, 2012).

16.- Bicarbonatos: Los bicarbonatos (OHC3−): son compuestos químicos presentes en el agua que se forman cuando el dióxido de carbono (CO2) se disuelve en agua, reaccionando para formar ácido carbónico (H2CO3), que luego se disocia en bicarbonato que al combinarse con el (Ca2+) y (Mg2+) aportan dureza al agua, también actúan como tampón, ayudando a regular el pH neutralizando compuestos ácidos (Hannam et al., 2019).

CONCEPTOS CLAVE

17.- **Coliformes totales:** Los coliformes totales sirven como un indicador para la calidad sanitaria del agua que sugiere que puede haber presentes patógenos fecales más peligrosos que pueden afectar la salud humana, la presencia de coliformes totales en el agua de vertientes debe ser monitoreada de acuerdo con las normativas de calidad del agua establecidas por la OMS, (2017) en agua potable, la norma general es que no se debe detectar la presencia de coliformes totales en 100 ml de agua (Pal, 2014; Pachepsky & Shelton).

18.- ***Escherichia coli*:** Es un indicador microbiológico específico fundamental para detectar la contaminación fecal en las vertientes de agua. Su presencia indica que el agua puede estar contaminada con patógenos peligrosos, lo que hace imprescindible realizar análisis microbiológicos regulares (Odonkor & Mahami, 2020).

19.- **Coliformes fecales (Termotolerantes):** Los coliformes fecales son un grupo específico de bacterias que, al igual que los coliformes totales, se distinguen por su capacidad de estar asociados directamente con las heces de los mamíferos y las aves, lo que los convierte en un indicador más específico de contaminación fecal reciente, algunos no pueden ser eliminados por la temperatura por lo que se debe aplicar otros métodos de remediación (Odonkor & Mahami, 2020; Pachepsky & Shelton, 2011).

20.- **Cadmio:** Es un metal pesado, considerado un elemento altamente tóxico en vertientes de agua incluso en pequeñas concentraciones al ser un indicador crítico de contaminación ambiental, tanto para la vida acuática como para la salud humana, su presencia en el agua generalmente se debe a actividades humanas, como la minería, la OMS, (2023) establece un límite máximo permisible de 0.003 mg/L de cadmio en el agua potable.

21.- **Cobre:** Es un metal esencial para la formación de enzimas y el transporte de electrones, sin embargo, en concentraciones altas, puede ser tóxico para la vida acuática y para la salud humana, su presencia en vertientes de agua suele estar relacionada con actividades humanas como la minería, la agricultura y la industria, la OMS, (2023) establece un límite de 2 mg/L para el cobre en agua potable.

22.- **Hierro:** Es un metal esencial para el transporte de oxígeno en los organismos vivos, y es común en vertientes de agua debido a fuentes naturales, concentraciones altas pueden causar problemas como alteraciones en los ecosistemas acuáticos, obstrucción de tuberías y efectos en la salud humana, como problemas gastrointestinales, la OMS, (2023) recomienda un límite de 0,3 mg/L en agua potable.

23.- **Zinc:** Es un metal esencial para la función enzimática y el desarrollo celular en organismos vivos. Está presente en vertientes de agua por fuentes naturales, concentraciones altas pueden ser tóxicas para la vida acuática y afectar la salud humana con problemas neurológicos, la OMS, (2023) recomienda un límite de 3 mg/L en agua potable.

Naranja Puckyo

3900 msnm

La vertiente se ubica en el flanco nororiental del volcán Imbabura, cantón Ibarra, parroquia la esperanza. Este punto de captación es gestionado por la comunidad el Abra. **Es una quebrada de ----------**Su entorno inmediato está cubierto por vegetación típica del páramo con predominio de gramíneas. El agua es cristalina, sin olor, pero en algunos tramos con sedimentos visibles, lo que refleja un bajo nivel de intervención humana en el área. La Junta de Agua de la comunidad el Abra cantón de Ibarra. La junta de Agua se encarga del manejo de esta vertiente.

Tanque de captación

El Socavón

3520 msnm

La vertiente muestreada se ubica en dirección noroeste, cantón Antonio Ante. El agua aflora visiblemente al exterior aproximadamente cinco metros al interior de la cueva. En el interior de la cueva habita una colonia de murciélagos, lo que constituye un componente faunístico particular y de interés ecológico, aunque su presencia también podría influir en ciertas características físico-químicas del agua debido a la acumulación de guano. Desde su nacimiento el agua es inmediatamente captada y conducida hacia un tanque de almacenamiento para continuar su flujo.

Tanque de captación

Rosas Puckyo

3900 msnm

Se encuentra en dirección oeste del volcán Taita Imbabura, en el sector Ilumán del cantón Otavalo, el nacimiento de agua de Rosas Puckyo, se encuentra cercado con una malla metálica. A su alrededor dos milenarios Polylepis. El afloramiento se produce tras filtrarse a través de formaciones rocosas volcánicas y suelos húmedos, conformando un ojo de agua que mantiene un flujo constante. El entorno presenta cobertura vegetal fragmentada, con gramíneas y arbustos dispersos, y evidencia de intervención humana asociada al sistema de captación

Picachu Puckyo

3744 msnm

Picachu Puckyo se ubica en dirección sur-sureste del Taita Imbabura, forma parte de la comunidad de Imbaburita de la parroquia de San Pablo, cantón Otavalo.

El afloramiento de agua surge de manera natural entre suelos y rocas volcánicas, formando un pequeño ojo de agua que brota a través de rocas filtrándose en una fuente que la recoge hasta el tanque de almacenamiento. El entorno inmediato presenta vegetación típica de matorral. La calidad visual del agua es cristalina y sin presencia aparente de contaminantes, lo que sugiere un bajo impacto antrópico en la zona. La vertiente aporta caudal a quebradas y riachuelos que descienden hacia áreas agrícolas y comunidades aledañas.

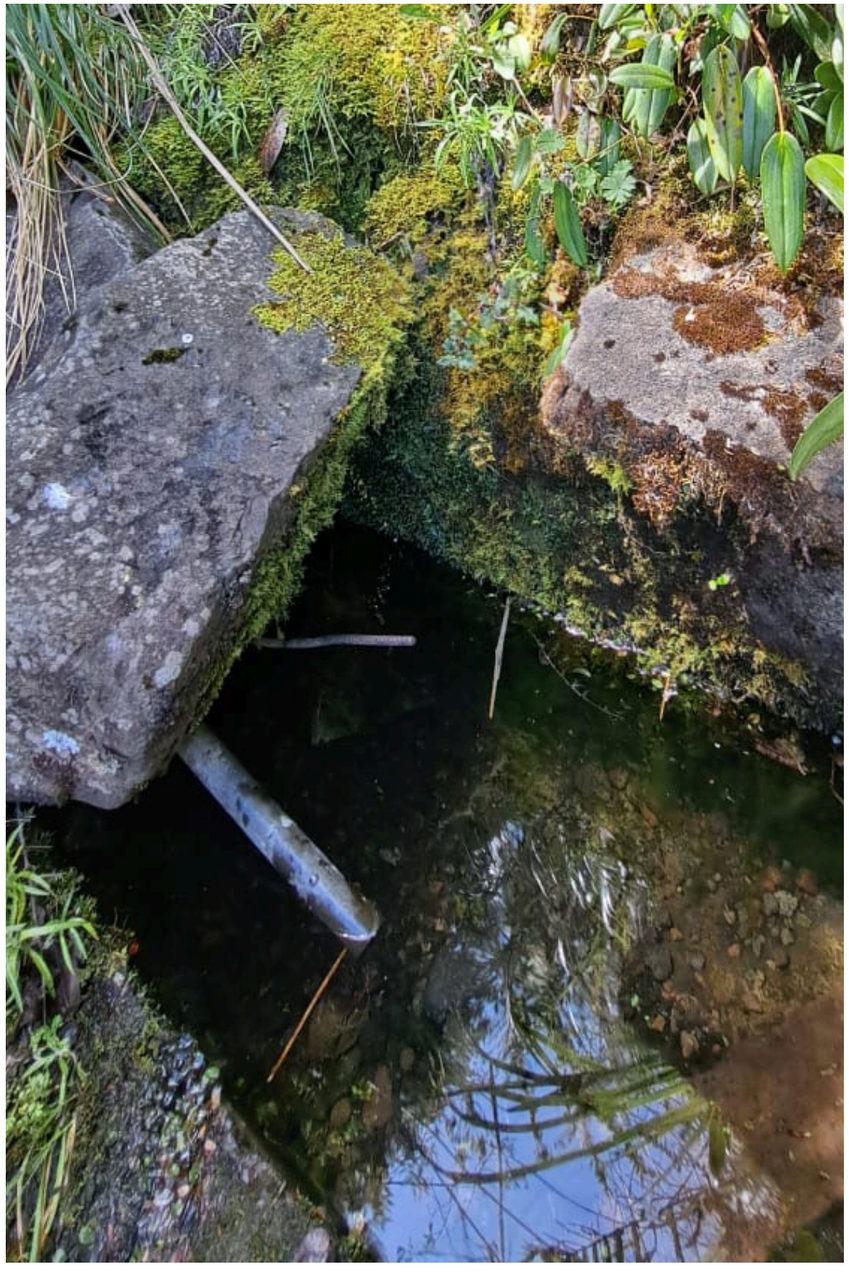
Kinti Puckyo

3624 msnm

Esta vertiente se localiza en la parte suroeste del volcán Imbabura en el edificio volcánico de Warmi Imbabura, sector la Compañia del cantón Otavalo.

