



Determinación del caudal y calidad de agua mediante bioindicadores en los páramos de la Comunidad el Calvario en el Cantón Tisaleó

Determination of water flow and quality through bioindicators in the páramos of the El Calvario Community in the Tisaleó Canton

Determinação do fluxo e qualidade da água através de bioindicadores nos páramos da Comunidade El Calvario no Cantão Tisaleó

Robinson Fabricio Peña Murillo ^I
20200867@lamolina.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0001-6196-4039>

Jessica Magaly Peralta Peralta ^{II}
jmagalitaperalta@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-7215-9659>

Juan Eduardo León Ruiz ^{III}
juan.leon@esPOCH.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0002-5304-7969>

Adriana Catalina Guzmán Guaraca ^{IV}
catalina.guzman@esPOCH.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0003-0473-2041>

Correspondencia: 20200867@lamolina.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 25 de abril de 2023 * **Aceptado:** 04 de mayo de 2023 * **Publicado:** 25 de mayo de 2023

- I. Magíster Scientiae en Ingeniería de Recursos Hídricos y Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Ingeniero Agrónomo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Doctorando en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú.
- II. Ingeniera Forestal, Investigadora Independiente, Riobamba, Ecuador
- III. Doctor en Ingeniería de Recursos Hídricos y Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Centro Experimental del Riego, Grupo de Investigación y Transferencia de Tecnología en Recursos Hídricos (GITRH), Riobamba, Ecuador
- IV. Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas con Orientación en Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en Cuencas de Montaña, Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Manejo de Recursos Naturales y Agricultura, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente Investigador de la Facultad de Recursos Naturales “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

La presente investigación propone determinar el caudal y la calidad de agua mediante bioindicadores en los páramos de la comunidad el Clavario, ubicado en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua; para la medición del caudal se utilizó el método de aforo volumétrico y vertedero triangular en 5 estaciones, obteniendo como resultado un caudal promedio mensual de 12,5L/seg. Los análisis físico-químicos según los promedios de las tres zonas de estudio fueron: color 220,67 UndCo/Pt, conductividad 57,50 uSiems/cm; turbiedad 17,65 UNT, rangos no aceptables, mientras que en los sólidos disueltos 36,5 mg/L; dureza 40 mg/L valores presentados en cantidades equilibradas. Los análisis químicos iniciaron pH 6 ácido; cromo 0,03 mg/L, nitrato 1,2 mg/L, nitrito 0,08 mg/L en niveles moderados, plomo 0,32 mg/L, cadmio 0,03 mg/L, cobre 0,09 mg/L en niveles aceptables. Los análisis microbiológicos, las coliformes totales fue 65343,33 UFC/100 ml, coliformes fecales 3267,00 UFD/100 ml, valores que están fuera de los establecido. El análisis de macroinvertebrados, el índice BMWP en las estaciones (0 – 4) presentó contaminación moderada y calidad regular, en la estación 5 la contaminación ligera y calidad regular. Se concluye que la calidad de agua no es aceptable y se recomienda una bioremediación para equilibrar las propiedades fisicoquímicas e inhibir ciertos elementos, principalmente metales pesados peligrosos para la salud y demás actividades.

Palabras Clave: caudal; calidad de agua; macroinvertebrados; índices de bioindicación.

Abstract

The present investigation proposes to determine the flow and water quality through bioindicators in the páramos of the El Clavario community, located in the Tisaleo canton, Tungurahua province; For flow measurement, the volumetric gauging method and triangular weir were used at 5 stations, obtaining as a result an average monthly flow of 12.5L/sec. The physical-chemical analyzes according to the averages of the three study areas were: color 220.67 UndCo/Pt, conductivity 57.50 uSiems/cm; turbidity 17.65 UNT, non-acceptable ranges, while in dissolved solids 36.5 mg/L; hardness 40 mg/L values presented in balanced amounts. Chemical analyzes started pH 6 acidic; Chromium 0.03 mg/L, Nitrate 1.2 mg/L, Nitrite 0.08 mg/L at moderate levels, Lead 0.32 mg/L, Cadmium 0.03 mg/L, Copper 0.09 mg/L at acceptable levels. The microbiological analysis, the total coliforms was 65343.33 UFC/100 ml, fecal coliforms 3267.00 UFD/100 ml, values that are out of the established. The analysis of macroinvertebrates, the BMWP index in stations (0 - 4)

presented moderate contamination and regular quality, in station 5 light contamination and regular quality. It is concluded that the water quality is not acceptable and bioremediation is recommended to balance the physicochemical properties and inhibit certain elements, mainly heavy metals that are dangerous to health and other activities.

Keywords: flow; water quality; macroinvertebrates; bioindication indices.

Resumo

A presente investigação propõe determinar o fluxo e a qualidade da água por meio de bioindicadores nos páramos da comunidade El Clavario, localizada no cantão Tisaleo, província de Tungurahua; Para medição de vazão, foi utilizado o método de medição volumétrica e açude triangular em 5 estações, obtendo como resultado uma vazão média mensal de 12,5L/seg. As análises físico-químicas segundo as médias das três áreas de estudo foram: cor 220,67 UndCo/Pt, condutividade 57,50 uSiems/cm; turbidez 17,65 UNT, faixas não aceitáveis, enquanto em sólidos dissolvidos 36,5 mg/L; dureza 40 mg/L valores apresentados em quantidades balanceadas. As análises químicas iniciaram pH 6 ácido; Cromo 0,03 mg/L, Nitrato 1,2 mg/L, Nitrito 0,08 mg/L em níveis moderados, Chumbo 0,32 mg/L, Cádmio 0,03 mg/L, Cobre 0,09 mg/L em níveis aceitáveis. Na análise microbiológica, o coliformes totais foi de 65343,33 UFC/100 ml, coliformes fecais 3267,00 UFD/100 ml, valores que estão fora dos estabelecidos. Na análise dos macroinvertebrados, o índice BMWP nas estações (0 - 4) apresentou contaminação moderada e qualidade regular, na estação 5 contaminação leve e qualidade regular. Conclui-se que a qualidade da água não é aceitável e a biorremediação é recomendada para equilibrar as propriedades físico-químicas e inibir certos elementos, principalmente metais pesados que são perigosos para a saúde e outras atividades.

