

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE LAS VERTIENTES PAKI POGGIO Y SHUSHURÍ, UBICADAS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

#### **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA FUENTE PAKI POGGIO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA SUPERIOR  
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**Kerly Dayan Delgado Ortiz**

**kerly.delgado@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Santiago Guerra Salcedo**

**santiago.guerra@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Kerly Dayan Delgado Ortiz declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**KERLY DAYAN DELGADO ORTIZ**

**Kerly.delgado@epn.edu.ecc**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por NOMBRE\_ESTUDIANTE, bajo mi supervisión.

---

**SANTIAGO GUERRA**

**DIRECTOR**

**Santiago.guerra@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Kerly Dayan Delgado Ortiz

## DEDICATORIA

Dedico a mis padres y mi hermano, quienes han sido fundamentales en mi trayectoria académica. Su constante apoyo, valiosos consejos, dedicación de tiempo y esfuerzo económico han sido la base que me ha permitido avanzar y superar desafíos. Son mi pilar incondicional, y sin ellos, este camino no habría sido posible.

A mi abuelita Angelita, cuya paciencia y aliento siempre han sido mi fuente de inspiración. En los momentos en los que pensaba rendirme, ella me brindaba la motivación necesaria para seguir adelante. Su presencia ha sido un faro de esperanza y fortaleza.

Finalmente, a la amistad sincera de Edhisson, Jennifer, mi mejor amiga Alisson, mi mejor amigo Jared y mi amigo incondicional del colegio Alexander. Su apoyo constante ha sido invaluable durante mi vida universitaria. Compartir buenos momentos al lado de ellos ha enriquecido mi experiencia y me ha dado el impulso necesario para enfrentar los retos académicos y de la vida cotidiana.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi profundo agradecimiento a los docentes de la carrera de Agua y Saneamiento Ambiental de la Escuela de Formación de Tecnólogos. Su dedicación al impartir conocimientos y compartir experiencias ha sido fundamental en mi formación académica. En especial, quiero reconocer la labor de mi director de tesis, el Ing. Santiago Guerra, cuya orientación y consejos diarios fueron vitales en el desarrollo de mi trabajo de investigación. Su disposición para escuchar a los estudiantes marcó la diferencia.

Quiero extender mi agradecimiento al equipo de ingenieros del Laboratorio de Docencia de Ingeniería Ambiental (LDIA) por su colaboración y por compartir sus valiosos conocimientos, contribuyendo así a mi aprendizaje.

Agradezco también a mis compañeros, Edhisson y Jennifer, por su apoyo constante en cada momento que lo necesité.

Finalmente, dedico un agradecimiento especial a mi madre, Silvia Ortiz, quien estuvo a mi lado, apoyándome incondicionalmente a pesar de la distancia. Su respaldo ha sido un pilar fundamental en mi trayectoria académica.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.1.1 Agua.....	3
1.1.2 Agua subterránea .....	3
1.1.3 Normativa .....	3
1.1.4 Límite aceptable .....	4
1.1.5 Calidad del agua para consumo humano.....	4
1.1.6 Calidad de agua embotellada .....	4
1.1.7 Índice de calidad del agua (ICA).....	4
1.1.8 Análisis del agua .....	4
1.1.9 Parámetros <i>in situ</i> .....	4
1.1.10 Parámetros <i>ex situ</i> .....	5
1.1.11 Tipo de muestra.....	5
1.1.12 Muestra Puntual .....	5
1.1.13 Tamaño de la muestra.....	5
1.1.14 Llenado del envase.....	5
1.1.15 Conservación y traslado de la muestra.....	5
1.1.16 Potencial Hidrógeno (pH) .....	7
1.1.17 Temperatura.....	7
1.1.18 Conductividad.....	7
1.1.19 Turbidez .....	8
1.1.20 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	8
1.1.21 Dureza.....	8
1.1.22 Acidez.....	8
1.1.23 Alcalinidad .....	8
1.1.24 Cloruros.....	9
1.1.25 Aluminio.....	9

1.1.26	Cobre .....	9
1.1.27	Hierro Ferroso .....	9
1.1.28	Hierro Total.....	9
1.1.29	Arsénico .....	10
1.1.30	Manganeso.....	10
1.1.31	Nitritos .....	10
1.1.32	Nitratos .....	10
1.1.33	Nitrógeno Amoniacal .....	10
1.1.34	Fósforo .....	10
1.1.35	Parámetros Microbiológicos.....	11
1.1.36	Coliformes fecales .....	11
1.2.1	Filtración.....	11
1.2.2	Filtro Desionizador.....	11
1.2.3	Filtro de pretratamiento.....	11
1.2.4	Purificación del agua .....	11
1.2.5	Radiación UV.....	12
2.	METODOLOGÍA.....	13
2.1	Ubicación y reconocimiento de la fuente de agua Paki Poggio.....	13
2.2	Evaluación de los parámetros.....	14
2.2.1	Temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto.....	14
2.2.2	Turbiedad .....	15
2.2.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	15
2.2.4	Dureza Cálcica .....	15
2.2.6	Estandarización de soluciones .....	16
2.2.7	Alcalinidad .....	17
2.2.8	Acidez.....	17
2.2.9	Cloruros.....	18
2.2.10	Aluminio.....	18
2.2.11	Cobre Total.....	18
2.2.12	Hierro Ferroso .....	18
2.2.13	Hierro Total.....	19
2.2.14	Arsénico .....	19
2.2.15	Manganeso.....	19
2.2.16	Nitritos .....	19
2.2.17	Nitratos .....	19
2.2.18	Nitrógeno Amoniacal .....	20

2.2.19	Fluoruros .....	20
2.2.20	Coliformes fecales .....	20
2.3	Aforo del caudal .....	20
2.4	Cálculo del ICA .....	21
2.5	Filtro de pretratamiento .....	22
2.6	Filtro desionizador .....	22
3.	RESULTADOS .....	23
3.1	Aforo del caudal .....	23
3.2	Mediciones de parámetros <i>in situ</i> .....	23
3.3	Mediciones de parámetros en laboratorio .....	24
3.4	Cálculo del ICA.....	25
3.5	Filtros de tratamiento .....	29
3.5.1	Filtro de pretratamiento.....	30
3.5.2	Filtro Desionizador.....	33
3.5.3	Neutralización.....	35
3.6	Sistema de desinfección .....	35
3.6.1	Tanque de almacenamiento .....	36
3.6.2	Filtros .....	36
3.6.3	Lámpara UV .....	38
3.7	Costos.....	39
4.	CONCLUSIONES.....	42
4.1	Conclusiones .....	42
4.2	Recomendaciones.....	43
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
6.	ANEXOS .....	49
	ANEXO I: Documento Evaluado por Turnitin .....	49
	ANEXO II: Vertiente Paki Poggio ubicada en Pelileo Tungurahua .....	57
	ANEXO III: Parámetros medidos in situ.....	57
	ANEXO IV: Muestreo .....	57
	ANEXO V: Estandarización .....	58
	ANEXO VI: Análisis de Hierro Total y Ferroso .....	58
	ANEXO VII: Determinación de Alcalinidad y Acidez .....	59
	ANEXO VIII: Determinación de cloruros.....	59
	ANEXO IX: Reactivos de parámetros ex situ.....	60
	ANEXO X: Acondicionamiento del agua.....	62

ANEXO XI: Cálculos.....	67
ANEXO XII: Enlaces.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Métodos generales para preservar muestras - análisis fisicoquímico.....	6
<b>Tabla 2.</b> Criterios físicos para el envasado de agua purificada y agua mineralizada purificada.....	7
<b>Tabla 3.</b> Ubicación terrestre del ojo de agua.....	14
<b>Tabla 4.</b> Peso de los parámetros .....	21
<b>Tabla 5.</b> Tiempos registrados durante la medición del caudal. ....	23
<b>Tabla 6.</b> Valores obtenidos con el multiparámetro y turbidímetro .....	23
<b>Tabla 7.</b> Resultados analíticos obtenidos en el laboratorio y sus correspondientes límites de acuerdo con la normativa INEN 1108. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Cálculo del ICA .....	25
<b>Tabla 9.</b> Mediciones de parámetros en función del caudal .....	30
<b>Tabla 10.</b> Mediciones realizadas utilizando un filtro de pretratamiento.....	32
<b>Tabla 11.</b> Resultados obtenidos utilizando un filtro de desionización .....	34
<b>Tabla 12.</b> Dosificación de hidróxido de sodio (NaOH al 5%) para aumentar el pH .....	35
<b>Tabla 13.</b> Dimensiones del tanque de almacenamiento .....	36
<b>Tabla 14.</b> Dimensiones de la manguera .....	37
<b>Tabla 15.</b> Equipos para un sistema de embotellado .....	39
<b>Tabla 16.</b> Costos de tuberías, codos y bomba para el sistema de embotellado representado en la figura 15.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de la vertiente Paki Poggio .....	13
<b>Figura 2.</b> Ojo de agua Paki Poggio.....	14
<b>Figura 3.</b> Parámetros generales conforme al índice de calidad.....	21
<b>Figura 4.</b> Cálculo del índice Subi para el pH.....	26
<b>Figura 5.</b> Cálculo del índice Subi para nitratos .....	26
<b>Figura 6.</b> Cálculo del índice Subi para fosfatos .....	27
<b>Figura 7.</b> Cálculo del índice Subi para temperatura.....	27
<b>Figura 8.</b> Cálculo del índice Subi para turbidez .....	28
<b>Figura 9.</b> Cálculo del índice Subi para OD .....	28
<b>Figura 10.</b> Cálculo del índice Subi Coliformes Fecales .....	29
<b>Figura 11.</b> Variación del pH en función del caudal .....	30
<b>Figura 13.</b> Mediciones de Dureza total al inicio y final del proceso .....	32
<b>Figura 14.</b> Mediciones de parámetros con un filtro de pretratamiento y desionización.....	33
<b>Figura 15.</b> Flujo gráfico de un sistema de embotellado .....	36
<b>Figura 16.</b> Dimensiones del cartucho .....	37
<b>Figura 17.</b> Características de los cartuchos.....	38
<b>Figura 18.</b> Modelos de lámparas AguaUV .....	39

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Determinación de Dureza Cálcica .....	15
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo de Dureza Total .....	16
<b>Ecuación 3.</b> Fórmula de estandarización .....	16
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo de Alcalinidad a la fenolftaleína .....	17
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo de Alcalinidad Total .....	17
<b>Ecuación 6.</b> Determinación de Acidez.....	17
<b>Ecuación 7.</b> Determinación de Cloruros.....	18
<b>Ecuación 8.</b> Caudal .....	20
<b>Ecuación 9.</b> Cálculo del ICA.....	22

## RESUMEN

En la provincia de Tungurahua, Ecuador, proporcionar agua potable en áreas rurales ha sido un desafío considerable. Sin embargo, desde 2013 se ha registrado un avance significativo donde se ha logrado reducir las enfermedades estomacales relacionadas con el agua en un 2%. Pero la región de Pelileo aún enfrenta obstáculos persistentes, especialmente debido a la contaminación de los ríos por descargas residuales e industriales de las ciudades cercanas de Patate y Pelileo.

A pesar de los avances en la salud relacionados con el agua, la disponibilidad y calidad del recurso hídrico siguen siendo desafíos críticos para la población local. La contaminación constante de los ríos plantea interrogantes sobre la seguridad del agua de la vertiente Paki Poggio para el consumo humano, especialmente en una región donde el acceso al agua potable en áreas rurales sigue siendo limitado.

Ante este escenario, el proyecto se enfocó en la evaluación exhaustiva de la calidad del agua de la vertiente Paki Poggio donde se analizó parámetros físicos, químicos y microbiológicos. De acuerdo con esto, se determinó su idoneidad para el consumo humano y para el posible uso de este recurso hídrico como agua embotellada para comercialización. Se llevó a cabo un tratamiento inicial al agua para cumplir con los estándares de la normativa INEN 2200 para el agua embotellada, y se sugirió un método de desinfección para aplicarlo posteriormente al tratamiento inicial.

Estas acciones no solo buscan garantizar la salud de la comunidad, sino también abrir posibilidades para la comercialización de agua embotellada, ofreciendo una solución integral para mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo sostenible en la región.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad del agua, estándares, evaluación, agua embotellada, desinfección.

## ABSTRACT

In the province of Tungurahua, Ecuador, providing drinking water in rural areas has been a considerable challenge. However, since 2013 there has been significant progress where water-related stomach diseases have been reduced by 2%. But the Pelileo region still faces persistent obstacles, especially due to river pollution from waste and industrial discharges from the nearby cities of Patate and Pelileo.

Despite water-related health advances, the availability and quality of water resources remain critical challenges for local people. Continued river pollution raises questions about the safety of Paki Poggio watershed for human consumption, especially in a region where access to drinking water in rural areas remains limited.

Given this scenario, the project focused on the exhaustive evaluation of the water quality of the Paki Poggio spring where physical, chemical, and microbiological parameters were analyzed. According to this, its suitability for human consumption and for the possible use of this water resource as bottled water for marketing was determined. An initial treatment of the water was carried out to comply with the standards of the INEN 2200 regulations for bottled water, and a disinfection method was suggested to be applied after the initial treatment.

These actions not only seek to guarantee the health of the community, but also open possibilities to produce bottled water, offering a comprehensive solution to improve the quality of life and promote sustainable development in the region.

**KEYWORDS:** Water quality, standards, evaluation, bottled water, disinfection.

# **1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

La calidad del agua destinada al consumo humano es esencial para salvaguardar la salud y el bienestar de las comunidades. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) destaca la necesidad de evaluar y controlar la calidad del agua potable, estableciendo estándares de seguridad que contribuyan a la prevención de enfermedades y al fomento de un estilo de vida saludable (Salvadó, 2021).

En el contexto ecuatoriano, el acceso al agua potable en zonas rurales presenta desafíos significativos. Según datos oficiales, solo el 39% de la población rural tiene acceso al agua. Además, en algunas comunidades rurales, la falta de infraestructura para el transporte de agua potable limita la viabilidad de su uso (García, 2021).