El afloramiento se produce tras filtrarse a través de formaciones rocosas volcánicas y suelos húmedos, hasta emerger en un punto natural que funciona como ojo de agua. Desde esa captación, el recurso es canalizado hasta diferentes tanques de almacenamiento.

El área circundante presenta cobertura vegetal de matorral.



Vertiente Naranjito

3702msnm

Esta vertiente se ubica en el flanco nororiental del volcán Imbabura, cantón Ibarra, sector la esperanza. En este punto la gestión y uso es responsabilidad de la comunidad Naranjito. Es una quebrada de ----------Su entorno inmediato está cubierto por vegetación típica del páramo con predominio de gramíneas. El agua es cristalina, sin olor, pero en algunos tramos con sedimentos visibles, lo que refleja un bajo nivel de intervención humana en el área.

Vertiente San Roque

3701 msnm

La vertiente muestreada se ubica en dirección noroeste, cantón Antonio Ante. En ecosistema de herbazal de páramo.

El afloramiento de agua surge de manera natural entre suelos orgánicos y rocas volcánicas, formando un caudal constante durante todo el año. El entorno inmediato presenta vegetación típica de páramo, con predominio de gramíneas como Calamagrostis intermedia y especies de orquídeas----------, que cumplen un papel clave en la retención hídrica. La calidad visual del agua es cristalina y sin presencia aparente de contaminantes.

Corazón Puckyu

3527 msnm

La vertiente se ubica en dirección sur-oeste del Taita Imbabura. El afloramiento de agua emerge de manera difusa entre depósitos de suelos orgánicos (Andosoles) y bloques de roca volcánica. Esta vertiente se encuentra protegida por una construcción de tanque de hormigón. Una vez en la superficie, el agua es inmediatamente captada y conducida hacia un tanque de almacenamiento que dirige el recurso hacia la parte baja del volcán para ser aprovechada por la comunidad Quinchuqui Guagalán.

Quebrada Puckyu

3527 msnm

La vertiente se ubica en dirección sur-oeste del Taita Imbabura, 10 metros abajo de la vertiente corazón puckyu, sin embargo emergiendo en un punto de captación que la dirige hacia un tanque de almacenamiento.

Vertiente proaño

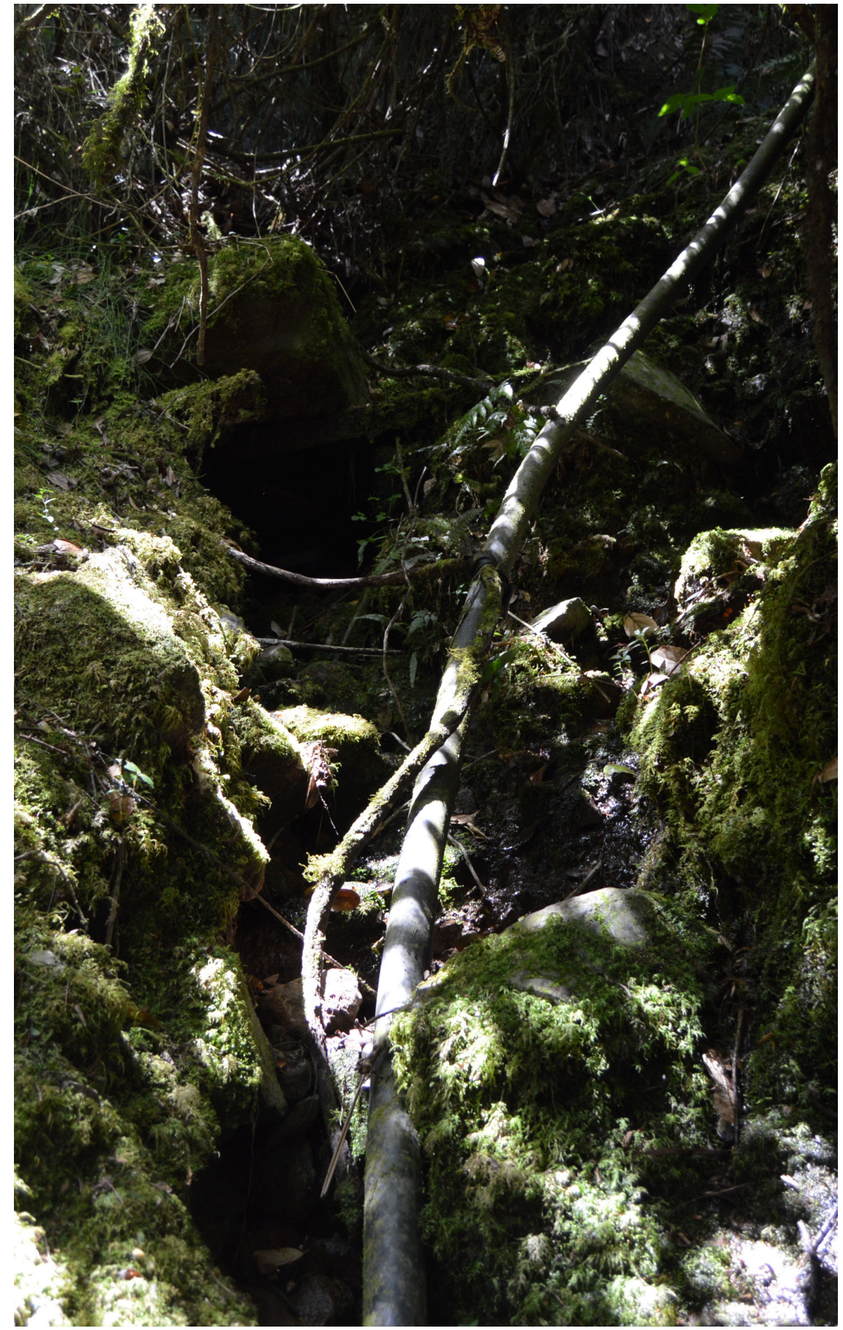
2708 msnm

Esta vertiente se encuentra en la zona de amortiguamiento del Área Protegida. Al sur del Taita Imbabura dirección del edificio de Warmi Imbabura.
La administración de esta vertiente es por la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku.
El agua brota a través de rocas filtrándose desde donde el agua nace hasta un sistema de captación y almacenamiento. Este recurso abastece a familias de la **## comunidad** y. Esta vertiente se encuentra en la zona urbana, el área que la rodea es prácticamente mosaico agropecuario, conserva vegetación de matorral con claros y parches fragmentados como resultado de la actividad humana.
Además, esta vertiente alimenta a la laguna de San Pablo conservando así su importancia cultural y ecológica. Este afloramiento constituye una fuente importante para el abastecimiento local, aunque su cercanía a áreas de uso antrópico requiere un manejo cuidadoso para preservar su calidad.
Poner la cantidad de litros y a cuantas comunidades abastece.

Vertiente El Listón

3538 msnm

Se ubica en dirección Nor-noroeste del Taita Imbabura, en el cantón Antonio Ante.
El agua brota de manera natural, filtrándose entre suelos oscuros y húmedos y aflorando a través de rocas volcánicas cubiertas de musgos, algas y líquenes verdes, todos beneficiados por la humedad constante, hasta emerger en un punto natural que funciona como ojo de agua. Desde allí, el recurso es canalizado hacia una pequeña fuente de captación que conduce el flujo hasta un tanque de almacenamiento para su aprovechamiento.