Palavras-chave: fluxo; qualidade da água; macroinvertebrados; índices de bioindicação.

Introducción

Los páramos en el Ecuador cubren alrededor de 1.250.000 ha del territorio nacional, estos ecosistemas son de gran importancia ya que posee la capacidad de almacenar y distribuir el agua proveniente de las lluvias, los deshielos y la condensación de la neblina, además el agua es salvaguardada por la vegetación que crece sobre ellos y que los hace funcionar como una esponja

que recoge y distribuye el agua de manera constante y limpia, incluso en épocas de sequía (Briceño, 2016).

La ecoregión de “páramo” comprende aproximadamente 35.000 km² en los Andes tropicales, incluyendo a Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte del Perú (es decir entre el 11° Norte al 8° Sur). Por lo general, se encuentra entre los 3.000-3.500 m.s.n.m y 4.500-4.700 m.s.n.m. y recibe en promedio una precipitación de aproximadamente 900 a 2.500 mm/año. Es un ecosistema en las cumbres de montaña del norte andino, nuboso y con temperaturas bajas relativamente constantes. Tiene una distribución espacial de archipiélago y de muy alta diversidad y endemismo (Sánchez, 2015).

El primer aspecto por considerar sobre el valor hídrico del páramo es que el volumen hídrico total que provee a sus habitantes, siendo este volumen diario aproximado de 5m³/seg. El aspecto favorable es la vegetación que capta neblina (aunque es un efecto a veces sobreestimado) y del poco consumo de agua por parte de la vegetación propia de este ecosistema (Sánchez, 2015).

El ecosistema páramo ha proporcionado una importante función socio-económica a la comunidad Andina, debido a las circunstancias climáticas especiales, los suelos volcánicos poco profundos y porosos con alto contenido de materia orgánica, su topografía formada por la acción de los glaciares y la hidrología superficial del páramo. Los ríos que descienden desde los páramos tienen un flujo base sostenido como un resultado de la elevada capacidad de regulación del agua del páramo (Sánchez, 2015).

El Ecuador es uno de los países privilegiados al contar con este ecosistema rico en flora y fauna nativa, por consiguiente, los páramos brindan bienes y servicios ambientales. Los primeros son “los productos de la naturaleza directamente aprovechados por el ser humano, tales como: madera, agua, suelo, aire, flora y fauna silvestre (Velasco, 2004).

Sin embargo, esta función está amenazada por un incremento de la actividad humana durante los últimos años, esta presencia tiene un impacto directo en el ciclo del agua por medio de cambios en las propiedades del suelo, vegetación y la construcción de infraestructuras. Por otro lado, hay un impacto indirecto en la hidrología del páramo debido a los cambios climatológicos, quemas no planificadas, introducción de especies exóticas como el pino, el sobrepastoreo, la agricultura, generación de energía eléctrica, entre otros (Sánchez, 2015).

Gran parte de los páramos de la Región Interandina han estado sometidos a presiones a través de prácticas comunes de la agricultura, ganadería y reforestación con especies introducidas. Las

quemadas en gran parte de ellos son una práctica habitual que se realiza con el objetivo de rebrotar paja tierna para alimentar el ganado, y así aumentar la productividad en la ganadería (Velasco, 2004).

Por lo tanto siendo el páramo la fuente generadora de varios recursos, entre los principales el recurso hídrico, la presente investigación pretende evaluar la cantidad y calidad de la hidrología del caudal comprendido por las vertientes “Pampas de San Antonio” del páramo ubicado en la comunidad el Calvario, tomando en cuenta sus propiedades y vulnerabilidades del estado actual de los factores comprendidos en la hidrología de este caudal, principalmente a la correlación clima - suelo y su impacto sobre el comportamiento hidrológico. Permitiendo tener una visión precisa de la relación causada por las actividades humanas u otras involucradas indirectamente sobre este ecosistema, principalmente en la hidrología del mismo.