En la provincia de Tungurahua, se ha trabajado activamente para mejorar la calidad del agua destinada al consumo en áreas rurales. Desde 2013, se han logrado avances notables, reduciendo la incidencia de enfermedades estomacales relacionadas con la calidad del agua al 2% (Agenda Tungurahua, 2021, pág. 19).

No obstante, en Pelileo, Tungurahua, donde se encuentra la vertiente Paki Poggio, persisten desafíos relacionados con la contaminación del recurso hídrico. Los ríos de la región reciben descargas residuales e industriales de las ciudades de Patate y Pelileo, lo que contribuye a la contaminación de estas fuentes de agua (GAD Baños de Agua Santa, 2023, pág. 39).

Este proyecto se propone evaluar la idoneidad del agua de la vertiente Paki Poggio para el consumo humano, considerando los antecedentes mencionados. La importancia de este análisis radica en determinar si el agua cumple con los estándares requeridos para el consumo humano y, además, en explorar la posibilidad de su comercialización como agua embotellada, contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida de la población local.

## **1.1 Objetivo general**

Determinar la calidad de agua de la vertiente Paki Poggio para comercialización.

## **1.2 Objetivos específicos**

Definir los parámetros de caracterización y establecer las condiciones de muestreo aplicables al manantial Paki Poggio.

Realizar una evaluación exhaustiva de la calidad del agua proveniente de la vertiente Paki Poggio mediante el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA), con el objetivo de determinar su idoneidad para ser comercializada como agua embotellada.

Proponer un método de purificación para el manantial, ajustado a las normativas vigentes.

## **1.3 Alcance**

Las vertientes de agua ubicadas en la provincia de Tungurahua, parroquia García Moreno, tienen una función fundamental en el suministro de líquido vital para las comunidades tanto cercanas como lejanas. No obstante, se ha prestado escasa atención a los asuntos vinculados con la calidad de agua, lo que ha generado un desconocimiento acerca de la idoneidad de este recurso para su uso.

Para la evaluación de la calidad de la vertiente Paki Poggio se analizaron parámetros *in situ* y *ex situ* en donde se elaboró un plan de muestreo y se tomó muestras para análisis físicos, químicos y microbiológicos en laboratorio, bajo el cumplimiento normativo de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Instituto Nacional de Normalización (INN), donde se beneficiará a la comunidad de Pelileo.

Las muestras fueron sometidas a un análisis completo de acuerdo con la zona, esto implica la evaluación de parámetros como la turbidez, pH, presencia de metales como aluminio, cobre, hierro, arsénico y manganeso, que se analizó mediante espectrofotometría, al igual que nutrientes como nitritos, nitratos, fosfatos y nitrógeno amoniacal. Para detección de microorganismos se realizó DQO y coliformes. Y así otros parámetros como alcalinidad, dureza, acidez y cloruros que se determinó por titulación. Los resultados obtenidos se compararon con los límites establecidos por el Acuerdo Ministerial 097A (Tabla 1) y la INEN 2200 para agua embotellada.

Con base a los resultados se presentó una propuesta de método de purificación para el manantial Paki Poggio, en consonancia con las normativas NTE INEN 1108 y NTE INEN 2200. Esto se llevó a cabo con el fin de asegurar el cumplimiento de dichas normativas,

garantizando que el agua se encuentre dentro de los límites permitidos para el consumo humano y su comercialización como agua embotellada.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.1.1 Agua**

El agua desempeña un papel vital para sostener la vida en el planeta, siendo crucial tanto para el bienestar humano como para el equilibrio de los ecosistemas. Es esencial que este recurso se mantenga limpio y accesible para todos, garantizando así la prosperidad de la sociedad y la integridad de los entornos naturales. (Bokova, 2010)

El agua puede utilizarse para una diversidad de propósitos, los cuales varían según su aplicación. Existen diferencias entre el agua destinada al consumo humano y aquella utilizada para riego, cultivo de organismos acuáticos, generación de energía eléctrica o fines industriales. (Hiriat, 2023)

Existe un reparto de escasez relativa del agua en diferentes lugares del mundo, donde el 97% del agua en el planeta es salada, mientras que solo el 3% es dulce. De esta cantidad, el 77% se encuentra en los casquetes polares, el 22% está en reservas subterráneas y solo el 1% se encuentra en fuentes superficiales. (Umpiérrez, 2023)

El crecimiento de la población humana implica una creciente necesidad de agua potable, ya que el aumento de la población se traduce directamente en una mayor demanda de este recurso. Este incremento en la demanda lleva a suponer una escasez futura de este vital recurso hídrico. (Surribas, 2010)

### **1.1.2 Agua subterránea**

El agua subterránea se encuentra debajo de la superficie terrestre, generalmente en cavidades y fisuras de rocas y sedimentos. Es parte del ciclo hidrológico y alimenta manantiales, arroyos y pozos. (TULSMA, 2015)

### **1.1.3 Normativa**

La evaluación de la calidad del agua debe fundamentarse en diversas normativas, incluyendo la INEN 1108 para agua destinada al consumo humano, el TULSMA para aguas crudas previo su potabilización y la INEN 2200 para agua embotellada. Asimismo, es esencial tener en consideración las normativas de muestreo, como la INEN 2169, INEN 2176 e INEN 5667.

#### **1.1.4 Límite aceptable**

Los límites aceptables están definidos por la normativa vigente, estableciendo los valores permitidos para diversos parámetros en descargas, agua potable, uso recreativo, entre otros. Estos límites contribuyen a mejorar las condiciones del medio ambiente y regulan las circunstancias en función de la actividad específica que se vaya a realizar.

#### **1.1.5 Calidad del agua para consumo humano**

Agua que pasa por tratamientos para asegurar el cumplimiento de los estándares necesarios en términos de características físicas, químicas y microbiológicas para ser segura y apta para el consumo humano. (INEN 1108, 2020)

#### **1.1.6 Calidad de agua embotellada**

Conocida como agua purificada envasada, destinada al consumo humano y sometida a un exhaustivo proceso de análisis físico – químico, que incluye técnicas como destilación, desionización, desinfección, entre otras, que garantiza el cumplimiento de las normativas correspondientes. (INEN 2200, 2017)

#### **1.1.7 Índice de calidad del agua (ICA)**

Es una herramienta que, expresada como un porcentaje, ofrece información clara sobre la seguridad del agua para el consumo y otras actividades. Este indicador no solo evalúa la cantidad de contaminación presente en el agua, sino que también facilita la medición de su calidad en términos de cómo puede afectar la salud humana. (Valcárcel Rojas L., Alberro Macías N., & Frías Fonseca D, 2020)

#### **1.1.8 Análisis del agua**

Consiste en analizar un cuerpo de agua para entender sus propiedades físicas, químicas y biológicas, con el fin de determinar su idoneidad para el consumo humano u otros fines. Este proceso permite evaluar la calidad de agua para usos específicos y sugerir los tratamientos necesarios. (Romero, pág 346, 2009)

#### **1.1.9 Parámetros *in situ***

Estos parámetros se evalúan directamente en el lugar y ofrecen resultados de manera instantánea. La principal ventaja de utilizar parámetros *in situ* radica en su capacidad para brindar información en tiempo real, lo cual es fundamental en situaciones que demandan respuestas inmediatas o en monitoreos continuos. (Monroy, 2017)

### **1.1.10 Parámetros *ex situ***

La comparación de los parámetros *in situ*, estos se miden en laboratorio, ya sea debido a la ausencia de equipos necesarios en el sitio de muestreo o a la dificultad de transportarlos hasta dicho lugar.

### **1.1.11 Tipo de muestra**

La elección del tipo de muestra es crucial, ya que puede variar en términos de tiempo y ubicación según la zona a muestrear. (INEN 2176, 2013)

### **1.1.12 Muestra Puntual**

Corresponde a la obtención de una muestra de manera aleatoria, en relación con el tiempo y/o la ubicación, de un volumen de agua. (INEN 2176, 2013)

### **1.1.13 Tamaño de la muestra**

Durante el proceso de muestreo, es esencial que el tamaño de la muestra sea lo suficientemente grande para llevar a cabo los análisis necesarios; sin embargo, este tamaño varía según los análisis que se va a realizar.

### **1.1.14 Llenado del envase**

Se recomienda llenar completamente el envase destinado a análisis físico y químico de manera que no haya presencia de aire sobre la muestra, con el fin de prevenir posibles alteraciones o variaciones en ciertos parámetros. En los análisis microbiológicos no se los llena completamente. (INEN 2169, 2013)

### **1.1.15 Conservación y traslado de la muestra**

Después de recolectar la muestra, es crucial elegir el conservante adecuado, como ácido nítrico o sulfúrico, según el parámetro a analizar. En algunos casos, como para ciertos parámetros, no se necesita conservante, y es suficiente mantener la muestra en hielo hasta su transporte al laboratorio. (INEN 2169, pág. 6, 2013)

Cuando se transporta la muestra al laboratorio, es importante que esté colocada en un cooler, en un entorno frío para preservar su integridad. Además, se debe asegurar un sellado adecuado para evitar contaminación externa. (INEN 2169, pág. 6, 2013)

La tabla 1 proporciona pautas específicas para el muestreo de la calidad del agua, incluyendo recomendaciones sobre el tipo de envases y conservantes a utilizar, según el parámetro que se va a analizar.

**Tabla 1.** Métodos generales para preservar muestras - análisis fisicoquímico (INEN 2169, Tabla 1, 2013)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Aceites y grasa	V lavado con solvente	1 000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes		
Acidez y alcalinidad	P o V	500 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 h	14 días Las muestras preferiblemente deben ser analizadas en el lugar (en particular para las muestras con alto contenido de gases disueltos). Reducción y oxidación durante el almacenamiento puede cambiar la muestra	
Aluminio	P lavado con ácido V o VB lavados con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes		
Amoniaco, libre e ionizado	P o V	500	Acidificar a entre pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , enfriar a 1 °C y 5 °C.	21 días	Filtrar en el lugar antes de conservación	
	P	500	Congelar a -20 °C	1 mes		
Aniones (Br, F, Cl, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> y SO <sub>4</sub> )	P o V	500	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 h	Filtrar en el lugar antes de conservación.	
	P	500	Congelar a -20 °C	1 mes		
Antimonio	P lavado con ácido V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes	HCl debe ser utilizado si la técnica de hidruro se utiliza para el análisis.	
Arsénico	P lavado con ácido V lavado con ácido	500	Se acidifica entre pH 1 a 2 con HCl o HNO <sub>3</sub> .	1 mes	HCl debe ser utilizado si la técnica de hidruro se utiliza para el análisis.	980
Bario	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes	No utilice H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Berilio	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes		

La tabla 2 proporciona los límites permisibles para el agua destinada al embotellado que se indicará a continuación:

**Tabla 2.** Criterios físicos para el envasado de agua purificada y agua mineralizada purificada (INEN 2200, 2017)

Requisito	Unidad	Min	Máx	Método de ensayo
Color	Pt-Co <sup>b</sup>	-	5	NTE INEN-ISO 7887
Turbidez	NTU <sup>a</sup>	-	1	NTE INEN-ISO 7027
Sólidos Totales Disueltos Aguas purificadas envasadas	mg/L	-	500	2 540 Solids Standard Methods
Sólidos Totales Aguas purificadas mineralizadas envasadas	mg/L	500	1 000	2 540 Solids Standard Methods
pH a 20 °C agua purificada envasada		4,5	9,5	NTE INEN-ISO 10523
pH a 20 °C agua purificada mineralizada envasada		3,8	9,0	NTE INEN-ISO 10523
Cloro libre residual	mg/L	AUSENCIA		NTE INEN 977
Dureza total	mg/L	-	300	NTE INEN 974

<sup>a</sup> 1 unidad en la escala PT-CO = 1 mg/L de platino en forma de cloro platino

<sup>b</sup> 1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU) = 1 mg/L de formazina estándar.