San Juan Puckyu

2565 msnm

Esta vertiente se encuentra en la zona de amortiguamiento del Área Protegida. Al nor-oeste del Taita Imbabura.
La administración de esta vertiente es por la Junta Administradora de Agua de Ilumán.
El manantial aflora subterráneamente, y es captado directamente en lo que es el tanque de almacenamiento. Este recurso provee agua a varias familias de la **comunidad-----.** Se localiza en un sector urbano , en la parte inferior de la panamericana, antes de la **quebrada.....**Debido a su proximidad con zonas de uso humano, es indispensable implementar un manejo cuidadoso para garantizar la calidad y sostenibilidad del recurso.
Poner la cantidad de litros y a cuantas comunidades abastece.

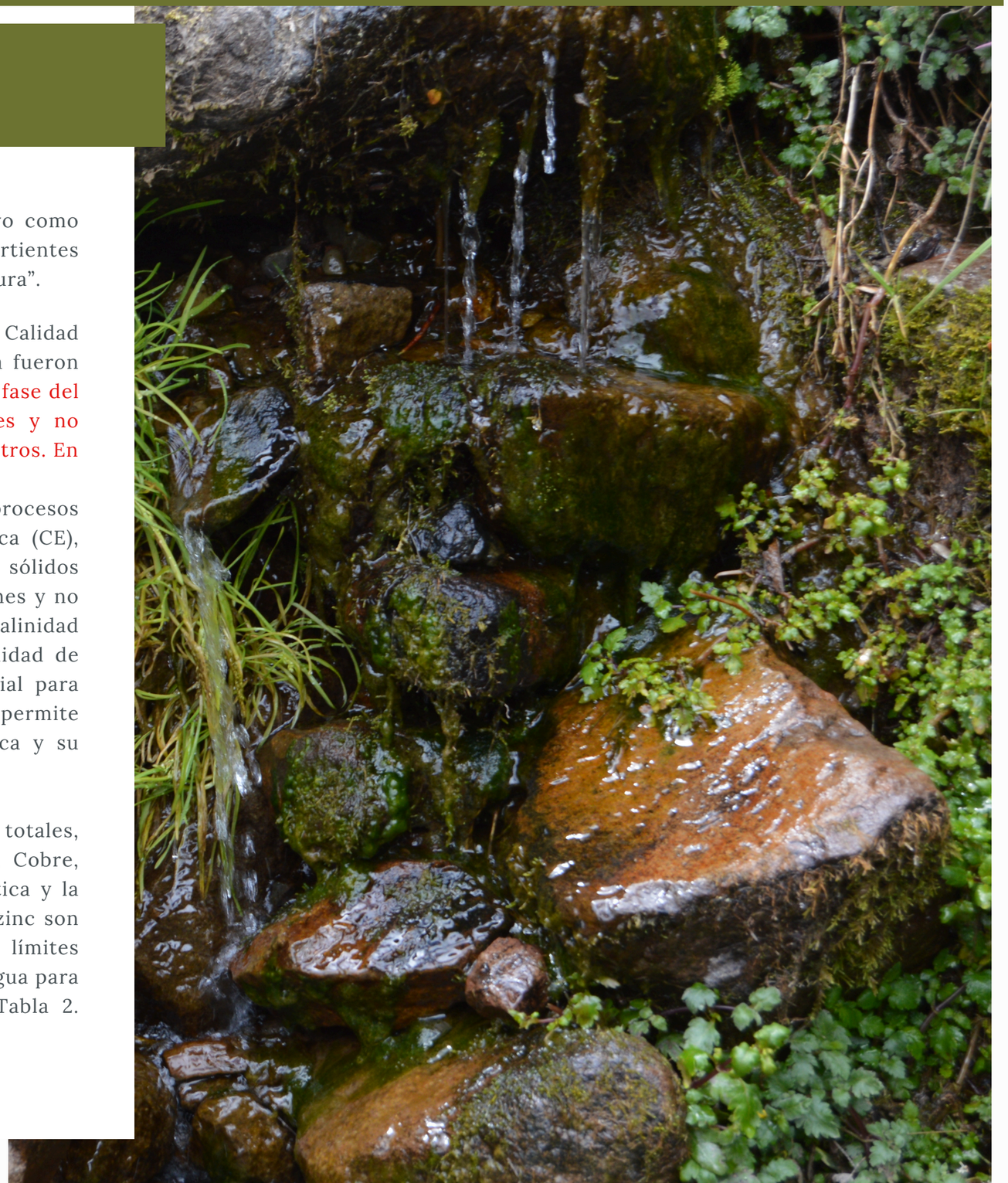
AMENAZAS AL RECURSO HIDRICO DEL TAITA IMBABURA

Cambio climático

Gran parte de la población depende de fuentes de agua compartidas. Ya sea agua subterránea, ríos cercanos, estanques o incluso agua de lluvia recolectada, estas fuentes suelen ser utilizadas tanto por humanos como por animales. Los usos humanos incluyen actividades como el baño, el lavado, la colada, la cocina y el consumo. Esta diversidad de usos, no regulada, por parte de personas y animales, puede alterar de manera significativa la calidad natural del agua. Esto pone de manifiesto la necesidad de una gestión efectiva que garantice, de forma sostenida, la aptitud del recurso hídrico para sus distintos usos, logrando un equilibrio entre el aprovechamiento y la protección ambiental.

Cubierta de vegetacipon en el sendero a Rosas Puckyo

Muestreo de agua



El proceso de muestreo en las fuentes de agua del volcán Taita Imbabura tuvo como objetivo analizar la calidad de agua de muestras representativas en las vertientes seleccionadas dentro del Área Protegida Autonóma Descentralizada “ Taita Imbabura”.

El muestreo se realizó bajo el procedimiento de la norma técnica INEN 2169:2013 Calidad de agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Las muestras de agua fueron tomadas por el equipo técnico del Consorcio Taita Imbabura (CTI). En la primera fase del diagnóstico se analizaron 23 parámetros, entre ellos físico químicos, Aniones y no metales y parámetros microbiológicos. En la segunda fase se analizaron 18 parámetros. En

Los parámetros físico químicos, proporcionan información clave sobre los procesos biogeoquímicos y las condiciones ambientales del agua: conductividad eléctrica (CE), dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, pH, Sólidos suspendidos fijos, sólidos suspendidos volátiles, turbidez, sólidos suspendidos totales. El análisis de aniones y no metales en vertientes de agua, como Aniones y no metales (Cloruro, Nitrato, Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO3, Alcalinidad de carbonatos como CaCO3, Alcalinidad de hidróxidos como CaCO3, Alcalinidad total como CACO3, Bicarbonato. es crucial para evaluar su calidad química y funcionalidad. La relación de estos parámetros permite entender la capacidad del agua para neutralizar ácidos, su estabilidad química y su relación con procesos de contaminación y salud ambiental.

El análisis de parámetros microbiológicos en vertientes de agua, como coliformes totales, E. coli y coliformes fecales (Termotolerantes). Metales totales como Cadmio, Cobre, Hierro y Zinc) en concentraciones altas, pueden ser tóxicos para la vida acuática y la salud humana, mientras que en niveles adecuados, algunos como el hierro y el zinc son esenciales para procesos biológicos. Las muestras se analizaron bajo los límites impuestos por la Norma: Am097a, Anexo 1, Tabla 1. Criterios Calidad Fuentes de Agua para Consumo Humano y Domestico. También bajo la Norma: Am097a, Anexo 1, Tabla 2. Criterios Calidad Preservación Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces.

Kit de muestreo de agua con envases para parametros fisico, quimicos y microbiologicos.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, DUREZA CÁLCICA Y TURBIDEZ

La conductividad eléctrica (CE), se mide en unidades de microsiemens por centímetro (µS/cm). El valor de 147 µS/cm en Picachu Puckyo, es el valor más alto y sugiere que el agua tiene una concentración relativamente alta de sales disueltas. Puede ser una indicación de que el agua proviene de una fuente que ha estado en contacto con una mayor cantidad de minerales, como en zonas con suelos ricos en minerales solubles.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos analizados para las 5 vertientes de agua

		Parámetros fisicoquímicos								
Muestra	**Localización**	**Conductividad eléctrica**	**Dureza cálcica**	**Dureza magnésica**	**Dureza total**	**pH**	**Sólidos suspendidos totales**	**Sólidos suspendidos fijos**	**Sólidos suspendidos volátiles**	**Turbidez**
Unidades		uS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	Unidades pH	mg/L	mg/L	mg/L	NTU
Rosas Puckyo	WGS84 8127532; 100289797	16,7	<11,0	<11,0	<20,0	7,2	<30	<5	<30	0,45
Socavón	WGS84 812236; 10030113	94,4	31,7	<11,0	34,1	7,2	<30	<5	<30	0,23
Naranja Puckyo	WGS84 8149609; 100286248	77,6	20,3	19,1	39,4	7,4	<30	<5	<30	1,06
Picachu Puckyo	WGS84 8145533; 100267042	147	42,6	36,5	79,2	7,4	<30	<5	<30	1,16

La dureza cálcica se refiere al aporte de calcio (Ca^{2+}) a la dureza total del agua, medida en mg/L. Este parámetro se origina de la disolución de minerales cuando el agua atraviesa rocas calcáreas o suelos ricos en calcio. El valor de <11,0 mg/L Rosas Puckyo, indica una baja concentración de calcio. Este valor refleja zonas con presencia de rocas calcáreas limitado o donde predomina otro tipo de geología. El valor más alto es de 42,6 mg/L de Picachu Pukyo, indicando una dureza cálcica notable. Aunque no es excesivo, es indicativo de una mayor influencia de suelos o formaciones calcáreas en esta muestra de agua. Los valores de 31,7 mg/L y 20,3 mg/L, que corresponden a Socavón y Naranja Puckyo, estos valores reflejan una contribución mayor del calcio, pero siguen siendo manejables para la mayoría de los usos.