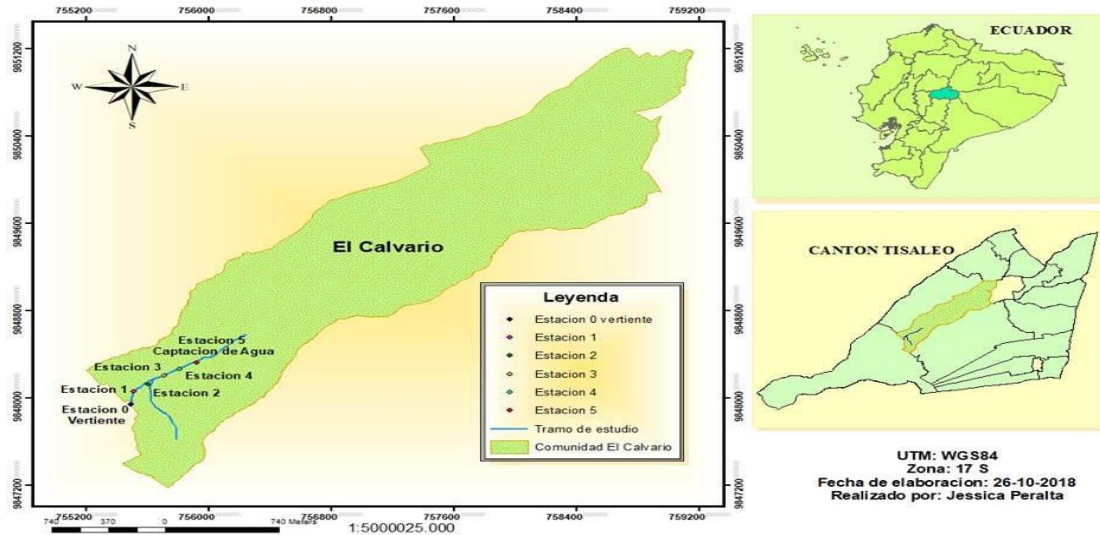
Metodología

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en los páramos de la comunidad El Calvario, Cantón Tisaleo a una altitud de 3743 msnm, temperatura media anual de 10°C. Según el (MAE 2017), el área de estudio está ubicada en la zona de vida del Bosque siempre verde montano alto (parte alta) y Estepa espinosa montano bajo (parte baja).

Gráfico N°1

Mapa de ubicación del área de estudio en el cantón Tisaleo- comunidad El Calvario



Fuente: Trabajo de campo y gabinete

Elaborado: Autores

Para establecer la variación de los caudales en diferentes meses se tomó en consideración:

- Se reconoció el área total de la zona con ayuda del presidente de la comunidad y con personas aledañas a la zona.
- La selección de los sitios de muestreo se hizo en base a los servicios ambientales y el interés de la comunidad donde se observó el estado de los caudales y la calidad del agua de la zona.
- Con la ayuda de un GPS se georreferenció el área de estudio, donde las estaciones de monitoreo fueron situadas cada 200 metros a diferentes alturas, en dirección a la corriente lo cual permitió seleccionar los puntos de muestreo.

Para la medición de los caudales se aplicó dos métodos: aforo volumétrico y vertedero triangular:

- El método de aforo volumétrico se aplicó en la vertiente denominada la misma que consistía en elaborar una represa utilizando un tubo PVC de 1m de largo con un diámetro de 50mm, con la finalidad de captar el agua en un balde de volumen conocido y así determinar el tiempo en que se tardó en llenar; dicho procedimiento se repitió 3 veces cada mes para tener mayor exactitud y finalmente aplicar la fórmula $q=v/t$.
- Para las estaciones siguientes se aplicó el método del vertedero Triangular que tiene una dimensión 45 cm y un ángulo de 90° , es importante instalar el vertedero con firmeza en

forma transversal a la sección del canal para formar el pozo de amortiguación, además con un 1 m de distancia se colocó la estaca y finalmente con la ayuda de un flexómetro se tomó el nivel de agua alcanzado para posterior aplicar la formula $Q=1.38*H^{(5/2)}$ L/s, donde H: es la altura de la lámina de agua en metros.

- c. Para determinar el caudal total del afluente se tabulo todos los datos promedios obtenidos en las 6 estaciones durante 4 meses de evaluación.

El análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua captada por la comunidad:






- a. Se consideró tres zonas diferentes para la recolección de muestras de agua a lo largo del riachuelo, esta división estuvo estructurada en: Zona Alta (3868 msnm), Zona Media (3808 msnm), Zona Baja (3769 msnm).
- b. Se analizó factores como flora, fauna, actividades antrópicas relacionados a la calidad del agua, para lo cual fue necesario realizar un diagnóstico de cada estación con la finalidad de determinar el estado de cada zona en estudio.
- c. Para el muestreo de agua se tomó en consideración puntos representativos principalmente donde el agua estaba bien densa, evitando rebosaderos de las represas y confluencias de acequias.
- d. Las muestras de agua fueron almacenadas en botellas de 1 litro y frascos esterilizados; para este proceso las muestras fueron tomadas al inicio de zonas baja hacia las zonas alta, estas muestras permitieron el análisis físico – químico y el microbiológico.
- e. Por considerarse agua de consumo doméstico se aplicó el protocolo de muestreo y conservación de muestras Standard Methods, luego se trasladó las muestras para el análisis en el Laboratorio de Servicios analíticos químicos y microbiológicos en aguas y alimentos (SAQMIC-RIOBAMBA) donde se analizaron los parámetros físicos: color, conductividad, turbiedad y solidos disueltos. Para el caso del análisis químico: cadmio, cobre, plomo, cromo, nitritos, nitratos, dureza y pH; en el biológico: coliformes totales y coliformes fecales.
- f. Con los datos obtenidos en los análisis de laboratorio de las tres zonas, se procedió al análisis y descripción de estos, tomando en cuenta los límites permisibles de cada uno de los parámetros analizados con la finalidad de conocer la situación actual del agua de este caudal para la toma de decisiones sobre el uso de este afluente.

Para la Evaluación de la calidad del agua en la zona de impacto utilizando Índices de bioindicación.