### 1.1.16 Potencial Hidrógeno (pH)

La determinación del pH es un factor crucial en el análisis del agua, ya que delinea el nivel de alcalinidad o acidez de la sustancia. Este indicador se cuantifica en una escala que abarca del 1 al 14, donde un valor de menor a 7 representa un contenido ácido, 7 indica neutralidad o agua básica, y mayor a 7 denota alcalinidad en el agua. (HANNA)

### 1.1.17 Temperatura

La temperatura del agua subterránea se ve afectada por las características del terreno, incluida la naturaleza de las rocas, y varía con la profundidad. Esta variación está relacionada con la capacidad de la capa acuífera y posibles aportes externos. (Rodríguez, 2009)

### 1.1.18 Conductividad

La conductividad se refiere a la capacidad de una solución para conducir electricidad mediante iones, partículas cargadas eléctricamente. Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales presentes en la solución. A medida que se agrega más solución a base de sales al agua, aumenta el número de iones y, por ende, la conductividad. (Rodríguez, 2009)

### **1.1.19 Turbidez**

Es cuando se generan movimientos y agitaciones en el agua debido a la presencia de partículas suspendidas, tales como tierra, organismos vivos y otros materiales. La turbidez del agua puede afectar la cantidad de oxígeno disuelto, lo cual influye en la oxidación de compuestos orgánicos presentes en el agua. (Rojas, 2009)

### **1.1.20 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Este parámetro sirve como indicador del contenido de materia orgánica en el agua y a su vez indica su grado de contaminación. La DBO cuantifica la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua durante un tiempo específico, comúnmente 5 días a 20 °C. (Romero, pág 38, 2010)

### **1.1.21 Dureza**

La dureza del agua indica la presencia de calcio y magnesio disueltos, los cuales se originan por la descomposición de rocas y minerales en el área por donde fluye el agua. En ciertas regiones del país, el agua presenta niveles elevados de Dureza Total, generando inconvenientes en los hogares o afectando negativamente los procedimientos industriales. (Rojas J., Matute P & Capote L, 2015)

### **1.1.22 Acidez**

La acidez del agua es su capacidad de contrarrestar bases hasta un pH de 8.2, medida mediante titulación con NaOH. Esta propiedad puede tener diversas fuentes de origen, incluyendo la oxidación biológica de materia orgánica, las descargas de aguas residuales y la disolución de dióxido de carbono. Su efecto corrosivo resulta perjudicial para la flora y fauna. (Romeros, pág 28, 2010)

### **1.1.23 Alcalinidad**

La alcalinidad es la capacidad de una sustancia para contrarrestar ácidos, mediante la presencia de iones de carbonato, bicarbonato e hidróxido. Este aspecto es crucial en el agua, ya que influye en su habilidad para mantener un pH estable. Un agua con alcalinidad elevada tiende a ser resistente a alteraciones de pH, en cambio un agua con baja alcalinidad es más propensa a experimentar variaciones en su acidez. (Romero, pág 29, 2010) Su relevancia es destacada en los procesos de coagulación y ablandamiento, así como en la prevención de la corrosión. (HANNA, 2020)

#### **1.1.24 Cloruros**

Los cloruros pueden provenir de diversas fuentes, como la descomposición de sales en el suelo, aguas residuales, fuentes naturales, descargas industriales, entre otros. La concentración de cloruros en el agua es relevante en términos de calidad del agua, ya que niveles elevados pueden afectar su sabor y, en ciertos casos, tener implicaciones para la salud humana y la vida acuática. (García A., Guadalupe M., Alvarado A., González S., Vázquez E., Quintos M & Herrera)

#### **1.1.25 Aluminio**

El aluminio, siendo un metal liviano y resistente, tiene la habilidad de generar una capa de óxido que lo protege de la corrosión. Cuando entra en contacto con el agua, esta reacción no se produce de manera violenta ni repentina, sino que se desarrolla de forma gradual a temperatura ambiente. (Aluminio Compuesto, 2023)

#### **1.1.26 Cobre**

El cobre se halla comúnmente en la corteza terrestre en compuestos como óxidos y sulfuros, siendo menos frecuente en su forma metálica. Su presencia en el agua puede deberse a la corrosión de objetos metálicos, como tuberías de cobre y así mezclarse con el agua. Un exceso de cobre en el agua potable puede tener consecuencias negativas para la salud. (Singler. A & Bauder. J)

#### **1.1.27 Hierro Ferroso**

El hierro en el agua puede manifestarse como ferroso o férrico, siendo soluble bajo condiciones normales y predominando en entornos reductores. El hierro férrico, menos soluble, está presente en aguas subterráneas y superficiales en cantidades limitadas, a menos que haya complejos presentes. Esta forma es común en las muestras, a menos que se evite la oxidación durante la recolección. (Herrera, 2020)

#### **1.1.28 Hierro Total**

Es la cantidad total de hierro presente en un agua, incluyendo el hierro ferroso y el hierro férrico. El hierro puede causar inconvenientes en el suministro de agua, siendo más frecuentes estos problemas en aguas subterráneas y en las capas inferiores anaeróbicas de lagos estratificados, y en ocasiones, en aguas superficiales de lagos y ríos. (Ambientales, 2006)

### **1.1.29 Arsénico**

Se encuentra en aguas subterráneas debido a la infiltración del suelo y es frecuente en pesticidas en áreas rurales. Es altamente perjudicial para la salud y puede causar cáncer. Además, se encuentra en los efluentes de refinerías de petróleo, cerámicas, soldaduras, entre otras fuentes. (Romero, pág 373, 2009)

### **1.1.30 Manganeso**

Generalmente está presente en el suelo en forma de dióxido de manganeso, el cual no es soluble en aguas con dióxido de carbono. En ambientes sin oxígeno, el manganeso experimenta una reducción y se presenta en solución de manera similar a los óxidos férricos. (Romero, pág 163, 2009)

### **1.1.31 Nitritos**

La detección de niveles elevados de nitrógeno en forma de nitritos es poco frecuente y generalmente se asocia con actividades biológicas en el agua. Su rápida conversión en nitrato indica la dinámica de procesos biológicos activos en el entorno acuático. (Romero, pág 142, 2009)

### **1.1.32 Nitratos**

En las aguas subterráneas de entornos rurales, la presencia de este metal como contaminante es motivo de preocupación, ya que su exceso puede dar lugar a enfermedades. Además, su detección indica la presencia de otros contaminantes peligrosos, como los derivados de fertilizantes agrícolas, bacterias, pesticidas, entre otros. (Luzuriaga. M & Vanegas. M, pág 20, 2014)

### **1.1.33 Nitrógeno Amoniacal**

Todo el nitrógeno presente en forma de ion amonio o en equilibrio. Es la cantidad de nitrógeno presente en el agua en forma de amonio, originado principalmente por la descomposición de compuestos orgánicos. (Romero, pág 141, 2009)

### **1.1.34 Fósforo**

Se encuentra de diversas formas en el agua y es vital para el desarrollo de plantas y animales. Sin embargo, si las concentraciones son altas, puede dar lugar a un crecimiento desmedido de plantas, lo que deteriora las condiciones del agua para ciertos usos. (Luzuriaga. M & Vanegas. M, pág 18, 2014)

### **1.1.35 Parámetros Microbiológicos**

Se refiere a los microorganismos causantes de enfermedades, como virus y bacterias. Es esencial que el agua esté libre de estos patógenos para prevenir posibles enfermedades que podrían transmitirse a las personas que la consumen. (Luzuriaga. M & Vanegas. M, pág 21, 2014)

### **1.1.36 Coliformes fecales**

Son marcadores de contaminación en el agua destinada al consumo humano, ya que su presencia puede comprometer la salud de aquellos que la consumen. (Chavarría E., Huamaní L., Basurto C., Guitierrez J & Cusiche M, 2023) Estos indicadores se originan a partir de excreciones tanto de animales como del sistema de alcantarillado.

### **1.2.1 Filtración**

La filtración es un método físico que se basa en hacer pasar una mezcla de sólidos y fluidos (ya sea líquido o gas) a través de un medio poroso, que retiene los sólidos mientras permite el paso del fluido. (Pérez, J., & Urrea, M)

### **1.2.2 Filtro Desionizador**

Al utilizar un filtro para desmineralización o desionización, se obtiene agua purificada al eliminar iones (aniones y cationes). La resina mixta en el filtro, compuesta por resina catiónica y resina aniónica, realiza el intercambio iónico: la resina catiónica intercambia iones positivos por hidrógeno, mientras que la resina aniónica intercambia iones negativos por hidroxilo. (Amarilha, 2021)

### **1.2.3 Filtro de pretratamiento**

Este tipo de filtro desempeña un papel crucial al evitar que las partículas sólidas presentes en el líquido afecten negativamente los equipos de tratamiento de agua. Su función principal es actuar como una barrera inicial, capturando y eliminando las impurezas antes de que el agua ingrese a los procesos más específicos de purificación. Al hacerlo, contribuye significativamente a mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento y a mantener la calidad del agua tratada a lo largo del tiempo. (Purifica, 2015)

### **1.2.4 Purificación del agua**

La purificación del agua implica la eliminación de sustancias químicas no deseadas, así como materiales orgánicos e inorgánicos y contaminantes biológicos, con el fin de

obtener agua segura y apta para el consumo humano. (Rotoplas, 2018) Los procedimientos para purificar el agua abarcan una variedad de métodos, como la filtración, el uso de filtros de carbón activado, la exposición a rayos UV, tratamientos con agentes químicos naturales, hervido, el empleo de pastillas de purificación, sistemas de filtración y la ósmosis inversa. (Carbotecnia, 2023)

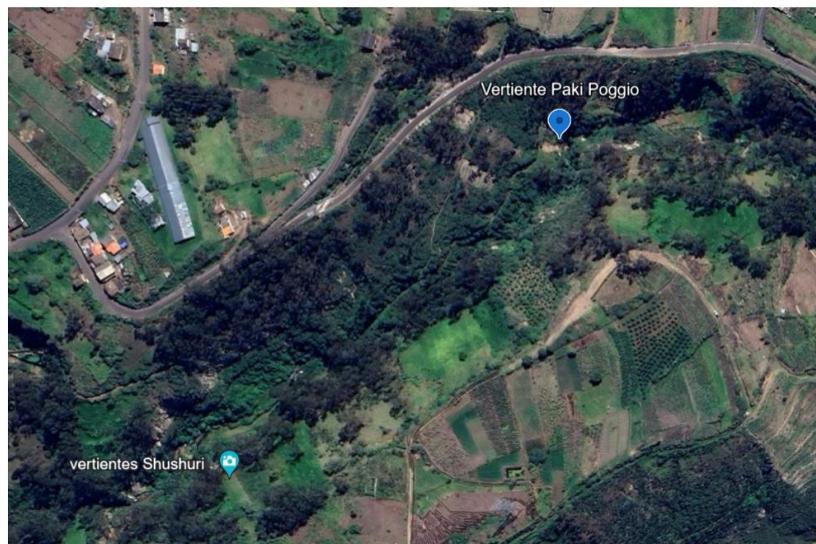
### **1.2.5 Radiación UV**

La radiación ultravioleta, o rayos UV, elimina los microorganismos al afectar directamente su ADN, lo que resulta en mutaciones que conducen a su muerte o los previene de reproducirse e infectar. (Sánchez, 2018)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Ubicación y reconocimiento de la fuente de agua Paki Poggio.

La fuente de agua Paki Poggio se encuentra ubicada en Pelileo, Tungurahua, en la parroquia de García Moreno, a 25 kilómetros de Ambato. Esta vertiente está situada en una quebrada, donde se encuentra otra vertiente llamada Shushuri. En la figura siguiente, se señala la ubicación exacta de la vertiente.



**Figura 1.** Localización de la vertiente Paki Poggio

Para llegar a este sitio se debe pasar por un camino de tierra donde existen vegetación y ganado. La comunidad aprovecha esta vertiente como fuente de agua potable, siendo común que varios residentes tomen el líquido directamente de la fuente. Los residentes acuden con recipientes para recolectar agua de esta fuente y además, disponen de una tubería de PVC que suministra un caudal limitado, llegando solo a una vivienda.



**Figura 2.** Ojo de agua Paki Poggio (Google Earth, 2023)

A continuación, en la tabla adjunta, se proporcionan las coordenadas de la fuente de agua para lograr una ubicación más precisa.

**Tabla 3.** Ubicación terrestre del ojo de agua

<b>Nombre</b>	<b>S</b>	<b>W</b>
Paki Poggio	1°18'00.4"	78°31'59.9"

## **2.2 Evaluación de los parámetros**

Las muestras recolectadas se trasladaron y analizaron en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional (EPN, específicamente en la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) y en el Laboratorio de Docencia de Ingeniería Ambiental, mediante la elaboración de un plan de muestreo adjunto en el anexo XII. Además, algunos parámetros se evaluaron directamente en el lugar (*in situ*).

### **2.2.1 Temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto**

Para la medición de estos parámetros, se empleó un multiparámetro HORIBA U-52. Se conectó la sonda al monitor, se presionó el botón POWER durante 2 segundos y se sumergió la sonda en una jarra plástica con la muestra, esperando a que se estabilizara. Después de realizar las mediciones, se presionó el botón MEAS para guardar los resultados. Posteriormente, se retiró la carcasa protectora, se lavaron los sensores con agua destilada y se secaron con toallas de papel. Finalmente, se volvió a colocar la tapa y se apagó el equipo presionando el botón POWER.

### 2.2.2 Turbiedad

Se empleó el turbidímetro HACH, introduciendo 10 mL de la muestra a analizar en una celda de turbidímetro de vidrio. Después de secarla con una toalla de papel, se limpió con un paño de microfibra de arriba hacia abajo. La celda se insertó en el turbidímetro y se llevaron a cabo las mediciones, anotando los resultados obtenidos.

### 2.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se optó por viales de bajo rango (0-150 mg-O<sub>2</sub>/l) y se encendió el biodigestor a 150°C, proceso que tomó aproximadamente 40 minutos. Para el blanco, se dispusieron 2 mL de agua destilada en un vial, mientras que en otro vial, con una micropipeta, se agregaron 2 mL de muestra. Tras agitar ambos viales y abrir cuidadosamente las tapas para liberar los gases resultantes, se introdujeron en el digestor y se mantuvieron durante 2 horas. Posteriormente, se extrajeron y se colocaron en una gradilla para enfriarse antes de medir la DQO en el espectrofotómetro DR 1900.

### 2.2.4 Dureza Cálctica

En un vaso de precipitación, se introdujo la muestra para la medición del pH. Posteriormente, se ajustó el pH entre 12 y 13 mediante la adición de hidróxido de sodio. Luego, se colocaron 25 mL de la muestra a un matraz Erlenmeyer y se añadió el indicador de murexida, provocando que la muestra adquiriera un tono rosa pálido. A continuación, se tituló con EDTA hasta el cambio de color a púrpura, permitiendo la determinación del volumen utilizado para el cálculo correspondiente.

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{\text{Volumen gastado (mL)} \times \text{Concentración EDTA(N)}}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} \times 100000$$

**Ecuación 1.** Determinación de Dureza Cálctica

### 2.2.5 Dureza Total

Se inició colocando la muestra en un vaso de precipitación para medir el pH. Luego, se midió con precisión 25 mL de la muestra utilizando una probeta, transfiriéndolos a un matraz Erlenmeyer de 100 mL. A continuación, se añadió 2 gotas de buffer de dureza para ajustar el pH a 10, seguido por la adición de negro de eriocromo para obtener un tono rosado. La titulación con EDTA continuó hasta que se produjo el cambio de color a azul. Se registró el volumen gastado para calcular la dureza total.

$$Dureza\ total = \frac{Volumen\ gastado\ (mL) \times Concentración\ EDTA(N)}{Volumen\ de\ la\ muestra\ (mL)} \times 100000$$

**Ecuación 2.** Cálculo de Dureza Total

**2.2.6 Estandarización de soluciones**

Para la estandarización, se llevó a cabo un proceso meticuloso. Se comenzó pesando con precisión 0,4 g de ftalato ácido de potasio, el cual después se secó en una estufa a 125°C durante 30 minutos. Después de retirarlo de la estufa, se colocó en un desecador y se procedió a pesar nuevamente el ftalato en el crisol. Posteriormente, se transfirió el reactivo pesado a un matraz Erlenmeyer y se le añadieron 30 mL de agua destilada con una probeta. Se homogeneizó la mezcla hasta que el reactivo se disolvió por completo. Con esta solución preparada, se valoró la solución de hidróxido de sodio 0,02N. En el matraz que contenía el ftalato se agregaron dos gotas de fenolftaleína y se tituló con la solución de NaOH hasta que apareció un color rosa persistente. Se registró el volumen de la solución de NaOH utilizada en el proceso.