Cuanto más alta es la turbidez, más turbia es el agua, lo que indica que hay más partículas suspendidas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua potable no debe tener más de 1 NTU, y valores más bajos son mejores. Los niveles de Rosas Puckyo y Socavón, en términos de calidad del agua para consumo humano son aceptables. Los valores de 1,06 NTU de Naranja Puckyo y 1,16 NTU de Picachu Puckyo se encuentran un tanto más alterado que 1.

PARÁMETROS FÍSICOSQUÍMICOS: DUREZA MAGNÉSICA Y DUREZA TOTAL

La dureza magnésica se refiere específicamente al aporte de magnesio (Mg^{2+}) a la dureza total del agua. Esta se mide en mg/L de Mg^{2+} y está relacionada con la solubilidad de minerales como la dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) o el magnesio disuelto en el agua a medida que atraviesa ciertos tipos de suelos y rocas.

Los valores de <11,0 mg/L de Rosas Puckyo y Socavón, indica que se trata de aguas con muy baja concentración de magnesio o aguas blandas. Este nivel es característico de áreas con escasa presencia de rocas ricas en magnesio o donde el contacto con tales minerales es limitado.

Picachu Puckyo es el valor más alto 36,5 mg/L, aunque sigue dentro de rangos moderados en comparación con aguas extremadamente ricas en magnesio (>50 mg/L). Puede ser indicativo de un contacto más prolongado con formaciones ricas en dolomita u otras fuentes de magnesio.

La dureza total del agua, medida en mg/L de carbonato de calcio ($CaCO_3$), es un parámetro que indica la cantidad de minerales disueltos, principalmente calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) , que se disuelven en el agua cuando ésta pasa a través de formaciones rocosas, especialmente las que contienen carbonatos (como piedra caliza y dolomita), sulfatos o cloruros.

El valor de <20.0 mg/L en Rosas Puckyo, indica que el nivel de dureza del agua es muy blanda comparada al valor de 79.2 mg/L que corresponde a Picachu Pukyo indicando que el agua es moderadamente dura. Es decir, puede tener el contenido mayor minerales.

ANIONES Y NO METALES: ALCALINIDAD

Los análisis de agua en parámetros de aniones y no metales, sirven para detectar cambios en la calidad del agua debido a factores naturales o antropogénicos. La alcalinidad es esencial para entender la capacidad del agua en el páramo para amortiguar cambios en el pH, fundamentales para la supervivencia de especies sensibles.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) no hay límites estrictos para la alcalinidad total en agua potable. Sin embargo, valores altos pueden influir en el sabor del agua y en su uso para procesos industriales o agrícolas.

Tabla 2. Aniones y no metales analizados para las 5 vertientes de agua

Aniones y no metales								
Muestra	**Localización**	**Alcalinidad de hidróxidos**	**Alcalinidad por bicarbonatos**	**Alcalinidad por carbonatos**	**Alcalinidad total**	**Bicarbonatos**	**Cloruros**	**Nitratos**
Unidades		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Rosas Puckyo	WGS84 8127532; 100289797	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<3,0	3,3
Socavón	WGS84 812236; 10030113	<10,0	356,6	<10,0	353,6	353,6	<3,0	1,6
Naranja Puckyo	WGS84 8149609; 100286248	<10,0	34,4	<10,0	34,4	34,4	<3,0	3,8
Picachu Puckyo	WGS84 8145533; 100267042	<10	81,2	<10,0	81,2	81,2	3,8	1,8

Los valores de alcalinidad por hidróxidos reflejan una concentración menor indica que el agua tiene una capacidad significativa para neutralizar ácidos. Aunque los altos valores de alcalinidad suelen ser naturales, podrían aumentar por el uso de fertilizantes o actividades agrícolas cercanas que enriquezcan el agua con compuestos alcalinos.

El valor de 336,6 mg/L de alcalinidad por bicarbonatos en el Socavón, indica un nivel de alcalinidad que proporciona un gran poder amortiguador, lo que significa que el agua puede resistir cambios bruscos de pH, manteniéndose estable frente a la entrada de ácidos o bases. Una alcalinidad total de 353,6 mg/L es relativamente alta y podría ser resultado de: suelos ricos en carbonatos, es decir áreas con materiales calcáreos o formaciones geológicas que liberan carbonatos y bicarbonatos al agua. Y de ambientes volcánicos, las rocas volcánicas pueden liberar bicarbonatos debido a reacciones químicas entre el agua y los minerales presentes en estos suelos.

ANIONES Y NO METALES: ALCALINIDAD TOTAL Y BICARBONATOS

Los valores bajos de bicarbonatos <10mg/L, este valor podría encontrarse en aguas con baja mineralización o en zona donde los suelos y rocas no liberan muchos bicarbonatos al agua. Es posible que esta agua provenga de zonas con un tipo de geología que no favorece la disolución de carbonatos, como zonas arenosas o graníticas.

El valor alto de 353,6 mg/L en el Socavón, sugiere que el agua tiene una capacidad amortiguadora muy fuerte. Este valor podría encontrarse en vertientes de agua que fluyen sobre suelos ricos en carbonatos, como áreas volcánicas o zonas con formaciones rocosas calcáreas.

El valor existente en Naranja Puckyo 34.4 mg/L, indica una concentración moderada de bicarbonatos, lo que sugiere que el agua tiene una capacidad media para neutralizar ácidos.

En Picachu Puckyo el valor de 81.2 mg/L, refleja una alcalinidad moderada a alta, lo que indica una capacidad considerable para amortiguar cambios en el pH.

Este valor podría encontrarse en aguas de regiones con suelos calcáreos o en ecosistemas donde los procesos de disolución de minerales como los carbonatos son comunes. En ecosistemas acuáticos, un valor como este ayuda a mantener un pH más estable, lo cual es beneficioso para la vida acuática.

El Socavón

ANIONES Y NO METALES: CLORUROS Y NITRATOS

Los valores de cloruros se encuentran entre los valores <3.0 mg/L y 3.8 mg/L, son muy bajos y se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. Una ligera presencia de cloruros puede ser el resultado de procesos naturales como la descomposición de materiales orgánicos o la interacción del agua con ciertas formaciones geológicas. Los niveles bajos de cloruros son característicos de aguas no contaminadas provenientes de fuentes naturales en zonas de alta montaña como los páramos andinos (Buytaert, 2006).

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS:

E. coli es un indicador de contaminación fecal. Bajo la Unidad (NMP/100 mL) significa "Número Más Probable por cada 100 mililitros". Es una medida utilizada principalmente en microbiología del agua para estimar la concentración de microorganismos, como bacterias coliformes (fecales o totales) o Escherichia coli, en una muestra de agua.

Sin embargo, hay valores que son necesarios de analizar, en todas las vertientes los valores de coliformes fecales termotolerantes (CFT) son menores a 1,0 NMP/100 mL, indica que la calidad microbiológica del agua es muy buena.

Tabla 3. Parámetros microbiológicos analizados para las 5 vertientes de agua

Parámetros microbiológicos				
Muestra	**Localización**	**Coliformes fecales Termotolerantes NMP**	**Coliformes Totales NMP**	***Escherichia coli***
Unidades		NMP/100 mL	NMP /100 mL	NMP/100mL
Rosas Puckyo	WGS84 8127532; 100289797	<1,0	<1,0	<1,0
Socavón	WGS84 812236; 10030113	<1,0	178,2	<1,0
Naranja Puckyo	WGS84 8149609; 100286248	<1,0	98,7	<1,0
Picachu Puckyo	WGS84 8145533; 100267042	<1,0	<1,0	<1,0

Los coliformes fecales termotolerantes, como Escherichia coli, son indicadores directos de contaminación fecal reciente en el agua. Los valores menores a 1,0 NMP/100 mL sugieren que no hay presencia significativa de contaminación fecal.
Este dato no excluye la presencia de otros microorganismos patógenos, como virus o protozoos, que no son detectados con este análisis ya que en el valor de Coliformes fecales totales en el Socavón 178,2 NMP/100 mL y Naranja Puckyo 98,7 NMP/100 mL.