- a. Se realizó dos muestreos de macroinvertebrados en dos periodos diferentes (febrero y abril), se empleó la red tipo “D-net”, para lo cual se exploró toda la zona de estudio hasta albergar cada hábitat.
- b. Para el muestreo se realizó una remoción del suelo de manera que los organismos quedaran atrapados dentro de la red, la remoción se la hizo por un tiempo de 5 minutos, dicha remoción se la realizó dos veces en cada estación de monitoreo.
- c. Las muestras recolectadas fueron almacenadas en frascos de boca ancha con alcohol al 75%, cada muestra fue etiquetada con el punto de monitoreo (estación), la fecha de recolección, provincia, cantón, parroquia, coordenada geográfica y responsable de la investigación.
- d. Para la limpieza de macro invertebrados se tamizo cada muestra con un cernedero biológico y agua esterilizada, esto permitió la separación de restos vegetales y sedimentos impregnados en los macro invertebrados; con una pinza metálica se ubicaron los especímenes presentes de cada hábitat en tubos de ensayo con alcohol al 75% debidamente rotulado.
- e. La identificación de los macro invertebrados se realizó con un estereoscopio y una cámara fotográfica adaptada al lente de este equipo, para el registro de las familias en base a las imágenes de los macro invertebrados encontrados en las muestras.
- f. El nivel taxonómico de identificación por cada individuo se basó en el nivel de familia que es el parámetro fundamental para la aplicación de los índices de bioindicación.
- g. Luego de la identificación se procedió a la obtención de puntajes para determinar el grado de contaminación, clase de agua y calidad de esta, para esto se realizó la contabilización de los macroinvertebrados benéficos y perjudiciales de los dos muestreos realizados y según lo obtenido asignar la calidad del agua en base a los rangos establecidos por el índice BMWP. Para el caso del índice ABI se realizó similar proceso al anterior para establecer el grado de contaminación y calidad.

Rangos que determinan las clases de calidad de agua establecidos para el *Índice Biological Monitoring Water Party (BMWP)* y su respectiva representación e interpretación relacionada con colores.






Gráfico N° 2
Índice Biological Monitoring Water Party (BMWP)

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Valor de ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150 101-120	>9-10 >8-9	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	>6,5-8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-60	>4,5-6,5	Aguas moradamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	>3-4,5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas situación critica	

Fuente: (Modificado de Roldán, 2003)

Valores de referencia para la interpretación de la calidad de agua. Clases de Estado Ecológico según Índice Andean Biological Index (ABI) en Ecuador.

Gráfico N° 3
Índice Andean Biological Index (ABI) en Ecuador

Calidad de agua	Puntuación	Color
Muy bueno	>96	
Bueno	59-96	
Regular	35-58	
Malo	14-34	
Pésimo	<14	

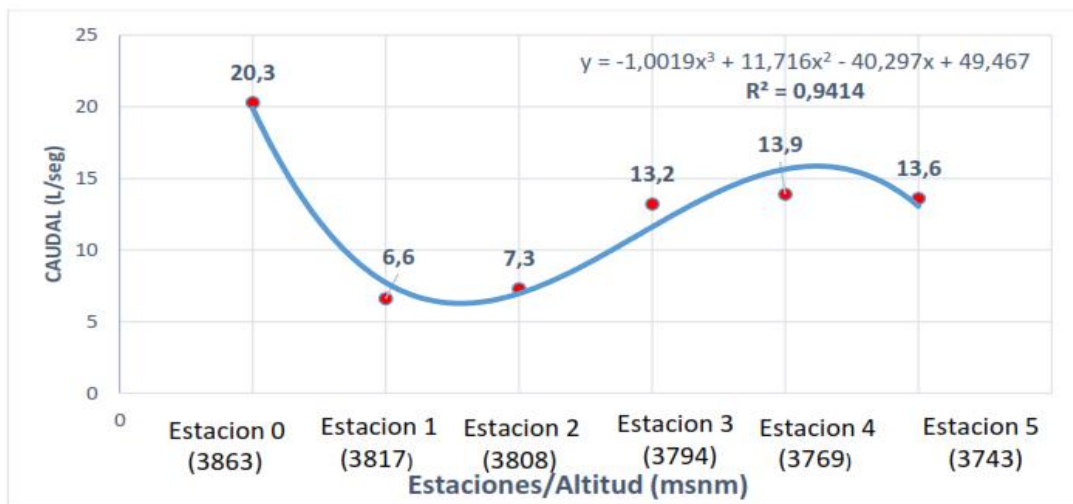
Fuente: (Acosta et al., 2009)

Resultados

La estimación de los caudales promedio, en el periodo enero – abril, para cada estación respectivamente, se determinó que el volumen en la estación 0 fue de 20,31 L/seg. En la estación 1 fue de 6,62 L/seg; con una pendiente ligeramente empinada del 23%, en la estación 2 fue de 7,32

L/s con una pendiente plana del 3%; en la estación 3 fue obtuvo 13,22 L/s, con un pendiente moderadamente inclinado del 7%, en la estación 4 fue de 13,9 L/seg: con un pendiente moderadamente inclinado del 7%. Finalmente, en la estación 5 fue de 13,65 L/seg, con un pendiente fuertemente inclinado de un 12%. Según los resultados obtenidos se determinó que existe una variación volumétrica por estación, pues se pudo apreciar que las estaciones 0 y 5 son las que mayor promedio alcanzaron durante los 4 meses de evaluación a diferencia de las demás estaciones. Para Bruijnzeel et al. (1995), En el caso de las zonas bajas existe más caudal por la baja radiación, la permanencia de la humedad en el suelo, altos contenidos de materia orgánica y una densidad aparente muy baja. Por lo tanto, bajo estas condiciones de saturación de humedad en el suelo la vegetación transpira menos lo cual genera las condiciones óptimas para inducir un mayor volumen de agua.