En el proceso de validación de la solución de ácido sulfúrico, se tomó una alícuota de 10 mL de la solución de ácido sulfúrico y se colocó en un matraz Erlenmeyer junto con 30 mL de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína. Se tituló la mezcla con la solución de NaOH hasta que se produjo el cambio de color, y posteriormente se registró el volumen de NaOH utilizado en la titulación.

Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$F = \frac{a * 100}{Eq * V * 0,1}$$

**Ecuación 3.** Fórmula de estandarización

Donde:

a: gramos pesados de ftalato ácido de potasio.

Eq: peso equivalente del ftalato ácido de potasio= 204,22 g/eq-q

V: volumen en mL de NaOH 0,02N gastado

### 2.2.7 Alcalinidad

Se añadió ácido sulfúrico 0,02N en un vaso de precipitación para luego transferirlo a la bureta. Posteriormente, se vertieron 100 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se midió el pH, y si este superaba 8,3, indicaba alcalinidad por fenolftaleína; de lo contrario, denotaba alcalinidad total, en el caso de la muestra tuvo un pH de 7.14, por lo tanto, la alcalinidad por fenolftaleína dio como resultado 0 y se procedió a calcular la alcalinidad total, donde se aplicaron 2 gotas de indicador naranja de metilo, cambiando a amarillo la muestra, y se tituló con ácido hasta que el color varió a naranja.

$$Alcalinidad_F = \frac{A \times N \times 50000}{V_m}$$

**Ecuación 4.** Cálculo de Alcalinidad a la fenolftaleína

$$Alcalinidad_T = \frac{B \times N \times 50000}{V_m}$$

**Ecuación 5.** Cálculo de Alcalinidad Total

Donde:

A: Volumen gastado de ácido sulfúrico hasta alcanzar punto final a la fenolftaleína (mL)

B: Volumen gastado de ácido sulfúrico hasta alcanzar el punto final del anaranjado de metilo (mL)

N: Normalidad del titulante

$V_m$ : Volumen de la muestra (mL)

### 2.2.8 Acidez

En un vaso de precipitación de 50 mL, se dispuso NaOH y se transfirió a la bureta. Posteriormente, se vertieron 100 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Tras añadir 4 gotas de fenolftaleína, se tituló con NaOH hasta que se manifestó un color rosado. Se registró el volumen consumido para futuros cálculos.

$$Acidez = \frac{C \times N \times 50000}{Alcalinidad}$$

**Ecuación 6.** Determinación de Acidez

Donde:

C: Volumen gastado de hidróxido de sodio hasta alcanzar el punto final de la fenolftaleína (mL)

N: Normalidad del titulante

### 2.2.9 Cloruros

Se introdujo nitrato de plata en un vaso de precipitación y se transfirió a una bureta para su aforo. Dado que la muestra tenía un pH de 7, no fue necesario ajustarlo. Posteriormente, se vertieron 30 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer, al que se añadió 1 mL de disolución indicadora de cromato de potasio. Se tituló con nitrato de plata hasta que el color cambiara de amarillo a naranja rojizo, anotando el volumen utilizado para cálculos subsiguientes.

$$\text{Cloruros} = \frac{A * N * 34,450}{Vm}$$

**Ecuación 7.** Determinación de Cloruros

### 2.2.10 Aluminio

Se configuró el espectrofotómetro DR 1900 en el programa 10. Posteriormente, se aforó un cilindro mezclador a 50 mL con la muestra y se añadió el sobre de Ascorbic Acid Powder. Después de colocar el tapón, se agitó para disolver el polvo y se añadió el reactivo AluVer3, agitando nuevamente. Tras esperar 1 minuto, se preparó el blanco vertiendo 10 mL de la muestra reaccionada en una celda de vidrio y agregando el reactivo blanqueador Bleaching 3 Reagent. Tras agitar y esperar 30 segundos, se aguardó durante 15 minutos. Para la muestra, se vertieron 10 mL de la solución del cilindro en una celda, se limpiaron las celdas y se colocaron en el espectrofotómetro para su medición.

### 2.2.11 Cobre Total

El espectrofotómetro se ajustó al programa 135. Se prepararon dos celdas, una con 10 mL de la muestra como blanco y otra con 10 mL de la muestra más el reactivo CuVer1. Tras agitar y esperar 2 minutos para la reacción, se utilizó la celda del blanco para encerrar y luego se colocó la otra celda con el reactivo. Se registró el resultado obtenido.

### 2.2.12 Hierro Ferroso

Se ajustó el espectrofotómetro al programa 255. Para el blanco, se añadió 10 mL de la muestra en una celda de vidrio. Posteriormente, en un cilindro agitador de 25 mL, se completó la muestra hasta aforar y se incorporó una almohadilla de polvo Ferrous Iron Reagent. Tras agitar, se esperaron 3 minutos para la reacción, si aparecía un color

amarillo es porque hay presencia de hierro. Luego, se extrajo 10 mL de este cilindro con el reactivo, se colocó en una celda y se procedió a medir y anotar el resultado.

### **2.2.13 Hierro Total**

El espectrofotómetro se configuró en el programa 265. En una celda, se incorporó 10 mL de la muestra y se añadió el reactivo FerroVer Iron Regagent, se homogenizó y esperó 3 minutos para la reacción. En otra celda, se prepararon 10 mL para el blanco. Luego, se introdujo primero el blanco para encerar y después la celda con el reactivo para la medición.

### **2.2.14 Arsénico**

La determinación de arsénico se llevó a cabo en el CICAM de la Escuela Politécnica Nacional.

### **2.2.15 Manganeso**

Se estableció el programa 295 en el espectrofotómetro. En una celda, se introdujo 10 mL de la muestra y se añadió Buffer Powder Pillow; tras agitar, se incorporó un sobre de Sodium Periodate Powder y se esperó durante 2 minutos. Para el blanco, se llenó 10 mL en otra celda con la muestra. Se enceró y posteriormente se midió la celda con el reactivo.

### **2.2.16 Nitritos**

Se emplearon dos celdas de espectrofotómetro; en una se agregaron 10 mL de la muestra recolectada, y en la otra, 10 mL de la misma muestra con el reactivo NitriVer. Después de agitar y esperar 20 minutos, la presencia de nitritos se detecta si la mezcla adquiere un tono rosado. Después de esta etapa, se ajustó el espectrofotómetro al programa 371. Acto seguido, se introdujo la celda sin reactivo como blanco y, posteriormente, la celda con el reactivo para realizar la medición correspondiente.

### **2.2.17 Nitratos**

El proceso es similar al de los nitritos, pero se empleó un reactivo diferente denominado Nitrate S. Tras una espera de 5 minutos, se utilizó el programa 353 del espectrofotómetro para su posterior medición.

### **2.2.18 Nitrógeno Amoniacal**

Para medir este parámetro, se empleó el método Nessler. Se vertió 25 mL de la muestra en un cilindro agitador, mientras que en otro cilindro se coló 25 mL de agua destilada para servir de blanco. En cada cilindro se añadieron 3 gotas de estabilizador, se agitó y se incorporaron 3 gotas de alcohol polivinílico, agitando nuevamente. Luego, se agregó 1 mL de reactivo Nessler y se esperó durante 1 minuto. Posteriormente, se configuró el espectrofotómetro en el programa 380.

### **2.2.19 Fluoruros**

Para la cuantificación de fluoruros, se inicializó el espectrofotómetro en el programa 490. Se requirieron dos celdas de espectrofotómetro; en una, se añadió 10 mL de la muestra para establecer el blanco, mientras que en la otra se colocaron 10 mL de la muestra junto al reactivo PhosVer3. Tras homogeneizar y esperar 2 minutos para la reacción, se procedió a la medición en el espectrofotómetro y se registró el valor obtenido.

### **2.2.20 Coliformes fecales**

Se llevó a cabo el análisis específico de coliformes fecales, excluyendo los totales. Se dispuso 1 mL de muestra, utilizando una micropipeta y evitando la contaminación cercana a un mechero, en 10 tubos de ensayo con medio EC ya preparado y con los tubos Durham. Posteriormente, se incubaron a 45°C durante 24 horas, y se procedió a la lectura de los resultados. Para esto, se observó la presencia de crecimiento bacteriano con producción de gas en el tubo Durham; es decir, si se encontraba una pequeña burbuja en el tubo Durham, indicaba la presencia de coliformes. Sin embargo, al no observarse ninguna de estas, se concluyó que la muestra no contenía coliformes.

## **2.3 Aforo del caudal**

Se implementó un método volumétrico seleccionando tres caídas de agua. Utilizando un balde de 10 litro y un temporizador, se registró el tiempo necesario para llenarlo en cada caída. Se repitió este procedimiento cinco veces por cada caída. Posteriormente, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar el caudal.

$$Q = \frac{\text{Volumen (L)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

**Ecuación 8.** Caudal

## 2.4 Cálculo del ICA

Para calcular el ICA, se consideraron diferentes parámetros. Para calcular el ICA-NSF, se empleó el método aditivo, que implica sumar los productos obtenidos al multiplicar los subíndices de los parámetros por los respectivos pesos asignados a cada uno.

**Tabla 4.** Peso de los parámetros (SNET)

<b>i</b>	<b>Subi</b>	<b>Wi</b>
1	Coliformes Fecales	0,15
2	pH	0,12
3	DBO5	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	SDT	0,08
9	Oxígeno Disuelto	0,17

El Índice de Calidad del Agua (ICA) presenta un valor máximo de 100 en condiciones ideales, disminuyendo a medida que aumenta la contaminación en el cuerpo de agua analizado.

<b>CALIDAD DE AGUA</b>	<b>COLOR</b>	<b>VALOR</b>
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

**Figura 3.** Parámetros generales conforme al índice de calidad (SNET)

Brown desarrolló la evaluación cuantitativa del ICA mediante enfoques multiplicativos y ponderados, asignando pesos específicos. En este caso se utilizará la fórmula ponderada.

$$ICA_a = \sum_{i=1}^n (Sub_i \times w_i)$$

### **Ecuación 9. Cálculo del ICA**

Donde:

$w_i$ : Asignación de pesos relativos a cada parámetro ( $Sub_i$ ), ponderados en una escala de 0 a 1, garantizando que la suma total sea igual a uno.

$Sub_i$ : Índice  $i$  asociado al parámetro.

## **2.5 Filtro de pretratamiento**

En la primera fase, se utilizaron dos filtros de pretratamiento del modelo D8921, ambos con un flujo a gravedad, para dirigir el agua a tratar. Se configuró el equipo colocando el galón de agua con un contenido de 6 L primero, seguido por un filtro de pretratamiento y, más abajo, otro filtro de pretratamiento. Se conectaron mangueras en cada extremo para dirigir el flujo de agua. Luego, se registró el flujo mediante la aplicación de la ecuación 2.5. Seguidamente, se realizaron mediciones de pH, conductividad y dureza total. Con base en estos resultados, se llevó a cabo una evaluación similar utilizando únicamente un filtro de pretratamiento, repitiendo las mediciones de los mismos parámetros.

## **2.6 Filtro desionizador**

Se implementó una combinación de filtros, comenzando con un filtro de pretratamiento del modelo D8921 seguido por un filtro desionizador del modelo D8922. Se estableció el caudal y se tomaron mediciones de los parámetros de pH, conductividad y dureza. Posteriormente, con base en los resultados obtenidos, se aumentó el caudal utilizando una bomba. Para lograrlo, se conectó una manguera desde el sistema del filtro hasta la boquilla del Kitasato, mientras que otra manguera de la bomba se colocó en el interior del Kitasato para generar vacío. Este procedimiento se llevó a cabo con el propósito de incrementar el caudal, calculado mediante la ecuación 8. Seguidamente, se realizaron nuevas mediciones de los parámetros mencionados.

Posteriormente, se elevó el pH del agua inicial a 9 utilizando hidróxido de sodio al 5% en un litro de agua, medido en una probeta. Esta agua fue luego dirigida a través de los mismos filtros, y se procedió a medir nuevamente los parámetros mencionados con respecto al agua resultante.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Aforo del caudal

La medición del caudal mediante el método volumétrico se llevó a cabo en el lugar mismo de la vertiente utilizando un volumen conocido de 10 litros. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 5.** Tiempos registrados durante la medición del caudal.

Chorrera	Tiempo (s)					Tiempo promedio	Q (L/s)
1	5,11	4,88	5,45	5,40	5,25	5,21	1,92
2	25,92	23,24	24,25	21,85	19,94	23,04	0,43
3	35,49	36,24	36,23	36,83	33,50	35,76	0,28
$\sum Q =$							2,63

La tabla 5 revela fluctuaciones en los caudales, atribuibles a las distintas velocidades presentes en cada cascada de la vertiente. Cuanto más tiempo se requería para llenar el recipiente con el volumen conocido, menor era el caudal correspondiente. La suma de los caudales de las cascadas seleccionadas proporcionó una estimación cercana de la cantidad de agua.

#### 3.2 Mediciones de parámetros *in situ*

En el mismo lugar de la fuente, se llevaron a cabo mediciones de varios parámetros, incluyendo temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez.