METALES COMO CADMIO, HIERRO, ZINC Y COBRE.

Tabla 3. Metales analizados para las 4 vertientes de agua

Metales pesados					
Muestra	**Localización**	**Cadmio**	**Cobre**	**Hierro**	**Zinc**
Unidades		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Rosas Puckyo	WGS84 8127532; 100289797	<0,0001	<0,001	<0,05	<0,01
Socavón	WGS84 812236; 10030113	0,0002	0,0173	0,28	<0,01
Naranja Puckyo	WGS84 8149609; 100286248	<0,0001	<0,001	0,16	<0,01
Picachu Puckyo	WGS84 8145533; 100267042	<0,0001	<0,0001	0,31	<0,01

Todos los valores son menores a 0,0001 mg/L indican que las concentraciones de estos metales son extremadamente bajas, muy por debajo de los límites permisibles establecidos por normas internacionales como la OMS (Organización Mundial de la Salud).

Según las directrices de la OMS, el límite de hierro en agua potable es de 0,3 mg/L. Algunas de las vertientes como Socavón, Naranja Puckyo y Rosas Puckyo respectivamente (0,28; 0,16; <0,05 mg/L) cumplen este estándar.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: PH, STD, CE, RAS, DUREZA TOTAL Y TURBIDEZ

Los valores de cloruros se encuentran entre los valores <3.0 mg/L y 3.8 mg/L, son muy bajos y se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. Una ligera presencia de cloruros puede ser el resultado de procesos naturales como la descomposición de materiales orgánicos o la interacción del agua con ciertas formaciones geológicas. Los niveles bajos de cloruros son característicos de aguas no contaminadas provenientes de fuentes naturales en zonas de alta montaña como los páramos andinos (Buytaert, 2006).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de 6 vertientes

Parámetros fisicoquímicos		**pH**	**STD (Sólidos totales disueltos)**	**CE (Conductividad eléctrica)**	**RAS**	**Dureza total**	**Turbidez**
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
Kinti Pukyu	WGS84 812281.62; 10027280.759	7,33	60,0	120	0,20	34,88	0,31
Vertiente naranjito	WGS84 815589.171; 10028497.463	7,36	55,0	110	0,17	34,29	0,23
Corazón Pukyu	WGS84 812054.013; 10028389.492	6,56	65,0	130	0,16	38,29	0,18
Quebrada Pukyu	WGS84 812019.688; 10028388.068	6,42	50,0	100	0,15	28,43	0,32
Vertiente el listón	WGS84 813547.002; 10030950.833	7,27	40,0	80	0,07	21,68	0,18
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	6,45	150,0	300	0,05	86,11	0,28

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: PH, STD, CE, RAS, DUREZA TOTAL Y TURBIDEZ

Los valores de cloruros se encuentran entre los valores <3.0 mg/L y 3.8 mg/L, son muy bajos y se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. Una ligera presencia de cloruros puede ser el resultado de procesos naturales como la descomposición de materiales orgánicos o la interacción del agua con ciertas formaciones geológicas. Los niveles bajos de cloruros son característicos de aguas no contaminadas provenientes de fuentes naturales en zonas de alta montaña como los páramos andinos (Buytaert, 2006).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de 6 vertientes

Parámetros fisicoquímicos		K (Potasio)	Ca (Calcio)	Mg (Magnesio)	Sodio	Hierro total	Boro
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Kinti Pukyu	WGS84 812281.62; 10027280.759	1,21	9,46	2,74	2,69	0,062	0,15
Vertiente naranjito	WGS84 815589.171; 10028497.463	1,08	8,88	2,95	2,27	0,037	0,14
Corazón Pukyu	WGS84 812054.013; 10028389.492	0,83	9,97	3,26	2,27	0,035	0,06
Quebrada Pukyu	WGS84 812019.688; 10028388.068	0,93	7,85	2,15	1,88	0,025	0,09
Vertiente el listón	WGS84 813547.002; 10030950.833	0,25	7,51	0,71	0,81	0,057	0,06
Vertiente San Roque	WGS84 812591.058; 10029674.982	0,16	0,47	0,18	1,14	0,029	0,05

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

ANIONES: CARBONATOS, BICARBONATOS, CLORUROS, SULFATOS

Los valores de cloruros se encuentran entre los valores <3.0 mg/L y 3.8 mg/L, son muy bajos y se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. Una ligera presencia de cloruros puede ser el resultado de procesos naturales como la descomposición de materiales orgánicos o la interacción del agua con ciertas formaciones geológicas. Los niveles bajos de cloruros son característicos de aguas no contaminadas provenientes de fuentes naturales en zonas de alta montaña como los páramos andinos (Buytaert, 2006).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de 6 vertientes

Aniones		Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Kinti Pukyu	WGS84 812281.62; 10027280.759	<0,0	30,50	9,64	0,90
Vertiente naranjito	WGS84 815589.171; 10028497.463	<0,0	31,90	10,38	0,30
Corazón Pukyu	WGS84 812054.013; 10028389.492	<0,0	36,16	15,57	1,80
Quebrada Pukyu	WGS84 812019.688; 10028388.068	<0,0	24,68	10,38	0,30
Vertiente el listón	WGS84 813547.002; 10030950.833	<0,0	38,43	4,45	0,90
Vertiente San Roque	WGS84 812591.058; 10029674.982	<0,0	5,49	7,41	1,50

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS: COLIFORMES TOTALES Y E.COLI

Los valores de cloruros se encuentran entre los valores <3.0 mg/L y 3.8 mg/L, son muy bajos y se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. Una ligera presencia de cloruros puede ser el resultado de procesos naturales como la descomposición de materiales orgánicos o la interacción del agua con ciertas formaciones geológicas. Los niveles bajos de cloruros son característicos de aguas no contaminadas provenientes de fuentes naturales en zonas de alta montaña como los páramos andinos (Buytaert, 2006).

Tabla 3. Parámetros microbiológicos 6 vertientes

Parámetros microbiológicos		**Coliformes totales**	**E. Coli**
Punto	**Localización**	*NMP/100 ml*	*NMP/100 ml*
Kinti Pukyu	WGS84 812281.62; 10027280.759	4	0
Vertiente naranjito	WGS84 815589.171; 10028497.463	35	0
Corazón Pukyu	WGS84 812054.013; 10028389.492	10	0
Quebrada Pukyu	WGS84 812019.688; 10028388.068	10	10
Vertiente el listón	WGS84 813547.002; 10030950.833	2	0
Vertiente San Roque	WGS84 812591.058; 10029674.982	0	0

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

VERTIENTES UBICADAS EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

El rango de pH en aguas naturales suele ser 6 a 8.5 (CITA), la norma indica que el pH debe encontrarse entre 6.5 a 9, en el caso de las dos vertientes se encuentra en el rango normal, valores cercanos a un pH neutro.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos

Parámetros fisicoquímicos		**pH**	**STD (Sólidos totales disueltos)**	**CE (Conductividad eléctrica)**	**RAS**	**Dureza total**	**Turbidez**
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	6,45	150,0	300	0,05	86,11	0,28
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	6,71	150,0	300	0,09	72,02	0,24

Los niveles de cloruros por debajo de 250 mg/L son generalmente aceptables según los estándares internacionales (como la OMS). En este caso indican valores bajos (1,6 a 3.8 mg/L) por lo que puede ser considerado dentro del rango normal para aguas de fuentes naturales. En ecosistemas acuáticos, los nitratos en exceso pueden ser un factor contribuyente al eutrofización, un proceso que favorece el crecimiento excesivo de algas, lo que puede disminuir la calidad del agua, reducir el oxígeno disponible y afectar la biodiversidad acuática. Los nitratos son altamente solubles en agua, lo que significa que se disuelven fácilmente en el agua, permitiendo que se transporten rápidamente desde el suelo a las vertientes, ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

VERTIENTES UBICADAS EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Tabla 3. Parámetros microbiológicos 6 vertientes

Parámetros fisicoquímicos		pH	STD (Sólidos totales disueltos)	CE (Conductividad eléctrica)	RAS	Dureza total	Turbidez
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	6,45	150,0	300	0,05	86,11	0,28
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	6,71	150,0	300	0,09	72,02	0,24