Gráfico N° 4
Caudal promedio por estación por zona geográfica



De acuerdo con los datos del gráfico 3, en la estimación de los caudales promedio por estación, en base a su ubicación geográfica, se determinó que la estación con mayor cantidad hídrica fue la estación 0 con 20,31 L/seg, seguido de las estaciones 3, 4 y 5, con un promedio de (13,22), (13,9) y (13,65) L/seg respectivamente, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en las estaciones 1 y 2 con los promedios de (6,62) y (7,32) L/seg según su orden. Es importante recalcar que, según la curva de tendencia, se determinó una variación significativa por estación, pues se aprecia que

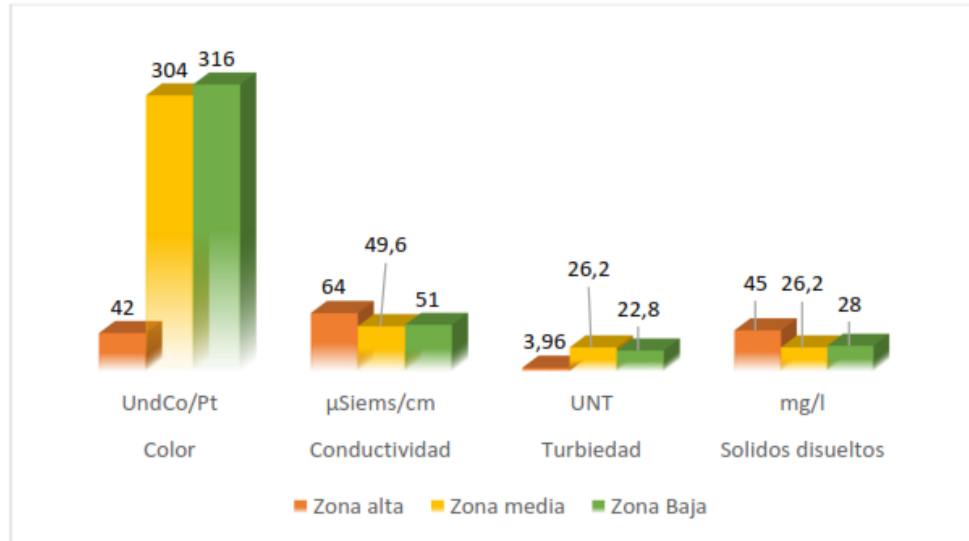
las estaciones 1 y 2 son las de menor promedio a las demás, estas variaciones pueden estar relacionadas a varios factores que suscitan en este tipo de ecosistemas.

De acuerdo al Consejo Nacional de Recursos Hídricos (1982), en la actualidad Secretaria Nacional del Agua (Senagua) (2018), el caudal promedio total y permanente de la vertiente de la comunidad el Calvario contaba con un caudal de 1,16 L/seg, mismas que han sido distribuidas a zonas de producción agrícola y ganaderas, el rango altitudinal ha influido en su distribución a los diversos sectores cercanos de esta vertiente. Con lo mencionado anteriormente se pudo comprobar que el caudal vario significativamente hasta la actualidad, puesto que en esta investigación se determinó un caudal de 12,50 L/ seg, lo cual permite deducir que los datos promedios tomados en la anterior investigación se encontraban en un rango de 0 – 1,2 L/seg, independientemente del método que se haya aplicado en aquel ensayo, a diferencia del presente trabajo donde se pudo apreciar un rango de 6 a 21,50 L/seg. Senagua atribuye las ubicaciones geográficas de cada punto de almacenamiento hídrico, con lo que se torna importante considerar y verificar su influencia con investigaciones ejecutadas similares a la misma, con lo mencionado anteriormente es factible analizar factores que alteren el volumen de estos ecosistemas.

Regalado al. (2012), afirma que el páramo de menor altitud suele ser más húmedo por las lluvias y niebla constante, caso contrario se observa en el páramo situado en la cima de la montaña por no contar con barreras que intercepten las masas de aire húmedo ascendente. Los caudales de la zona alta, media y baja pueden ser afectados por el deterioro de las propiedades hidro-físicas por el pisoteo del ganado, la remoción del material vegetal por quemas, cultivos o minería como suele ocurrir en ciertas zonas de paramo que han sido sometidas a diferentes procesos de alteración de coberturas y de suelos. En base a lo comprobado por este autor y la observación del estado actual de las cinco zonas en estudio, se puede atribuir que los niveles bajos de caudal de la estación 1 y 2 en la zona alta y media respectivamente es por el efecto causado de la altitud y los impactos antrópicos producidos en dicha zona. No obstante, se apreció que todas las estaciones tuvieron cierta alteración por la ganadería y agricultura.

Gráfico N° 5

Análisis físico del agua por zona geográfica



El análisis físico del agua por zona geográfica, referente al color los resultados obtenidos se determinaron que la estación con mayor valor fue la zona alta con un valor de 316 UndCo/Pt seguido de la zona media con 304 UndCo/Pt, mientras en la zona baja con 42 UndCo /Pt. Según las normas TULSMA el límite adecuado es de 20 UndCo /Pt., con lo cual se comprobó que actualmente este caudal no es recomendable para el consumo humano, debido al exceso de materiales disueltos y suspendidos dentro del mismo.

La conductividad se determinó un valor alto en la zona baja con 64,0 μSiems/cm, seguido de la zona alta con 51,0 μSiems/cm; y con el índice más bajo en zona media con 49,6 μSiems/cm; según lo obtenido se determinó que el caudal de todas las zonas tiene una alta conductividad ya que su límite máximo es de 1,5 μSiems/cm. Por lo tanto, no es recomendable su uso para consumo potable por la excesiva concentración de sales y carbonatos.

La turbiedad presentó valores altos en la zona media con 26,2 UNT, seguido de la zona alta con 22,8 UNT y con el índice más bajo en zona la baja con 3,96 UNT. Según el análisis la zona media y alta no se hallan en un rango aceptable puesto que el nivel máximo debe ser de 10, a excepción de la zona baja donde se tiene un rango de 3,69; determinando un nivel bajo de materia sin disolver en esta zona.