**Tabla 6.** Valores obtenidos con el multiparámetro y turbidímetro

Parámetro	Unidad	Medición	Normativa INEN 1108	Normativa INEN 2200
Temperatura	°C	18,46	-	20
pH	pH	7,14	6,5 – 8	4,5 – 9,5
Conductividad	μS/cm	1070000	-	-
Oxígeno disuelto	mg/L	5,10	-	-
Turbiedad	NTU	1,02	5	5

Estos parámetros fueron medidos inmediatamente en el lugar de muestreo debido a su susceptibilidad a variaciones con el tiempo. Un ejemplo común es la temperatura, la cual podría experimentar cambios durante el traslado al laboratorio si no se almacena adecuadamente. De manera similar, el pH puede ser alterado por la exposición al aire y

la interacción con los materiales del recipiente. La presencia de ciertos gases en el aire también podría disolverse en el agua, afectando el equilibrio ácido-base. Es crucial realizar estas mediciones en el sitio para asegurar la precisión de los resultados, evitando posibles alteraciones durante el transporte al laboratorio.

### 3.3 Mediciones de parámetros en laboratorio

Los análisis siguientes fueron realizados de manera ex situ, y los resultados obtenidos se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 7.** Resultados analíticos obtenidos en el laboratorio y sus correspondientes límites de acuerdo con la normativa INEN 1108.

Parámetro	Unidad	Medición	Normativa INEN 1108	Normativa INEN 2200
<i>Parámetros Químicos</i>				
DQO	mg/L	< 3	Ausencia	-
Dureza Cálcica	mg/L	140	-	300
Dureza Total	mg/L	280	300	-
Alcalinidad	mg/L	442	-	-
Acidez	mg/L	19,23	-	-
Cloruros	mg/L	0,05	250	-
<i>Parámetros Microbiológicos</i>				
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,1	Ausencia	<1,8
<i>Metales</i>				
Aluminio	mg/L	0,022	0,25	-
Cobre	mg/L	0	2,0	-
Hierro Ferroso	mg/L	0	0,3	-
Hierro Total	mg/L	0,08	-	-
Arsénico	mg/L	0,006	0,01	-
Manganeso	mg/L	0,025	0,2	-
<i>Nutrientes</i>				
Nitritos	mg/L	0,004	3,0	-
Nitratos	mg/L	2,3	50,0	-
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,09	-	-
Fosfatos	mg/L	1,07	0,1	-

Dado que algunos parámetros no se encuentran especificados en la normativa con la sexta revisión, se han incorporado algunos de los límites permisibles de la normativa de la cuarta revisión como referencia aproximada para evaluar la cantidad de dichos parámetros en el agua destinada al consumo humano.

Según los resultados recopilados en las tablas 6 y 7, se evidencia que el agua exhibe cualidades favorables, lo que la hace apta para el consumo humano, conforme a los estándares establecidos por la normativa INEN 1108.

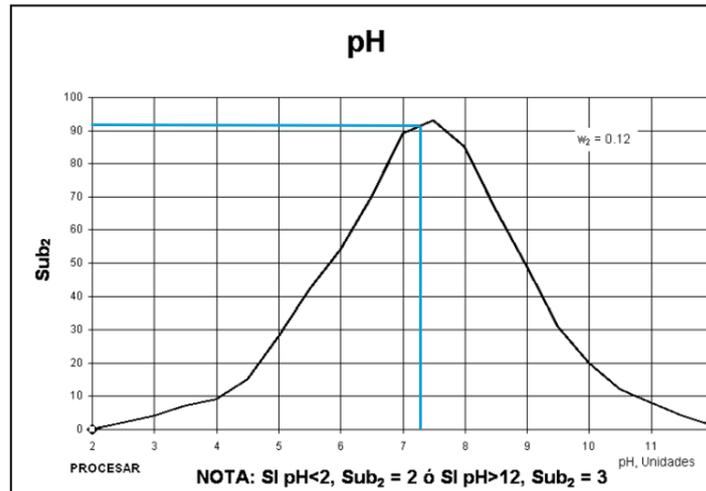
### 3.4 Cálculo del ICA

Los datos recopilados, tanto in situ como ex situ, posibilitan el cálculo de un índice de calidad. Al evaluar 9 parámetros específicos, se determinará el Índice de Calidad del Agua (ICA), proporcionando una medida de la calidad del agua.

**Tabla 8.** Cálculo del ICA

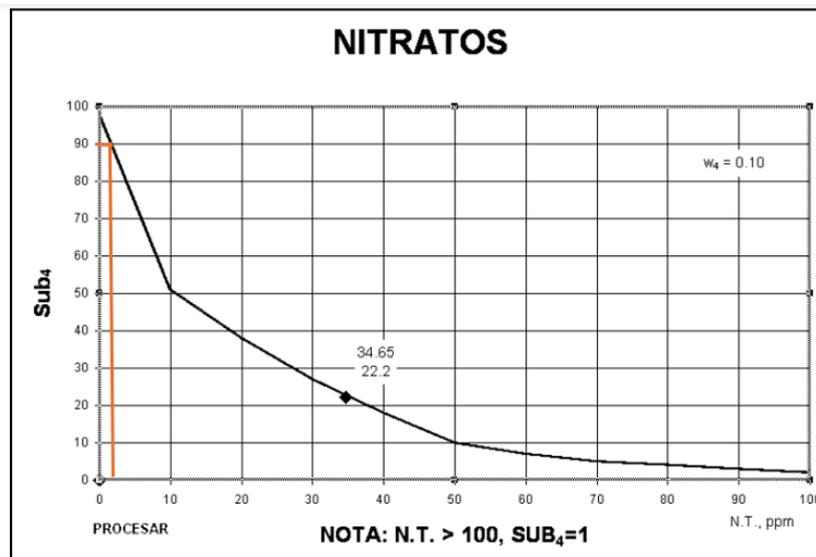
<b>Parámetro</b>	<b>valor</b>	<b>Subi</b>	<b>Wi</b>	<b>Subi*Wi</b>
Coliformes Fecales	>1,1	100	0,15	15
pH	7,14	91	0,12	10,92
Nitratos	2,3	90	0,1	9
Temp	1,54	89	0,1	8,9
Turbidez	1,01	95	0,08	7,6
OD	76,4	80	0,17	13,6
Fosfatos	1,07	40	0,1	4
SDT	-	100	0,08	8
DBO	-	100	0,1	10
Suma				87,02

El primer paso implica calcular el índice Subi asociado a cada parámetro, utilizando las gráficas proporcionadas a continuación.



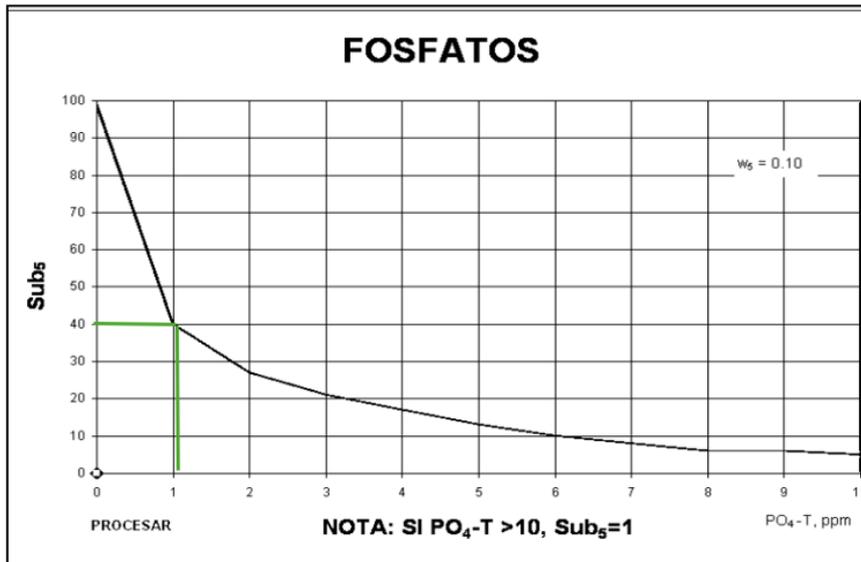
**Figura 4.** Cálculo del índice Subi para el pH

Para calcular el índice Subi con el valor de pH proporcionado en la tabla 8, que es de 7.14, se representa gráficamente en el eje de las X, como se muestra en la figura 4. Se traza una recta tangente al eje de las X, y el punto de intersección de esta recta con la curva de la figura se utiliza para trazar otra recta hasta el eje Y, obteniendo así el valor de Subi.



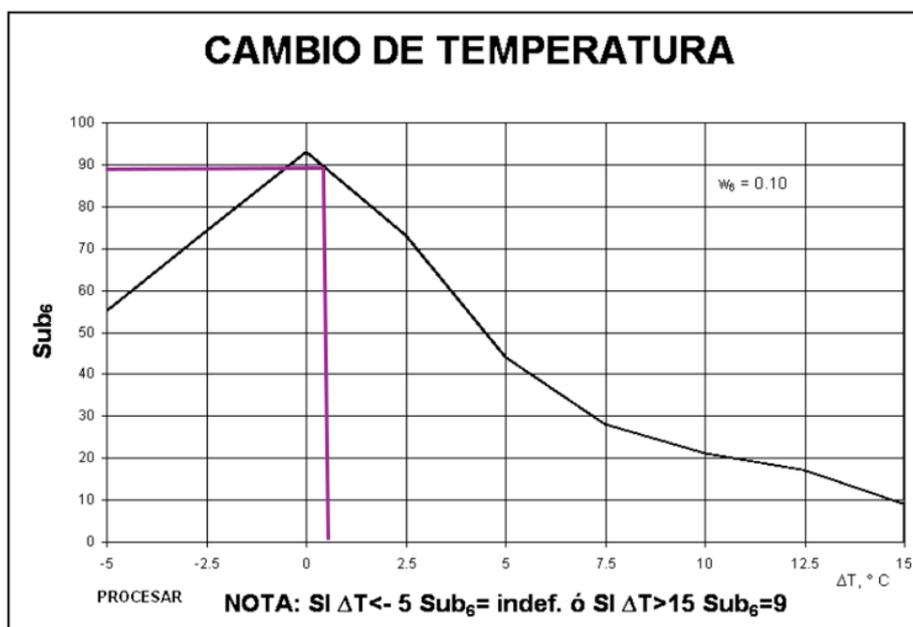
**Figura 5.** Cálculo del índice Subi para nitratos

Para calcular el índice Subi de nitratos, se siguió el mismo procedimiento utilizado para obtener el Subi del pH.



**Figura 6.** Cálculo del índice Subi para fosfatos

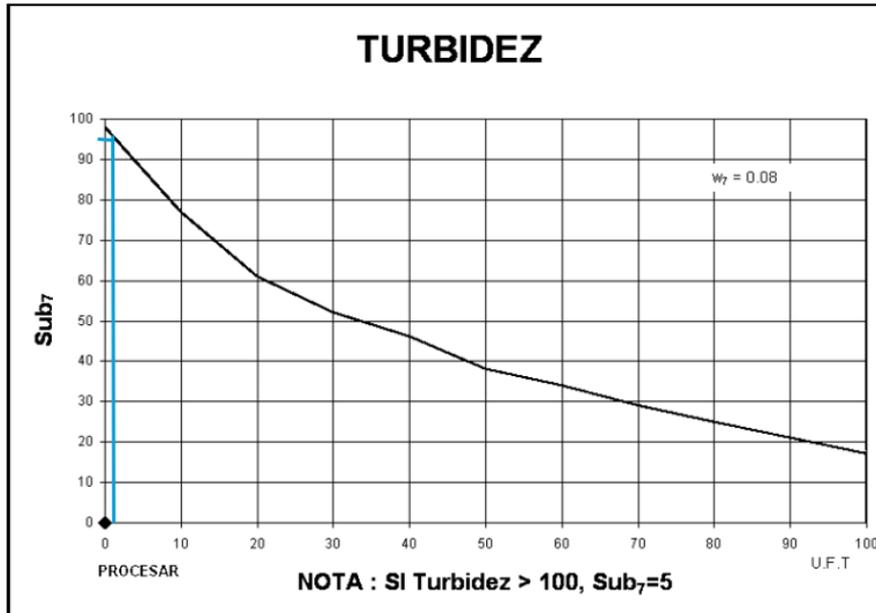
El cálculo del índice Subi para fosfatos se llevó a cabo de manera similar a los procesos realizados para el pH y los nitratos, obteniendo el valor correspondiente de Subi, tal como se detalla en la tabla 8.