Parámetros fisicoquímicos		K (Potasio)	Ca (Calcio)	Mg (Magnesio)	Sodio	Hierro total	Boro
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	0,54	19,24	9,27	1,18	0,039	0,20
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	0,83	14,64	8,64	1,73	0,052	0,11

Aniones		Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	<0,0	122,61	7,41	11,70
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	<0,0	137,86	3,70	9,0

Parámetros microbiológicos		Coliformes totales	E. Coli
Punto	**Localización**	*NMP/100 ml*	*NMP/100 ml*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	9	0
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	180	0

El rango de pH en aguas naturales suele ser 6 a 8.5 (CITA), la norma indica que el pH debe encontrarse entre 6.5 a 9, en el caso de las dos vertientes se encuentra en el rango normal, valores cercanos a un pH neutro. Según el rango de dureza del agua, se refiere a aguas moderadamente duras. Los valores de calcio y magnesio contribuyen al nivel de dureza del agua definido. La alcalinidad de agua no tiene efectos perjudiciales para la salud, aunque las aguas muy alcalinas o ácidas suelen tener mal sabor. Sin embargo, conocer estos parámetros es importante para conocer la capacidad del cuerpo de agua para poder resistir un agregado de ácidos, como en el caso de la lluvia ácida (CITA). El nivel de carbonatos es menor a cero y de bicarbonatos es superior a 100 mg/L, es decir tienen alta capacidad amortiguadora de ácidos. La conductividad está directamente relacionada con el contenido de sales disueltas, el valor de 300 indica alto grado de mineralización del agua. Lo que es compatible con los valores de Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio.

La OMS (2017), recomienda que la turbidez del agua potable no supere las 5 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Idealmente, se busca que los niveles de turbidez estén por debajo de 1 UNT para garantizar una mayor eficacia en la desinfección del agua. Los valores de turbidez indican claridad o transparencia del agua y reflejan la cantidad de partículas suspendidas en ella (https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?

VERTIENTES UBICADAS EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Parámetros fisicoquímicos		pH	STD (Sólidos totales disueltos)	CE (Conductividad eléctrica)	RAS	Dureza total	Turbidez
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	6,45	150,0	300	0,05	86,11	0,28
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	6,71	150,0	300	0,09	72,02	0,24

Parámetros fisicoquímicos		K (Potasio)	Ca (Calcio)	Mg (Magnesio)	Sodio	Hierro total	Boro
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	0,54	19,24	9,27	1,18	0,039	0,20
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	0,83	14,64	8,64	1,73	0,052	0,11

Tabla 3. Parámetros microbiológicos 6 vertientes

Aniones		Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	<0,0	122,61	7,41	11,70
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	<0,0	137,86	3,70	9,0

Parámetros microbiológicos		Coliformes totales	E. Coli
Punto	**Localización**	*NMP/100 ml*	*NMP/100 ml*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	9	0
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	180	0

Los niveles de cloruros en aguas no contaminadas suelen estar por debajo de 10 mg/litro y, a veces, por debajo de 1 mg/litro (OMS, 1996). El cloruro en aguas superficiales y subterráneas proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas, como el uso de fertilizantes potásicos, lixiviados de vertederos, efluentes de tanques sépticos, alimentos para animales y drenaje de riego.

Los sulfatos se presentan de forma natural en el agua potable, generalmente como una combinación de azufre y oxígeno. Algunos minerales presentes en el suelo también se disuelven y finalmente llegan a las aguas subterráneas en forma de sulfatos (CITA PAKISTAN). No hay suficiente evidencia científica para establecer regulaciones sobre los niveles de sulfatos en el agua, solo recomendaciones basadas en el principio de precaución en lugares donde el agua potable tiene niveles de sulfato >500 mg/L. Por lo que los valores en estas vertientes sugieren un nivel seguro de sulfatos.

Los STD incluyen principalmente sales e iones como sodio, potasio, magnesio, calcio, estroncio, bario, hierro, aluminio, bicarbonato, cloruro y sulfatos, también pueden estar presentes oligoelementos como metales disueltos, metaloides y boro (Millar et al., 2016). Los valores superiores hacen sentido con los valores analizados de cada parámetro.

VERTIENTES UBICADAS EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Tabla 3. Parámetros microbiológicos 6 vertientes

Parámetros fisicoquímicos		pH	STD (Sólidos totales disueltos)	CE (Conductividad eléctrica)	RAS	Dureza total	Turbidez
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	6,45	150,0	300	0,05	86,11	0,28
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	6,71	150,0	300	0,09	72,02	0,24

Parámetros fisicoquímicos		K (Potasio)	Ca (Calcio)	Mg (Magnesio)	Sodio	Hierro total	Boro
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	0,54	19,24	9,27	1,18	0,039	0,20
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	0,83	14,64	8,64	1,73	0,052	0,11

Aniones		Carbonatos	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Vertiente San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	<0,0	122,61	7,41	11,70
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	<0,0	137,86	3,70	9,0

Parámetros microbiológicos		Coliformes totales	E. Coli
Punto	**Localización**	*NMP/100 ml*	*NMP/100 ml*
San Juan Pukyu	WGS84 807333.941; 10030521.591	9	0
Vertiente Proaño	WGS84 810921.838; 10023138.523	180	0

La Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece un valor límite específico para los sólidos totales suspendidos (STS) en aguas naturales, pero sí proporciona directrices sobre la calidad del agua potable en general. La OMS recomienda que el agua potable tenga un nivel de sólidos disueltos totales (TDS) inferior a 300 ppm (partes por millón) para ser considerada segura para el consumo,

Vista del volcán Imbabura por el sendero a Naranja Pukyo

Yakumama laguna

3680 msnm

Se encuentra en el edificio de Warmi Imbabura, es la laguna más grande de las 3 lagunas estacionarias que tiene el flanco sur de Warmi Imbabura.

Yakumama es la única laguna que mantiene agua de forma permanente durante todo el año, a diferencia de otras lagunas del sector que, en la temporada en que se realizó el muestreo (noviembre, posterior a una prolongada época seca), se encontraban completamente secas. En el entorno inmediato se observaron heces de equinos en proceso de descomposición, lo que evidencia la presencia frecuente de ganado en el área. Este factor podría influir en la calidad del agua, aportando materia orgánica y nutrientes que, en exceso, pueden favorecer procesos de eutrofización y alterar las condiciones naturales del ecosistema lagunar.

LAGUNA YAKUMAMA

Alcalinidad de hidróxidos, bicarbonatos, carbonatos y total (<10,0 mg/L)
Los valores por debajo del límite de detección indican que el agua tiene una capacidad amortiguadora extremadamente baja, lo que significa que el agua no puede resistir cambios bruscos de pH a ácidos o bases. La interacción con minerales alcalinos en el suelo es mínima.
La baja concentración de bicarbonatos (<10,0 mg/L) confirma una limitada capacidad de amortiguación del agua frente a cambios de pH, lo que puede hacerla más susceptible a la acidificación. Sin embargo, esto es común en aguas con baja actividad biológica y mineralógica.

Los cloruros (<3,0 mg/L) están presentes en concentraciones extremadamente bajas, lo que sugiere ausencia de contaminación por fuentes antropogénicas como aguas residuales o actividades agrícolas. También es un indicador de agua no influenciada por sales naturales.
El nivel bajo de nitratos (1,8 mg/L) indica una mínima presencia de compuestos nitrogenados, lo cual es coherente con la limitada actividad agrícola o ganadera en el área circundante. Este valor es seguro para la vida acuática y demuestra bajo impacto antrópico.

Tabla 4. Parámetros físicoquímicos, aniones y no metales

LAGUNA YAKUMAMA
Localización (WGS84 8123975; 10025532)

	Parámetros fisicoquímicos								
	Conductividad eléctrica	Dureza cálcica	Dureza magnésica	Dureza total	pH	Sólidos suspendidos totales	Sólidos suspendidos fijos	Sólidos suspendidos volátiles	Turbidez
Unidades	uS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	Unidades pH	mg/L	mg/L	mg/L	NTU
	19,9	<11,0	<11,0	<20,0	6,9	<30	<5	<30	3,46

	Aniones y no metales						
	Alcalinidad de hidróxidos	Alcalinidad por bicarbonatos	Alcalinidad por carbonatos	Alcalinidad total	Bicarbonatos	Cloruros	Nitratos
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<3,0	1,8

Conductividad eléctrica (19,9 µS/cm) refleja una valor bajo, típico de aguas de montaña o páramos, lo que indica baja concentración de iones disueltos (sales y minerales). Es característico de ecosistemas con poco impacto antropogénico.
Dureza cálcica, magnésica y total (<11,0 mg/L, <11,0 mg/L, <20,0 mg/L). Los valores por debajo de los límites de detección sugieren agua blanda con muy baja concentración de calcio y magnesio, que son indicadores clave de dureza en el agua. Esto es común en zonas con suelos pobres en minerales o en sistemas de aguas principalmente pluviales. El pH (6,9) ligeramente ácido a neutro, típico de aguas de páramos donde la influencia de materia orgánica puede generar condiciones ligeramente ácidas. Es adecuado para ecosistemas acuáticos sensibles. Sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles (<30 mg/L, <5 mg/L, <30 mg/L) valores muy bajos que indican poca materia suspendida en el agua. Esto es característico de aguas claras con poco arrastre de sedimentos o materia orgánica. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua potable no debe tener más de 1 NTU, y valores más bajos son mejores. Turbidez (3,46 NTU) indica mínima presencia de partículas en suspensión, lo que refleja que algo esta en el entorno.