Referente a los sólidos disueltos presentaron valores altos en la zona baja con 45,0 mg/l, seguido de la zona alta con 28,0 mg/l, y con el índice más bajo se apreció en la zona media con 26,2 mg/l. De acuerdo con lo analizado se apreció que las tres zonas tienen niveles aceptables, pues no

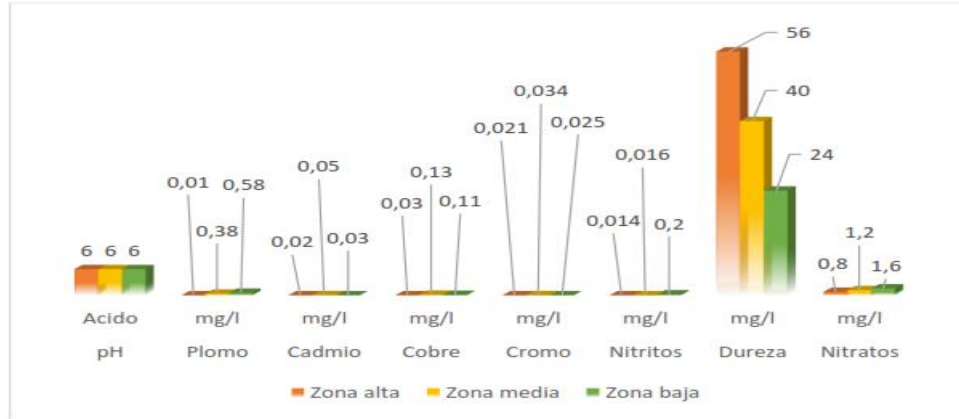
sobrepasan en nivel máximo de 500 mg/l, esto permitió comprobar que no existe exceso de sales y algunos rastros de compuestos orgánicos.

Según Mejicanos (2008), citado por Vásquez (2016), en su investigación, la conductividad eléctrica varía entre 32,54 y 591.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (rango aceptable), de turbidez > 15 (rango no aceptable), sólidos totales un valor mínimo promedio de 81.5 mg/L (rango aceptable), de acuerdo a estos resultados los desequilibrios pueden darse por la presencia de carbonatos, suelos silíceos, iones positivos y negativos, solutos insolubles y residuos generados por la agricultura, la ganadería y alteraciones por el ser humano. En base a lo mencionado anteriormente, se atribuye los desequilibrios de estos parámetros están relacionados con los factores citados en la anterior investigación, puesto que en la evaluación de fase de campo se observó actividades similares.

Según Hooda & Alloway (1998) citado por Vásquez (2016), la relación entre la textura y tamaño de partículas del suelo, las precipitaciones en los ecosistemas y el contenido de materia orgánica es uno de los factores que influye en la retención y concentración de los minerales, color, conductividad, sales y minerales y turbiedad, principalmente por la propiedad de las isoterms que facilitan la adsorción y correlación de partículas de sales y sólidos de difícil disolución en el agua; añadiendo las alteraciones antrópicas, agrícolas, pecuarias, industriales y mineras. Con lo mencionado se atribuye que los niveles excedidos en la conductividad, el color y la turbiedad se deben a los factores mencionados, pues el estado del páramo y las actividades ya citados se asemejan a esta zona de estudio.

Gráfico N° 6

Análisis químico del agua por zona geográfica



El análisis químico por zona geográfico, presento valores iguales en las 3 zonas, con 6,0. Entonces según lo analizado y las normas de calidad se determinó que el agua se halla en un rango aceptable ya que el nivel máximo va de 6-9 por lo tanto se comprobó que no se requiere tratamiento alguno para mejorar este factor para convertirla en potable y apta para el consumo humano y el sector agrícola.

El pH presentó valores iguales (6) en las tres zonas, presentando niveles aceptables, sin requerir tratamiento alguno.

El plomo presentó valores altos en la zona media y alta, con 0,38 y 0,58, mientras que el valor más bajo se dio en la zona baja con 0,014 mg/l, donde los valores no aceptables están en la zona baja y media, ya que el índice máximo es de 0,05 mg/l respectivamente.

El cadmio, los valores en la zona baja, media y alta, fueron de (0,02), (0,05) y (0,03) mg/l respectivamente, donde este elemento se encuentra en rangos no aceptables en las tres zonas, pues el índice máximo es de 0,001 mg/l respectivamente; por lo tanto, el caudal requiere tratamientos de mejoramiento hídrico para disminuir los niveles de este metal.

El cobre, los valores determinados en la zona baja, media y alta, fueron de (0,02), (0,05) y (0,03) mg/l respectivamente, comprobó que este elemento se encuentra en rangos no aceptables en las tres zonas, pues el índice máximo es de 0,001 mg/l.

El cromo determinado en la zona baja, media y alta, fueron de (0,021), (0,034) y (0,025) mg/l, donde se encuentra en un nivel equilibrado en las tres zonas.

Los nitritos determinados en la zona baja, media y alta, fueron de (0,014), (0,016) y (0,2) mg/l para lo cual presenta niveles equilibrados de concentración en las tres zonas, ya que el índice permisible es de 1 mg/l.

La dureza se determinó que la zona baja posee mayor índice con 56 mg/l seguido de la zona media con 40 mg/l, mientras que en la zona alta con el menor valor fue de 24 mg/l, se comprobó que el agua de todas las tres zonas tiene una concentración total aceptable.

Los nitratos, se determinó que el mayor valor se dio en la zona alta con (1,6 mg/l), seguido de la zona media con (1,2 mg/l), mientras que el valor más bajo se obtuvo en la zona baja con (0,08 mg/l), lo que presenta un nivel aceptable en las tres zonas.