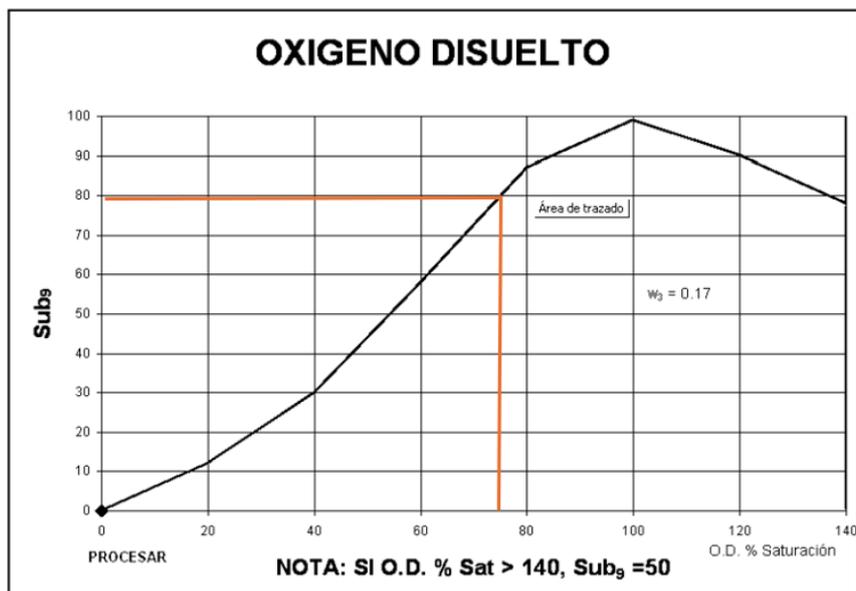
**Figura 7.** Cálculo del índice Subi para temperatura

Para calcular el valor de Subi, se restó la temperatura ambiente de 20°C a la temperatura medida in situ en la vertiente, según se muestra en la tabla 6, resultando en 18,46. La

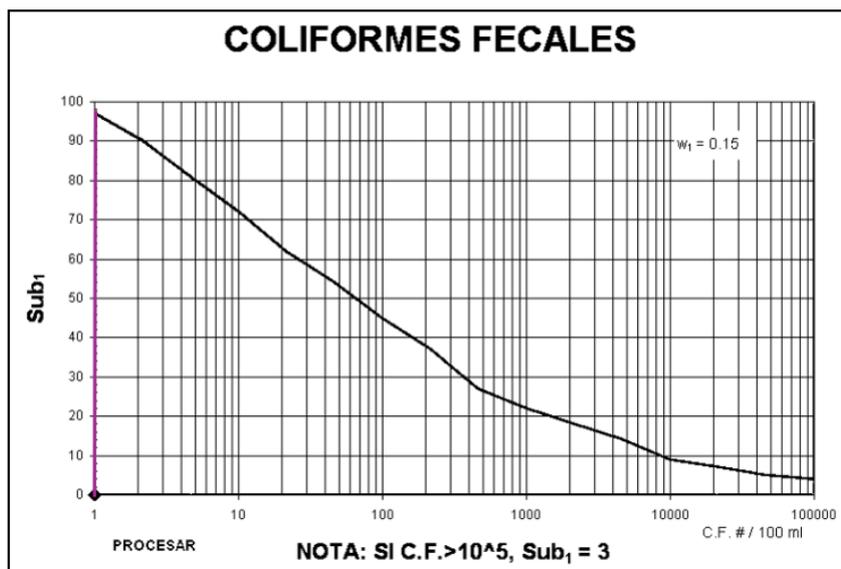
diferencia resultante fue de 1,54. Posteriormente, este valor se representó gráficamente en la figura 7.



**Figura 8.** Cálculo del índice Subi para turbidez



**Figura 9.** Cálculo del índice Subi para OD



**Figura 10.** Cálculo del índice Subi Coliformes Fecales

Para los coliformes fecales, se asignó un valor de Subi de 100, ya que, tras caracterizar el agua de la vertiente, no se detectaron dichos contaminantes. Por ende, se ubicó el valor 1 en el eje de las X, trazando una recta hacia el eje de las Y, siendo este el valor mínimo. El mismo procedimiento se aplicó para SDT y DBO5.

La suma resultante de la multiplicación del índice Subi por el peso ( $w_i$ ) asignado a cada parámetro, según se detalla en la tabla 6, indica que la calidad del agua de esta vertiente es buena, tal como se representa en la figura 3.

### 3.5 Filtros de tratamiento

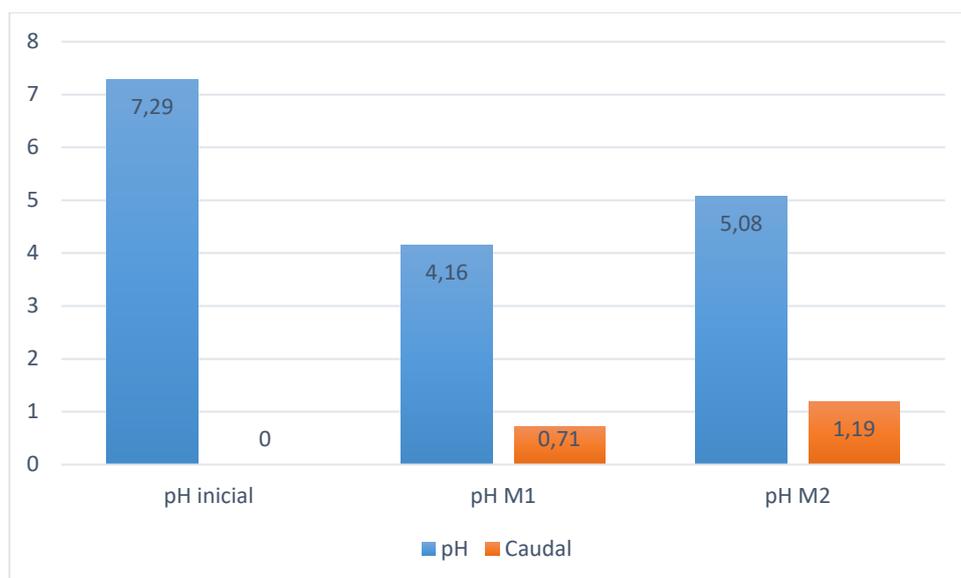
Con base en los resultados previamente obtenidos de la tabla 7, se determinó que el agua es adecuada para el consumo. Sin embargo, al considerar su uso para embotellado, se identificó la necesidad de reducir la dureza, ya que la misma presenta niveles elevados. Esta medida se adopta con miras al futuro para prevenir la formación de incrustaciones en los equipos utilizados durante el transporte del agua a la comunidad, tanto en las máquinas como en las tuberías, especialmente si estas últimas son de metal. Para abordar este tema, se emplearon filtros de pretratamiento y desionizador.

### 3.5.1 Filtro de pretratamiento

El filtro de pretratamiento que incorpora cal, zeolita y carbón activado aborda aspectos cruciales como la corrección del pH, la eliminación de iones no deseados y la adsorción de contaminantes orgánicos. Esta combinación proporciona una solución integral para elevar la calidad del agua. Con el fin de mejorar aún más esta calidad, se realizó la medición del pH inicial de la muestra, seguida de la evaluación del pH y la conductividad al incrementar el caudal con la implementación de dos filtros de pretratamiento, tal como se describe a continuación:

**Tabla 9.** Mediciones de parámetros en función del caudal

Nº muestra	Caudal (mL/s)	pH	Conductividad (µS)
Inicial	0	7,29	1403
M1	0,71	4,16	194,2
M2	1,19	5,08	132,3

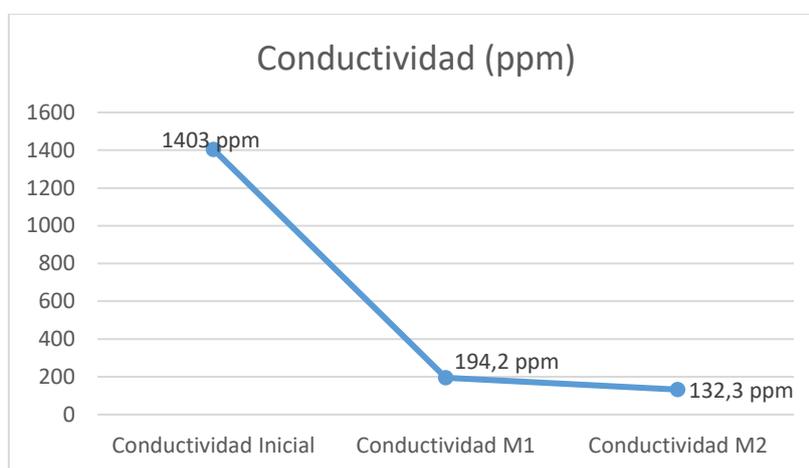


**Figura 11.** Variación del pH en función del caudal

Como se aprecia en la figura 11, el pH inicial de la muestra cumple con las normativas, y el caudal es nulo debido a que se encontraba en estado estacionario en el recipiente. Se designa como M1 a la muestra tomada con un caudal menor y como M2 a la muestra con un aumento de caudal. En este análisis, se observa una variación entre ambas muestras, indicando que al aumentar el flujo también se registra una variación en el pH. Esto sugiere que a medida que el agua atraviesa los dos filtros a una velocidad mayor,

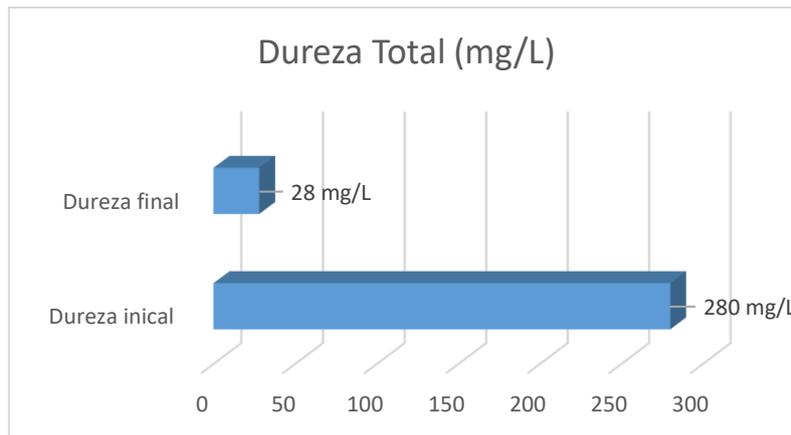
se experimenta un incremento en el pH del agua, permitiendo que esta no sea retenida tanto en los filtros y que siga manteniendo un pH dentro de los valores ideales ya que las fluctuaciones en el pH se deben a la presencia de cal en este filtro, la cual tiene la capacidad de modular el pH, especialmente en el caso de aguas ácidas. La cal desempeña un papel crucial al estabilizar el pH, contribuyendo a mantenerlo dentro de los rangos aceptables.

No obstante, la segunda muestra (M2), con un caudal aumentado en comparación con la primera, satisface los requisitos establecidos para el agua embotellada, al contar con un pH de 5.08, superando así el mínimo requerido para envasar agua, que es de 4.5. Por ende, resultó viable incrementar el caudal para asegurar el cumplimiento de la normativa INEN 2200.



**Figura 12.** Mediciones de conductividad con relación al número de muestra

En lo que respecta a la conductividad, tanto la zeolita como el carbón activado exhiben la capacidad de eliminar iones disueltos en el agua, reduciendo así la presencia de sustancias que contribuyen a la conductividad. La zeolita, en particular, destaca por su habilidad para adsorber y retener selectivamente ciertos iones presentes en el agua.



**Figura 13.** Mediciones de Dureza total al inicio y final del proceso

La disminución en la dureza total del agua se atribuye a una combinación de procesos en el filtro de pretratamiento. La zeolita, mediante sus propiedades de intercambio iónico, adsorbe iones de calcio y magnesio, los principales contribuyentes a la dureza del agua. Al intercambiar estos iones por otros presentes en la zeolita, se logra reducir la concentración de iones de calcio y magnesio en el agua, disminuyendo efectivamente la dureza. Por otro lado, el carbón activado tiene la capacidad de adsorber compuestos orgánicos que podrían estar complejando los iones de calcio y magnesio. Al eliminar estos compuestos, se reduce la complejidad de los iones y su contribución a la dureza, complementando así la eficacia del proceso de tratamiento.

Después de llevar a cabo esta prueba utilizando dos filtros de pretratamiento, se logró reducir la dureza del agua como se observa en la Figura 13. Posteriormente, se decidió realizar el mismo procedimiento utilizando solo un filtro de pretratamiento, y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 10.** Mediciones realizadas utilizando un filtro de pretratamiento

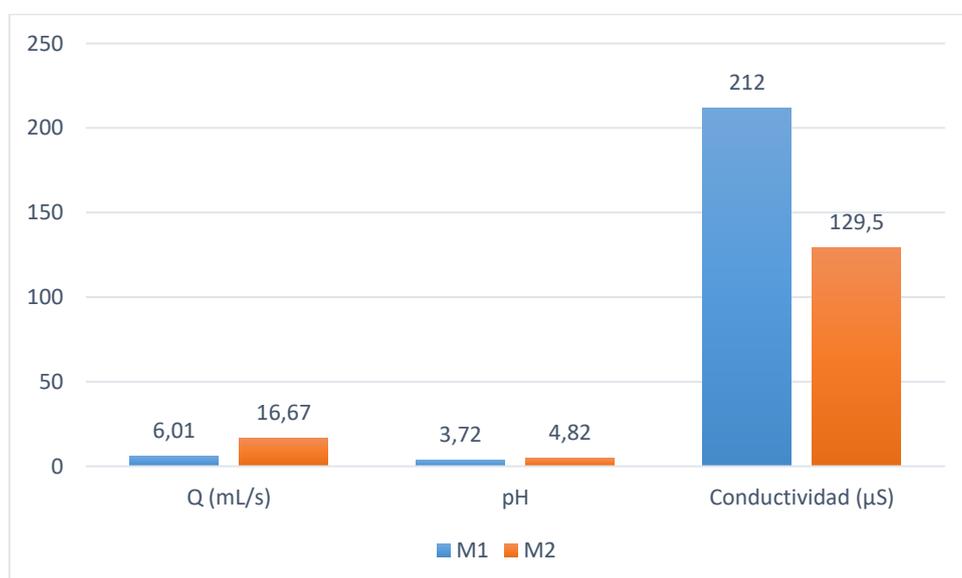
Q (mL/s)	pH	Conductividad (µS)
12,08	2,95	874

Con base en los datos de la tabla 10, se evidenció un cambio significativo en el caudal en comparación con los valores de la tabla 9. Este aumento se llevó a cabo con el propósito de explorar posibles variaciones en los resultados, permitiendo que el flujo del agua de la muestra fuera más constante a través de los filtros y evaluando cómo esto podría influir en los resultados. La decisión de incrementar el caudal se tomó después

de observar que en el primer ensayo, al aumentar el caudal, el pH aumentaba. No obstante, con este último aumento, se constató que el pH disminuyó, indicando un carácter más ácido del agua. Además, en relación con la conductividad, se registró una disminución con respecto al valor inicial.

### 3.5.2 Filtro Desionizador

Utilizando un filtro desionizador, se configuró el proceso de tratamiento de la siguiente manera, con el filtro de pretratamiento seguido por el filtro desionizador, dado que este último contenía una mayor cantidad de zeolita. Esta decisión se tomó con el propósito de evitar la saturación prematura del segundo filtro. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



**Figura 14.** Mediciones de parámetros con un filtro de pretratamiento y desionización

Como se ilustra en la figura 14, al comenzar con un caudal de 6,01 mL/s y llegar a un caudal final de 16,67, se observa que el pH inicial es relativamente bajo. A medida que se incrementa el caudal en la segunda muestra, se nota un aumento en el pH, donde este cumple con la normativa INEN 2200 para agua embotellada.