LAGUNA YAKUMAMA

Los coliformes fecales Termotolerantes, como Escherichia coli, son indicadores directos de contaminación fecal reciente en el agua. Los valores menores a 1,0 NMP/100 mL sugieren que no hay presencia significativa de contaminación fecal reciente. Pero el elevado nivel de coliformes totales probablemente refleja la actividad bacteriana ambiental natural. Este dato no excluye la presencia de otros microorganismos patógenos, como virus o protozoos, que no son detectados con este análisis ya que en el valor de Coliformes fecales totales, los valores son muy diferentes para el punto de la Laguna Yakumama, son mayores a 2419,6 NMP/100 mL. A pesar del alto conteo de coliformes totales y los valores bajos de coliformes fecales termotolerantes y E. coli sugiere que el agua no está contaminada por fuentes fecales.

Las concentraciones de estos metales son extremadamente bajas, muy por debajo de los límites permisibles establecidos por normas internacionales como la OMS (Organización Mundial de la Salud). Según las directrices de la OMS, el límite de hierro en agua potable es de 0,3 mg/L. El valor en Yakumama se supera un poco. Sin embargo, valores cercanos a 0,3 mg/L o superiores no siempre implican contaminación, especialmente en áreas volcánicas o de suelos ricos en hierro, donde las concentraciones pueden ser naturales.

Tabla 5. Parámetros microbiológicos y metales pesados

LAGUNA YAKUMAMA
Localización (WGS84 8123975; 10025532)

	Parámetros microbiológicos		
	Coliformes fecales Termotolerantes NMP	**Coliformes Totales NMP**	***Escherichia coli***
Unidades	NMP/100 mL	NMP /100 mL	NMP/100mL
	<1,0	>2419,6	<1,0

	Metales pesados			
	Cadmio	**Cobre**	**Hierro**	**Zinc**
Unidades	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	<0,0001	<0,001	0,46	<0,01

Laguna Cubilche

3826 msnm

Localización: zona de amortiguamiento, cantón Ibarra
Es la laguna más grande de las 3 lagunas estacionarias.

Descripción: Es la única laguna permanece con agua todo el año, las demás lagunas en la temporada que se realizó el muestreo (mes de noviembre después de una fuerte época seca) se encontraban sin agua.

LAGUNA CUBILCHE

El rango de pH en aguas naturales suele ser 6 a 8.5, la norma indica que el pH debe encontrarse entre 6.5 a 9, se encuentra bajo el límite permisible. El valor 5,45 de potencial hidrogeno (pH) indica que el agua es ácida. Como indica Tucker et al., (2008), el pH en aguas naturales es ligeramente ácido, alrededor de 5.6, pues el agua pura se encuentra expuesta al aire y provoca que el dióxido de carbono (CO_2) se disuelva y se forme ácido carbónico e iones hidrógeno, lo que provoca una disminución del pH.

Los carbonatos y bicarbonatos tienen una relación directa con el pH del agua, pues le dan la propiedad de la alcalinidad que es la capacidad para neutralizar ácidos. El bicarbonato y el carbonato se derivan de la disolución de la piedra caliza y elevan el pH del agua (Tucker et al., (2008). El nivel de carbonatos es menor a cero y de bicarbonatos es igual a 3.1, causando acidificación del agua y provocando baja alcalinidad, es decir baja capacidad de amortiguar cambios. Esto tiene relación con la dureza del agua, que nos indica que es agua muy blanda. El valor de calcio y magnesio contribuyen a los niveles bajo de dureza del agua.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, metales , aniones y no metales.

Parámetros fisicoquímicos		**pH**	**Sólidos totales disueltos (STD)**	**Conductividad eléctrica (CE)**	**RAS**	**Dureza total**	**Turbidez**
Punto	**Localización**	*Unidades de pH*	*mg/L*	*uS/cm*	*(meq/L)1/2*	*mg/L*	*NTU*
Cubilche	WGS 819011.59; 10025807.269	5,45	5	10	0,22	1,06	1,3

Aniones y no metales		**Carbonatos**	**Bicarbonatos**	**Cloruros**	**Sulfatos**	**Boro**
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Cubilche	WGS 819011.59; 10025807.269	<0,0	3,1	11,12	1,50	0,27

La conductividad está directamente relacionada con el contenido de sales disueltas. Este valor bajo confirma la baja mineralización del agua. En sistemas altoandinos esto es común, y suele estar asociado a baja productividad biológica (oligotrofía).
Los valores de cloruros y sodio bajos indican que no hay contaminación antrópica o intrusión salina. mientras que los valores de sulfatos indican que no hay presencia significativa de sulfatos naturales de origen geológico sulfuroso o por contaminación. A la vez refleja baja meteorización del entorno. El valor de Potasio es normal e indica origen geológico. Este nivel es bajo y compatible con ecosistemas no impactados.

LAGUNA CUBILCHE

Los coliformes totales, incluyen a bacterias que se encuentran en el suelo, en el agua que ha sido contaminada por el agua superficial o por desechos humanos o animales. En el libro VI, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), tabla 6 aguas con fines recreativos de contacto primario, el límite máximo de coliformes totales es de 1 000 NMP por cada 100 ml.

Según la norma 097A y los criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios. La turbidez del agua debe compararse con su valor natural y solo se permite un aumento pequeño (5 %, 10 % o 20 %), según cuán turbia sea originalmente (Acuerdo Ministerial 097A,). El valor permisible para la protección de la laguna es ≤ 5 NTU. Por lo que el valor se encuentra dentro de la norma. Indica que el agua es clara. no parece haber aporte significativo de sedimentos, materia orgánica o actividad humana reciente. Es un buen indicador de la calidad visual y ecológica del agua.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, metales , aniones y no metales.

	Metales	**K (Potasio)**	**Ca (Calcio)**	**Mg (Magnesio)**	**Sodio**	**Hierro total**
Punto	**Localización**	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*	*mg/L*
Cubilche	WGS 819011.59; 10025807.269	0,43	0,18	0,15	0,53	0,19

	Parámetros Microbiológicos	**Coliformes totales**	**E. Coli**
Punto	Localización	*NMP/100 ml*	*NMP/100 ml*
Cubilche	WGS 819011.59; 10025807.269	10	0

El valor en sólidos totales es muy bajo, aunque no existe valores límites en la norma. Indica agua muy limpia, sin gran cantidad de sales o minerales disueltos. El valor de conductividad eléctrica confirma que hay poca presencia de sales.

Según la norma el límite de hierro es 0.3, por lo que los niveles de hierro se encuentran normales, sin indicios de oxidación excesiva ni contaminación minera. Si el hierro se elevara mucho, podría afectar el sabor, color o salud de los ecosistema.

Boro es 0.75 mg/L limite en la norma, el nivel del agua de Cubilche es bajo, en exceso es tóxico para muchas plantas, por lo tanto, su bajo nivel es positivo en términos de uso múltiple del agua y del ecosistema.

La relación de absorcion de sodio, un valor bajo como este sugiere que el sodio no es dominante en relación al calcio y magnesio. Un RAS alto puede alterar la composición química del agua y afectar la vida acuática, ya que el sodio en exceso puede ser tóxico para ciertas especies o alterar el equilibrio del ecosistema.

LAGUNA CUBILCHE

El agua analizada en este punto de la laguna o vertiente altoandina presenta:

- Muy baja mineralización, acidez leve (pH bajo), poca capacidad de amortiguación, y muy baja carga microbiana.
- Es apta para vida acuática, conservación y usos recreativos, aunque el pH bajo podría ser un factor limitante si se mantiene en el tiempo.
- Estos valores sugieren que el cuerpo de agua está poco alterado por actividades humanas y representa un sistema prístino o bien conservado.