Velasco, (2004) citado por Gómez, (2014) según su investigación de caudales a diferentes zonas altitudinales la variabilidad físico-química pueden manifestarse desde ácidas, muy dulces, de extrema alcalinidad, elevadas concentraciones de sales, minerales perjudiciales, metales pesados, dureza total y compuestos nitrogenados. La principal causa de estos desequilibrios es la contaminación derivada de la presencia de ganado, actividades agropecuarias, derrame de combustibles y minería; en el caso de las zonas bajas por el vertido directo de aguas residuales urbanas y mayor alteración del ecosistema paramo. No obstante, las alteraciones o desequilibrios no siempre tendrán causas definidas, con lo que se torna fundamental analizar la principal causa efecto de cada parámetro. De acuerdo a la anterior investigación se puede mencionar que los desequilibrios físico-químicos están relacionados y ligados a efectos independientes que pueden generar un incremento, disminución o equilibrio.

Fachinelli, et al. (2001), citado por Bascones, (2003), menciona que existe dos tipos de metales pesados, los primeros que son los oligoelementos, necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos, estos son: arsénico, boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno; manganeso, níquel; selenio y zinc. Mientras que los metales cuya presencia en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos por ser altamente tóxicos, estos son: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi. De acuerdo con lo anterior se determinó que el agua de este caudal se encuentra en un estado peligroso por la presencia del plomo, cadmio y cobre en las tres zonas de estudio.

Lund, (1990), citado por Bascones, (2003), afirma que la presencia de metales pesados se da por una modificación del contenido natural y son muy variadas: vertidos industriales, vertidos de actividades mineras, aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales, gases de combustión, emisión de partículas del tráfico rodado y, por último, aunque no menos importantes los residuos sólidos de origen doméstico. En base a lo anterior se atribuye que la presencia de los metales (Pb, Cd y Cu) en las tres zonas de estudio están relacionadas con estas actividades, pues

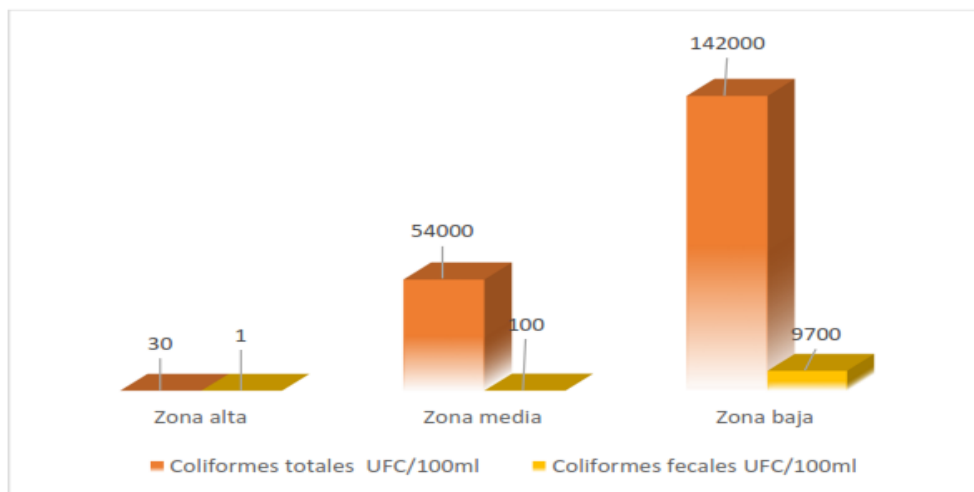
en la evaluación de la zona de estudio se apreció actividades similares a las mencionadas e incluyendo el derramamiento de aceites y combustibles (fuente principal de metales pesados) en los suelos del páramo por las actividades deportivas de motocross que se practica en esta comunidad.

Driel, (1984), citado por Bascones, (2003), menciona que uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos e hídricos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los metales pesados hacia aguas superficiales y profundas tienden a estar más disponibles en pH muy ácidos, la (USDA, 1971) establece que el pH normal está entre 6 y 7, los suelos con pH 8,5 son alcalinos y los suelos con $< 5,5$ son muy ácidos, con lo cual se determina que este factor no influyo en la concentración de estos metales ya que el pH en las tres zonas de estudio es de 6,0 y se encuentran en los rangos normales.

Driel, (1984), citado por Bascones, (2003), menciona que los nitritos y nitratos se encuentran en estado natural a nivel de suelo, en bajas concentraciones (menos de 4 mg/L en agua). Sin embargo, el nitrato y nitrito son altamente solubles y transportados fácilmente cuando fuentes contaminantes entran en contacto con el agua, como es el caso de pozos sépticos, basureros, fertilizantes, estiércol, y material vegetal en descomposición. La precipitación o la irrigación lixivian los nitritos y nitratos de estas fuentes cuando el agua se infiltra en la tierra y corre en la superficie, hasta ser llevado a las aguas subterráneas y superficiales, su fácil movilización en el agua permite a menudo evaluar la calidad hídrica por ser un indicador de fuente de contaminación. En base a lo mencionado la presencia de estos elementos no nos garantiza un agua apta para la agricultura y por ende se torna necesario e importante los análisis previos para determinar la calidad del caudal.

Gráfico N° 7

Análisis microbiológico del agua /zona geográfica



En los análisis realizados se estipulo que en la zona baja los coliformes totales se hallan colonias de 30 UFC/100 ml, en la zona media con 5400 UFC/100 ml y en la zona alta con 142000 30 UFC/100 ml, en cuanto a los coliformes fecales en la zona baja se determinó colonias de 1 UFC/100 ml, en la zona media con 100 UFC/100 ml y en la zona alta 9700 UFC/100 ml coliformes fecales; de acuerdo a lo analizado se requiere hacer una bioremediación del caudal para el control total de estos organismos.