Por consiguiente, se decidió realizar una prueba exclusivamente con el filtro desionizador. La combinación de zeolita y carbón activado en dicho filtro busca capitalizar las fortalezas de ambos materiales para lograr una purificación integral del agua.

En un filtro desionizador, la zeolita puede eliminar cationes y aniones no deseados a través de un proceso de intercambio iónico. Esto resulta beneficioso para reducir la dureza del agua mediante la eliminación de iones de calcio y magnesio. Por otro lado, el carbón activado demuestra eficacia al adsorber compuestos orgánicos, productos químicos y otras impurezas presentes en el agua. Tiene propiedades adsorbentes contribuyen a retener moléculas orgánicas, mejorando así el sabor y el olor del agua.

En consonancia con estos resultados, se optó por utilizar únicamente el filtro desionizador con el objetivo de eliminar únicamente la dureza del agua sin alterar las condiciones de pH inicial, que resultaban ser óptimas para el tipo de agua en consideración.

Las medidas con el filtro desionizador fueron las siguientes:

**Tabla 11.** Resultados obtenidos utilizando un filtro de desionización

<b>Muestra</b>	<b>Caudal (mL/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (µS)</b>	<b>Dureza Total (ppm)</b>
M1	8,01	4,61	184	20
M2	10,08	4,89	132,3	20

Según los resultados reflejados en la tabla 11, se evidenció que al incrementar el caudal, se observó un aumento en el pH a las condiciones deseadas para cumplimiento de normativa específicamente la INEN 2200. En cuanto a la dureza, se encontraba en niveles adecuados para prevenir futuras incrustaciones, al igual que la conductividad, ambos cumpliendo con las condiciones óptimas para este tipo de agua.

Se intentó realizar una prueba de qué pasaría si esta agua por alguna circunstancia subiría el pH por lo que, se llevó a cabo una neutralización, elevando el pH inicial a un rango de 9 a 10. Este ajuste se implementó con el objetivo de lograr que, al pasar por el filtro, el agua siga cumplimiento la normativa INEN 2200 como se observa en la tabla 2.

Por lo tanto, El proceso implica el intercambio de cloruro de potasio por cloruro de sodio, liberando así el cloruro de potasio. En esta etapa, el filtro desionizador retiene las partículas de calcio y magnesio. La reacción de intercambio de iones, específicamente del cloruro de potasio por cloruro de sodio, permite liberar cloruro de potasio y al mismo

tiempo, el filtro desionizador tiene la capacidad de retener selectivamente las partículas de calcio y magnesio presentes en la solución. Este proceso contribuye significativamente a la reducción de la dureza del agua, ya que los iones de calcio y magnesio son principales contribuyentes a este parámetro.

### 3.5.3 Neutralización

Para aumentar el pH, se empleó una solución al 5% de hidróxido de sodio en un litro de agua, logrando la siguiente dosificación:

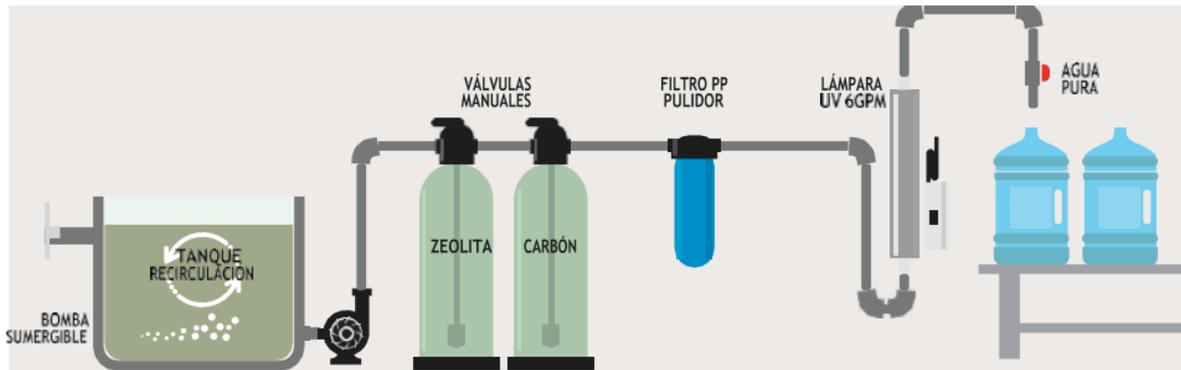
**Tabla 12.** Dosificación de hidróxido de sodio (NaOH al 5%) para aumentar el pH

Número de gotas	pH
14	8,30
18	8,57
22	8,69
26	8,90
30	9,00

Después de elevar el pH de la muestra inicial de 7,29 a 9, se sometió el agua a través del filtro desionizador. Al medir el pH final después de pasar por el filtro, se registró un valor de 4,95 alcanzando el pH deseado.

### 3.6 Sistema de desinfección

A continuación, como se observa en la figura 15, describe un diseño de desinfección del agua mediante radiación ultravioleta (UV). Este diseño es fundamental, incluso cuando el agua es considerada apta para el consumo, ya que asegura una desinfección adecuada, eliminando cualquier rastro de patógenos y previniendo así enfermedades asociadas al agua.



**Figura 15.** Flujo gráfico de un sistema de embotellado (Sanitron)

### 3.6.1 Tanque de almacenamiento

Se ha desarrollado un depósito de almacenamiento ajustado al caudal de la fuente, suponiendo un tiempo de funcionamiento de 6 horas. A continuación, se detallan las dimensiones correspondientes:

**Tabla 13.** Dimensiones del tanque de almacenamiento

Diseño	Fórmula	Unidad	Resultado
Volumen (V)	$V = Q * t$	$m^3$	56,81
Altura del tanque (h)	$h = \sqrt[3]{\frac{V}{2}}$	$m$	3,05
Largo del tanque (a)	$a = 2h$	$m$	6,1
Profundidad (p)	$p = h$	$m$	3,05

### 3.6.2 Filtros

Se utilizaron cartuchos con boquilla de manguera Thermo Scientific Barnstead en pruebas anteriores como parte del proceso de pretratamiento.

Los cartuchos que cuentan con una boquilla de manguera de la marca Barnstead ofrecen una alternativa rentable para la purificación de volúmenes de agua que alcanzan hasta 75 L/h. Estos cartuchos pueden emplearse en diversas aplicaciones, como descalcificación, desionización y la eliminación de materia orgánica y cloro.

A continuación, se detallan las características de los cartuchos:

Características del producto	
Tamaño cartucho	Dimensiones Longitud x diámetro
Tamaño 1/2	25,9 x 8,25 cm (10,2 x 3,25 pulg.)
Tamaño 2/3	33,8 x 8,25 cm (13,3 x 3,25 pulg.)
Tamaño completo	47,5 x 8,25 cm (18,7 x 3,25 pulg.)

**Figura 16.** Dimensiones del cartucho (Thermo Scientific)

Estos cartuchos presentan conexiones de manguera en ambos extremos, con las siguientes dimensiones:

**Tabla 14.** Dimensiones de la manguera

Medida en cm	Medida en pulgadas
0,95	0,375
Para aplicaciones no presurizadas	

Dado que el agua presenta una alta dureza y con el objetivo de reducir este componente como parte de un pretratamiento, con la finalidad de preparar el agua para futuros procesos de embotellado, se emplearon los modelos D8921 y D8922, como se indica en la tabla siguiente:

Elija el cartucho en función de sus necesidades.	Tipos de resina	Capacidad	Indicador de color <sup>1</sup>	Número de modelo
Lecho mixto, tamaño 1/2	Ultrapura de intercambio iónico	430 granos (28 g)	No	D50220
Lecho mixto, tamaño 1/2 con eliminación de oxígeno	Ultrapura de lecho mixto con fuerte intercambio aniónico	280 granos/4,4 g	No	D8822
Alta capacidad, tamaño 2/3	Intercambio iónico de lecho doble con fuerte intercambio catiónico	1.100 granos (71 g)	Sí	D8950
Lecho mixto y eliminación sustancias orgánicas, tamaño 2/3	Intercambio iónico de lecho mixto con carbono activo	470 granos (30 g)/2.000 gal.	Sí	D8951
Eliminación de cationes, tamaño completo	Intercambio catiónico	3.000 granos (194 g)	Sí	D8905
Alta capacidad, tamaño completo	Intercambio iónico de lecho doble	1.650 granos (107 g)	Sí	D8901
Eliminación de cationes, macrorreticular, tamaño completo	Intercambio catiónico macrorreticular	n/d	No	D8908
Eliminación de sustancias orgánicas, tamaño completo	Carbono activo	18.927,05 l (5.000 gal.)	No	D8904
Eliminación de oxígeno, tamaño completo	Fuerte intercambio aniónico	30 g	No	D8903
Pretratamiento y eliminación de incrustaciones, tamaño completo	Lecho mixto y fuerte intercambio de cationes, carbón activo	1.250 granos (81 g)/1.000 gal.	Sí	D8921
Ultrapura, tamaño completo	Ultrapura de intercambio iónico	915 granos (60 g)	No	D8911
Ultrapura, tamaño completo	Ultrapura, intercambio iónico de lecho mixto	915 granos (60 g)	Sí	D8902
Ultrapura con eliminación de materia orgánica, tamaño completo	Intercambio iónico de lecho mixto con carbono activo	730 granos (47 g)/2.000 gal.	Sí	D8922

**Figura 17.** Características de los cartuchos (Thermo Scientific)

### 3.6.3 Lámpara UV

Se optó por la lámpara UV AquaUV, la cual es altamente eficaz para garantizar la inactivación de virus, bacterias y microorganismos presentes en el agua. Con una vida útil que varía entre 8,000 y 10,000 horas, esta elección se posiciona como una destacada alternativa para elevar la calidad del agua utilizada en procesos industriales, comerciales o en entornos residenciales.

El diseño de la lámpara fue seleccionado considerando el caudal de la vertiente, que es de 2,63 L/s según se muestra en la tabla 5. Para la elección de la lámpara en la ficha técnica, se convirtió esta unidad a  $m^3/h$ , como se ilustra en la figura 18.



		Lámparas AquaUV						
		Modelo						
		(Llámanos para especificaciones detalladas sobre unidades específicas)						
Tipo	St	Se	St	Se	Se	Se	Se	
	Estándar	Sensor	Estándar	Sensor	Sensor	Sensor	Sensor	
Tasa de Flujo	30 mJ/cm <sup>2</sup>	2 GPM 7.5 LPM 0.5 m <sup>3</sup> /h	2 GPM 7.5 LPM 0.5 m <sup>3</sup> /h	6 GPM 22.7 LPM 1.4 m <sup>3</sup> /h	6 GPM 22.7 LPM 1.4 m <sup>3</sup> /h	12 GPM 45.4 LPM 3 m <sup>3</sup> /h	24 GPM 90.8 LPM 5.5 m <sup>3</sup> /h	52 GPM 196.8 LPM 11.8 m <sup>3</sup> /h
	*NSF 40 mJ/cm <sup>2</sup>	1.5 GPM 5.5 LPM 0.3 m <sup>3</sup> /h	1.5 GPM 5.5 LPM 0.3 m <sup>3</sup> /h	4.5 GPM 17 LPM 1 m <sup>3</sup> /h	4.5 GPM 17 LPM 1 m <sup>3</sup> /h	9 GPM 32.1 LPM 1.9 m <sup>3</sup> /h	18 GPM 64.3 LPM 3.8 m <sup>3</sup> /h	39 GPM 147.6 LPM 8.8 m <sup>3</sup> /h
Características	Diámetro Entrada/Salida (plg)	1/4" MNPT	1/2" MNPT	3/4" MNPT	3/4" MNPT	1" MNPT	1" MNPT	1-1/2" MNPT
	Watts lámpara	14W	14W	28W	28W	39W	50W	100W
	Dimensiones Largo x diámetro (cm)	42X8.5	44.5X18.5	62.5X9	66.5X18.5	102X20	68X23	121X23
	110 VAC Analógica	X	X	X	X	X		
	110-220 VAC Digital, 365 días	X	X	X	X	X	X	X
	110-220 VAC Digital Sensor 365 días		X		X	X	X	X
<b>Condiciones de operación:</b> Temperatura ambiente 2-40°C (36-104°F) - Presión máxima 8.6 bar (125 psi) - Hierro <0,3 mg/l - Dureza <120 mg/l - pH 6.5-9.5 - Manganeseo <0.05 mg/l - Taninos <0.3 mg/l - Transmitancia UV > 75% - Sólidos suspendidos <10 mg/l - Color: No								

**Figura 18.** Modelos de lámparas AguaUV (Sanitron)

Con un caudal de 9,47 m<sup>3</sup>/h se optó por el modelo tipo 30 mJ/cm<sup>2</sup> con un sensor de 52 GPM 196,8 LPM con un caudal de 11,8 m<sup>3</sup>/h, el cual abarca el caudal deseado y más.