Tabla 4. Parámetros microbiológicos y metales

La interpretación extendida de estos parámetros indica que estás frente a un ecosistema acuático de alta montaña bien conservado, con características típicas de lagunas altoandinas:

- Agua muy pura, ligeramente ácida, con muy baja mineralización y turbidez.
- Químicamente frágil (baja capacidad tamponadora), lo que significa que puede ser vulnerable a perturbaciones externas (como contaminación o cambio climático).
- La calidad microbiológica es excelente, sin presencia de coliformes fecales ni E. coli.
- El entorno parece estar poco impactado por actividades humanas.

CONCLUSIONES

Los parámetros analizados permiten identificar fuentes de contaminación, evaluar impactos antropogénicos, prever riesgos ambientales y establecer medidas para la conservación y el uso sostenible del recurso hídrico. Para las dos normativas, los valores obtenidos se encuentran en los límites permisibles. El análisis de agua microbiológico: es un indicador de calidad ambiental en el Área Protegida Autónoma Taita Imbabura. Si bien es cierto, en todas las vertientes naturales de agua o puckyos los valores indican un variabilidad debido a condiciones naturales como son la geología o vulcanismo. Los valores de Socavón y Naranja Puckyo indican la presencia de coliformes totales, aunque los valores de coliformes fecales termotolerantes y E.coli se encuentren en concentraciones mínimas, podría implicar la presencia de otros patógenos como virus o protozoos, que no son detectados con este análisis. Los valores de Coliformes totales de Rosas Puckyo son los más bajos lo que indica que el agua es más limpia que las demás.

Los bajos valores en el análisis de metales, lo supera ligeramente Picachu Puckyo. La variación de los niveles de hierro no indican contaminación de metales, esto podría deberse a diferencias en las características geológicas, hidrológicas o de vegetación en cada sitio. El agua de Picachu Puckyo indica que es moderadamente dura. Es decir, puede tener el contenido mayor minerales y a la vez un valor de alcalinidad moderada a alta, lo que indica una capacidad considerable para amortiguar cambios en el pH. Los valores aniones y no metales de cloruros y nitratos, se encuentran entre los valores son muy bajos en todas las vertientes, se consideran normales en aguas naturales no contaminadas. La presencia de estos niveles bajos indica que las vertientes de agua en el Taita Imbabura tienen buena calidad, lo que es positivo tanto desde el punto de vista ambiental como para usos humanos y agrícolas.

Se puede concluir que las vertientes del Taita Imbabura son fuentes de agua limpia para comunidades y ecosistemas cercanos. Los valores se pueden justificar por factores geológicos que pueden influir si las rocas circundantes no contienen minerales metálicos en cantidades significativas, es probable que las aguas subterráneas o superficiales tengan concentraciones mínimas de metales.

CONCLUSIONES

Las características de la laguna Yakumama, representan un ecosistema típico de alta montaña, los valores que dan indicios de irregularidades son sólidos suspendidos y turbidez que se encuentran alterados, confirmado lo observado en territorio, después de contemplar la laguna, se relacionan los resultados de los parámetros microbiológicos con las heces en descomposición.
Aniones y no metales: La baja alcalinidad y las concentraciones insignificantes de bicarbonatos, cloruros y nitratos reflejan un sistema oligotrófico con limitada capacidad amortiguadora. Lo que puede hacerla más susceptible a la acidificación también la hacen vulnerable a cambios externos, como acidificación o contaminación.

La ausencia de coliformes fecales Termotolerantes y *Escherichia coli* confirma que el agua no está contaminada por materia fecal reciente, mientras que el alto conteo de coliformes totales probablemente refleja presencia presencia de otros microorganismos que pueden ser patógenos o bacterias naturales del ecosistema.

Los niveles insignificantes de metales tóxicos como cadmio, cobre y zinc, junto con un nivel moderado de hierro dentro de los límites naturales, reafirman la ausencia de fuentes contaminantes significativas.

El estado ecológico del ecosistema de la laguna Yakumama mediante los parámetros analizados se evidencia un ecosistema relativamente saludable. Posse baja capacidad de amortiguación (baja alcalinidad) y la sensibilidad a perturbaciones externas representan una vulnerabilidad inherente al ecosistema, que requiere protección activa. Estos resultados refuerzan la necesidad de mantener y ampliar medidas de conservación dentro del área protegida.

RECOMENDACIONES

La información obtenida sirve como línea base del ecosistema para tener referencias futuras en caso de cambios y como medida de prevención de amenazas futuras.

El monitoreo continuo para detectar cualquier cambio que pudiera sugerir de actividades en las zonas circundantes, como turismo no regulado, pastoreo o cambio climático.

Monitorear el nivel de hierro para identificar si se trata de un proceso natural o si puede estar relacionado con algún cambio en el entorno geológico o hidrológico.

Continuar evaluando periódicamente los metales pesados para identificar posibles fuentes de contaminación futura, especialmente en el caso de actividades humanas en la zona en la laguna.

Realizar más estudios en la laguna Yakumama para monitorear sus cambios.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, M., Ahmad, A., Omar, T. F. T., & Mohammad, R. (2024). Current Trends of Analytical Techniques for Total Alkalinity Measurement in Water Samples: A Review. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 54(8), 2734-2744. https://doi.org/10.1080/10408347.2023.2199432

Alahi, Md. E. E., & Mukhopadhyay, S. C. (2018). Detection methods of nitrate in water: A review. Sensors and Actuators A: Physical, 280, 210-221. https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.07.026

Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research, 42(12), 2849-2861. https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018

Buehler, B., Moreno, P., Williams, G. P., Nelson, E. J., Obregon, O., Gonzalez, N., & Swain, N. R. (2012). Correlations between Total Solids, Total Suspended Solids, Total Volatile Suspended Solids, and Phosphate at Deer Creek Reservoir. World Environmental and Water Resources Congress 2012, 3383-3387. https://doi.org/10.1061/9780784412312.341

Hannam, K. D., Midwood, A. J., Neilsen, D., Forge, T. A., & Jones, M. D. (2019). Los bicarbonatos disueltos en el agua de riego contribuyen al eflujo de CO2 del suelo. Geoderma, 337, 1097-1104. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.040

Kozisek, F. (2020). Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 112, 104589. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589

Lopez-Molinero, A., Tejedor Cubero, V., Domingo Irigoyen, R., & Sipiera Piazuelo, D. (2013). Feasibility of digital image colorimetry—Application for water calcium hardness determination. Talanta, 103, 236-244. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.10.038

Michałowski, T., & Asuero, A. G. (2012). New Approaches in Modeling Carbonate Alkalinity and Total Alkalinity. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 42(3), 220-244. https://doi.org/10.1080/10408347.2012.660067

Odonkor, S. T., & Mahami, T. (2020). Escherichia coli as a Tool for Disease Risk Assessment of Drinking Water Sources. International Journal of Microbiology, 2020(1), 2534130. https://doi.org/10.1155/2020/2534130

OMS. (2017, abril 24). Guias para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950

OMS. (2023, septiembre 13). Agua para consumo humano. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water.

OMS (2017). Calidad del agua y salud: revisión de la turbidez: información para reguladores y proveedores de agua.

Pachepsky, Y. A., & Shelton, D. R. (2011). Escherichia Coli and Fecal Coliforms in Freshwater and Estuarine Sediments. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 41(12), 1067-1110. https://doi.org/10.1080/10643380903392718

Pal, P. (2014). Detection of coliforms in drinking water and its effect on human health—A review. International Letters of Natural Sciences, 12(2). http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-b182ed0c-c0c9-4f32-9362-178a5353eac0

Pal, S., y Chakraborty, K. (2017). Diferentes aspectos del cloruro en agua dulce: una revisión. Revista internacional de tendencias actuales en ciencia y tecnología , 7 (8), 20295-20303.

Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Lartey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. PLOS ONE, 17(1), e0262117. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117

Smith, D. L., & S. Fritz, J. (1988). Rapid determination of magnesium and calcium hardness in water by ion chromatography. Analytica Chimica Acta, 204, 87-93. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)86348-5

Thompson, K., & Kadiyala, R. (2013). Protecting Water Quality and Public Health Using a Smart Grid. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 02(02), 73-80. https://doi.org/10.4236/cweee.2013.22B013

Giovanny M. Mosquera | Ana E. Ochoa-Sánchez | Juan Pesántez | Patricio Crespo | Rolando Célleri, Hidrología del páramo. En R. Hofstede, P. Mena-Vásconez y E. Suárez, (Eds.), Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro (pp. 76-101). USFQ PRESS.

Craig S.Tucker and Louis R. D'Abramo, Managing High pH in Freshwater Ponds

Quebrada seca de Naranja Puckyo