Tabla N° 1

Evaluación de la calidad de agua de acuerdo con el Índice BMWP

Estación	Valor	Clase	Grado de contaminación	Calidad
Es 0	47	III	Moderadamente contaminadas	Dudoso
Es1	43	III	Moderadamente contaminadas	Dudoso
Es2	43	III	Moderadamente contaminadas	Dudoso
Es3	48	III	Moderadamente contaminadas	Dudoso
Es 4	60	III	Moderadamente contaminadas	Dudoso

Es 5 62 II Ligeramente contaminadas Aceptable

Gran parte del área del caudal tiene una calidad no aceptable, por lo cual se debe realizar programas de mejoramiento hídrico principalmente para las 5 primeras zonas.

Tabla N° 2

Evaluación de la calidad de agua de acuerdo con el Índice ABI

Estación	Valor	Calidad
Es 0	41	Regular
Es 1	35	Regular
Es 2	35	Regular
Es 3	42	Regular
Es 4	51	Regular
Es 5	49	Regular

Todo el caudal no se encuentra en calidad óptima de uso y consumo por ende es necesario realizar un programa de mejoramiento hídrico del caudal para todas las zonas.

Conclusiones

- Se determinó que la cantidad hídrica del caudal al aplicar el método de aforo volumétrico y el método triangular se obtuvo un volumen de 12,50 L/ seg, cabe recalcar que según lo planteado por la OMS esta cantidad está dentro del rango requerido para cubrir la demanda de este recurso en la comunidad, no obstante, la cantidad puede variar su promedio mensual dependiendo de la zona de ubicación geográfica, pues se apreció que en cada estación se presentó volúmenes diferentes enero (9,69), febrero (12,31), marzo (13,44), abril (14,58), otro factor importante a considerar es la frecuencia y la cantidad de las precipitaciones por cada mes, donde en enero y febrero fueron de 35,4 mm y 37,8 mm; mientras que en marzo y abril con 23,6 mm y 30,1 mm, pero además las características ambientales de cada zona como la temperatura, humedad, edafología, y entre otros juegan un papel importante en el volumen de los caudales, sin embargo, las actividades del ser

humano pueden perjudicar en mayor nivel a estos ecosistemas acuáticos por el mal manejo de los mismos.

- En los análisis físicos se pudo apreciar que en las zonas baja, media y alta: la conductividad, el color, la dureza, los sólidos totales y turbiedad no están en niveles permisibles por las normas de calidad, y en lo que se refiere a los análisis químicos de las tres zonas, los niveles del cromo, plomo, cadmio y cobre se hallan en niveles no permisibles a excepción de los nitritos, nitratos y el pH que están en rangos aceptables.
- Los análisis microbiológicos de las tres áreas estudiadas, los índices de coliformes fecales y totales se encuentran en límites no permisibles por su alta cantidad de individuos. Las alteraciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos se hallan en relación directa con las actividades humanas, principalmente por la ganadería, la agricultura y deficiente manejo de residuos orgánicos e inorgánicos en la zona de estudio. Por lo tanto, el agua de este caudal no es recomendable para el consumo doméstico e incluso en la agricultura.

En los análisis de la calidad hídrica con macroinvertebrados se pudo determinar que al aplicar el índice BMWP y ABI , en las zonas altas e intermedias existe mayor grado de contaminación biológica, puesto que según la identificación y contabilización de los macroinvertebrados benéficos y perjudiciales en las 4 primeras estaciones tienen un grado de contaminación regular y una calidad dudosa, no obstante en la zona alta se determinó una contaminación ligera y una calidad aceptable, una de las principales causas a considerar es la incidencia humana que generan desequilibrios en los parámetros físicos y químicos y estos a su vez a los hábitats de estos organismos que son indispensables en otros ecosistemas. Al determinar que existe una estrecha correlación entre los parámetros evaluados se puede afirmar que un mínimo desfase en cualquiera de estos elementos, los demás también se verán afectados y consecuentemente la calidad del agua.

Referencias

1. Bascones, M. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, nivel fondo y de referencia. Recuperado de: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-ensuelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondoy-de-referencia--0.pdf>

2. Briceño, F. (2016) Caracterización fisicoquímica y microbiológica de suelos paramunos del p.n.n. sumapaz sometidos al cultivo convencional y orgánico de papa post-descanso de actividad agrícola. Recuperado de:
3. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7152/1/GonzalezBrice%C3%B1oFabianHernando2017.pdf>
4. Bruijnzeel, L. (1995) Hydrology and water management in the humid tropics. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/46534231_Hydrology_of_tropical_montane_cloud_forests_A_Reassessment
5. Garagoa. Recuperado de:
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1803/tesisJAGG.pdf>
6. Gómez, J. (2014) Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas, y la comunidad de macroinvertebrados como Bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río
7. Regalado, L. (2012). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. Legislación Ambiental Ecuatoriana. Recuperado de: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/233256-legislacionambiental-ecuatoriana/>
8. Sánchez, C. (2015) Estudio del estado actual del ecosistema páramo en Tungurahua. Recuperado de
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2015redEstudio_Estado_Actual_del_Ecosistema_P+%C3%ADramo.pdf
9. SENAGUA (2018). Secretaría Nacional Del Agua. Comité prodirectorío de aguas del caserío El Calvario del cantón Tisaleo: Expediente N 388-96O
10. Vásquez, M. (2016) Evaluación de la calidad fisicoquímica y biológica de la laguna de ubaque para el diseño y actualización de las medidas de manejo ambiental. Recuperado:
11. <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/9493/EVALUACION%20DE%20LA%20CALIDAD%20FISICOQUIMICA%20Y%20BIOL%C3%93GICA%20DE%20LA%20LAGUNA%20DE%20UBAQUE%20PARA%20EL%20DISEÑO%20Y%20LA%20AC.pdf?sequence1>

12. Velasco, J. (2004) Características fisicoquímicas de diferentes masas de agua: Cuenca del Duero (España). Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/36110743.pdf>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).