### 3.7 Costos

A continuación, se presenta un desglose presupuestario de los elementos principales para la elaboración de un sistema de embotellado:

**Tabla 15.** Equipos para un sistema de embotellado

Equipo	Descripción	Costo
Tanque	58 metros cúbicos	\$10 000
Cartucho D8921	- Cuenta con un indicador de cambio de color que alerta sobre el agotamiento de la resina. - Elaborados con polipropileno virgen al 100%	\$183, 36

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para aplicaciones que requieren volúmenes pequeños.</li> <li>- Pretratamiento completo para la eliminación de incrustaciones, a tamaño completo.</li> <li>-Intercambio de lecho mixto y catiónico fuerte, carbón activado.</li> <li>- Retención 1250 granos/1000 galones</li> <li>- Caudal de hasta 75 l/s (Fisher Scientific)</li> </ul>	
<b>Cartucho D8922</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicador de color</li> <li>- Caudal de hasta 75 l/s</li> <li>- Retención 730 granos/ 2000 galones</li> <li>- Ultrapura con eliminación de materia orgánica, tamaño completo.</li> <li>-Intercambio de iones de lecho mixto con carbón activado.</li> </ul> <p>(Fisher Scientific)</p>	\$197,55
<b>Manguera 3/4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-100 metros</li> <li>-Diámetro 25 mm</li> <li>- 60 psi</li> <li>-Protector UV</li> <li>-Material: Polietileno</li> </ul> <p>(Riego Ecuador)</p>	\$38,00
<b>Lámpara UV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modelo tipo 30 <math>mJ/cm^2</math></li> <li>- Sensor de 52 GPM</li> <li>- 196,8 LPM</li> <li>- caudal de 11,8 <math>m^3/h</math>,</li> </ul> <p>(Sanitron)</p>	\$50,28

<b>Total</b>	\$10 469,17
--------------	-------------

Para los tramos de tuberías y accesorios del sistema de embotellado de la figura 15, los costos presentados en la tabla 16 fueron extraídos de EMMAP.

**Tabla 16.** Costos de tuberías, codos y bomba para el sistema de embotellado representado en la figura 15.

Accesorios	Descripción	Costo
<b>TUBERÍA PVC 1/2"</b>	Aproximadamente se necesitará 6 metros de tubería. 1 m de tubería = \$4,60	\$ 27,60
<b>CODO PVC ROSCABLE 1/2"</b>	Codo de 1/2", 90°, para la unión de tuberías. Se necesitará de acuerdo con la figura 15, 6 codos. 1 codo = \$0,74	\$ 4,44
<b>BOMBA 8HP EJE VERTICAL</b>	Q=2 l/s TDH=110mca (PROVISION Y MONTAJE)	\$ 3035,04
<b>Total</b>		<b>\$ 3067,08</b>

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones

- Los resultados recopilados en las tablas 6 y 7 indican que el agua presenta características favorables, cumpliendo con los estándares establecidos por la normativa INEN 1108 y siendo, por lo tanto, apta para el consumo humano.
- La variación en el pH entre las muestras M1 y M2 sugiere que un aumento en el caudal también conlleva un cambio en el pH. Este hallazgo indica que al aumentar la velocidad de flujo a través de los filtros, se produce un incremento en el pH del agua, sugiriendo que la presencia de cal en el filtro modula el pH.
- La cal desempeña un papel crucial al estabilizar el pH del agua, según se deduce de las fluctuaciones observadas en el análisis. Este efecto contribuye a mantener el pH dentro de los rangos aceptables, lo que indica la importancia de la cal en la modulación y estabilidad de las propiedades del agua.
- El agua cumple con los requisitos establecidos para el agua embotellada al poseer un pH de 4.6 a 5. Este valor supera el mínimo necesario para el envasado de agua, que es de 4.5, garantizando el cumplimiento de la normativa INEN 2200.
- La prueba que utilizó dos filtros de pretratamiento demostró una reducción efectiva en la dureza del agua, como se refleja en la figura 13. Esta evidencia respalda la eficacia del proceso y sugiere que la combinación de zeolita y carbón activado es exitosa en la disminución de la dureza total.
- Se realizó un ajuste significativo en el caudal con el propósito de explorar posibles variaciones en los resultados, destacando que este cambio se llevó a cabo utilizando únicamente un filtro de pretratamiento. Esta modificación permitió un flujo más uniforme del agua de la muestra a través de los filtros, brindando una evaluación precisa de cómo el caudal afecta los resultados de pH y conductividad.
- La configuración del proceso de tratamiento incluyó un filtro de pretratamiento seguido por un filtro desionizador, destacando la mayor cantidad de zeolita en este último para evitar la saturación prematura. La variación en el caudal, como se muestra en la figura 14, reveló que al aumentar el flujo, el pH se ajusta a la normativa INEN 2200 para agua embotellada.
- En el proceso de tratamiento que combina el filtro de pretratamiento y el desionizador, se observó que la zeolita en el filtro desionizador eliminó cationes y aniones no deseados mediante el intercambio iónico, logrando una reducción efectiva en la dureza del agua al eliminar iones de calcio y magnesio.

- La decisión de utilizar solo el filtro desionizador se basó en el objetivo de eliminar la dureza del agua sin alterar las condiciones de pH inicial, las cuales resultaban ser óptimas para el tipo de agua en consideración.
- En la prueba de neutralización, la aplicación de este ajuste de pH se llevó a cabo con la finalidad de asegurar que, al pasar por el filtro, el agua continuara cumpliendo con los estándares establecidos por la normativa INEN 2200. Como resultado, se logró cumplir con dicho propósito, manteniéndose dentro del rango especificado por la normativa para agua embotellada.
- El diseño de desinfección del agua mediante radiación ultravioleta (UV), es esencial incluso cuando el agua se considera apta para el consumo. Este diseño garantiza una desinfección adecuada al eliminar cualquier rastro de patógenos, proporcionando una medida preventiva contra enfermedades asociadas al agua, sin incluir un sabor residual que podría generar rechazo, tal como lo haría el cloro.
- El intercambio de cloruro de potasio por cloruro de sodio y la retención selectiva de partículas de calcio y magnesio por parte del filtro desionizador son pasos fundamentales en la reducción de la dureza del agua. Este proceso es crucial para mejorar la calidad del agua al eliminar los iones de calcio y magnesio, principales contribuyentes a la dureza, mediante una eficiente acción de intercambio iónico.

## 4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar la toma inmediata de medidas para parámetros como temperatura y pH en el lugar de muestreo, ya que esto es esencial para preservar la precisión de los resultados y evitar posibles variaciones y alteraciones durante el traslado al laboratorio, como se evidenció durante el análisis, al observar fluctuaciones en la temperatura y el pH.
- Se sugiere realizar incrementos graduales al ajustar el pH, tal como se ilustra en la tabla 12, debido a que el hidróxido de sodio tiende a provocar cambios abruptos en el pH.
- Se aconseja realizar ajustes en el pH dentro de un rango de 9 a 10, ya que superar un pH de 10 podría ocasionar un exceso de sodio, volviéndose potencialmente corrosivo.
- Se sugiere aplicar el intercambio de cloruro de potasio por cloruro de sodio y la retención selectiva de partículas de calcio y magnesio mediante un filtro desionizador para reducir eficientemente la dureza del agua, mejorando su calidad y haciéndola más adecuada para diversos usos.

- Se sugiere realizar un análisis inmediato de los parámetros críticos, como coliformes fecales, alcalinidad, acidez y metales, tan pronto como se recolecten las muestras. Esto se justifica debido a que la presencia de metales en el agua puede propiciar su oxidación, generando posibles variaciones en los resultados. Además, la evaluación inmediata de coliformes fecales es esencial para identificar posibles contaminaciones fecales, mientras que la medición de alcalinidad y acidez proporciona información crucial sobre la estabilidad del agua. Este enfoque temprano garantiza resultados más precisos y confiables en el análisis del agua.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aluminio Compuesto*. (Septiembre 7, 2023). *Reacción del aluminio con el agua: propiedades y reacciones químicas*. <https://aluminio-compuesto.com.ar/reaccion-del-aluminio-con-el-agua-propiedades-y-reacciones-quimicas/>
- Amarilha, G. (Mayo 26, 2021). *Prototipo de filtración aplicado en desionización de agua usando resina mixta*. Ingeniería Química. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-quimica/desionizacion-de-agua>
- Ambientales, L. d. (Mayo 31, 2006). *Procedimiento para la Medición de Hierro Total*. Universidad Tecnológica de Panamá. <https://utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-218-2006.pdf>
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- HANNA. (s.f.). *¿Qué es el pH?* Hanna instrumets Colombia. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph>
- Herrera M., J. (2020). *Validación y estimación de incertidumbre de un método analítico para cuantificar hierro total por el método colorimétrico de la fenantrolina en agua potable y natural*. Revista Científica De FAREM-Estelí, (34), 154–168.: <https://camjol.info/index.php/FAREM/article/view/10014/11520>
- Hiriart, M. M. (Diciembre 4, 2023). *El agua como recurso*. Universidad Nacional Autónoma de México: <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>
- Rojas, J. A. (2009). *Calidad del agua*. [https://www.academia.edu/38972813/Calidad\\_del\\_Agua\\_ROMERO\\_ROJAS](https://www.academia.edu/38972813/Calidad_del_Agua_ROMERO_ROJAS)
- Surribas, C. F. (Abril de 2010). *Importancia del Agua*. Elementalwatson "la revista": <https://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>
- TULSMA. (Noviembre 4, 2015). *Edición Especial N° 387*. Registro Oficial. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155129.pdf>
- Umpiérrez, M. A. (2023). *Tema 3: Las Aguas del Planeta*. Ciclo del Agua y Aguas Dulces y Saladas: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/msuaump/sociales/tema-3-las-aguas-del-planeta/#:~:text=Las%20aguas%20dulces%20del%20planeta,las%20superficiales%20s%C3%B3lo%20el%201%25>.
- Salvadó, J. (Enero, 2021). *Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad*. Scielo. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112020000700026&script=sci\\_arttext#B1](https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112020000700026&script=sci_arttext#B1)
- García N. (Mayo 21, 2021). *La importancia del agua para el desarrollo en las zonas rurales*. Ayuda en Acción. <https://ayudaenaccion.ec/blog/agua/agua-en-zonas-rurales/>

- GAD Municipal Baños de Agua Santa. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.  
[https://municipiobanos.gob.ec/banos/images/LOTAIP2021/enero2021/PDOT\\_2019-2023.pdf](https://municipiobanos.gob.ec/banos/images/LOTAIP2021/enero2021/PDOT_2019-2023.pdf)
- Agenda Tungurahua. (2021). *Agenda Tungurahua*.  
[https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda\\_Tungurahua2019-2021.pdf](https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2020/Agenda_Tungurahua2019-2021.pdf)
- Google Earth. (2022). *Vertiente Paki Poggio*.  
<https://earth.google.com/web/data=MkEKPwo9CiExMFpfNmswVIZzQjdzcGNMWW5KeW9JVERydWNZUnhrVWESFgoUMDEzRDBGQTJDMDJERERBQ0Q5NTEgAQ>
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (s.f). *Índice de Calidad del Agua General "ICA"*. <https://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>
- Watpro S.A. (s.f). *Greensand*. Equipos para tratamiento y purificación de agua.  
[https://nuevaweb.filtrosypurificadoresdeagua.com/wp-content/uploads/2021/10/Ficha-Tecnica-Greensand.pdf?\\_gl=1\\*1bzx2ll\\*\\_ga\\*MTU1MzcyODc0NS4xNzAyNzc1ODM5\\*\\_ga\\_YM794GJZ41\\*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..\\*\\_ga\\_NTLBZE3B7D\\*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..\\*\\_ga\\_9NLSSECKQX\\*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..&\\_ga=2.138389427.2086505836.1702775839-1553728745.1702775839](https://nuevaweb.filtrosypurificadoresdeagua.com/wp-content/uploads/2021/10/Ficha-Tecnica-Greensand.pdf?_gl=1*1bzx2ll*_ga*MTU1MzcyODc0NS4xNzAyNzc1ODM5*_ga_YM794GJZ41*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..*_ga_NTLBZE3B7D*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..*_ga_9NLSSECKQX*MTcwMjc3NTgzOC4xLjAuMTcwMjc3NTgzOC4wLjAuMA..&_ga=2.138389427.2086505836.1702775839-1553728745.1702775839)
- INEN 1108. (2020). *Agua para consumo Humano*. Requisitos. Sexta Revisión.  
<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/quimica/n-te-inen-1108-compres/66006362>
- INEN 2169. (s.f). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras*.  
<https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- INEN 2176. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*. Instituto Ecuatoriano de Normalización para consumo Humano.  
[https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio\\_natural/n-te\\_inen\\_2176\\_1\\_agua\\_calidad\\_agua\\_muestreo\\_tecnicas\\_muestreo.pdf](https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/n-te_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf)
- INEN 2200. (2017). *Agua purificada emvasada. Requisitos*.  
<https://es.scribd.com/document/441048597/Inen-2200-2>
- Alfonso García, M. G. (s.f.). *Cloruros Totales en el Agua de Abastecimiento*.  
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf>
- Bauder, W. A. (s.f.). *Well Educated. Educación en el Agua de Pozo*.  
[http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Copper\\_Lead%20%202012-3-5-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Copper_Lead%20%202012-3-5-SP.pdf)
- Chavarría E., Huamaní L., Basurto C., Guitierrez J & Cusiche M. (2023). *Determinación clásica de coliformes fecales en agua entubada en el distrito de Ahuaycha, Perú*.

- Obtenido de ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Volumen 7, Número 21. pp. 560 - 566.  
<https://www.revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/296/764>
- HANNA. (3 de septiembre de 2020). *¿Por qué medir la alcalinidad en el agua potable?* Obtenido de <https://hannainst.com.mx/blog/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/#:~:text=La%20alcalinidad%20o%20basicidad%20del,capacidad%20a%20mortiguadora%20de%20una%20soluci%C3%B3n.>
- Herrera M., J. (2020). *Validación y estimación de incertidumbre de un método analítico para cuantificar hierro total por el método colorimétrico de la fenantrolina en agua potable y natural.* Revista Científica De FAREM-Estelí, (34), 154–168.:  
<https://camjol.info/index.php/FAREM/article/view/10014/11520>
- Rodriguez, J. (8 de septiembre de 2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela.* Pensamiento Actual, ISSN-e 2215-3586, ISSN 1409-0112, Vol. 9, Nº. 12-13:  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5897932.pdf>
- Luzuriaga, M & Vanegas, M. (2014). *Estudio para la construcción del sistema de agua potable para la comunidad de Chahracashca - Piruncay de la parroquia Sigsig.* Universidad del Azuay.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4267/1/10825.pdf>
- Monroy, M. (2017). *Medición in situ de cualidades del agua para diseño de dispositivo.* Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8793430.pdf>
- Capote, T., Matute, S., & Rojas, J. (2015). *Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato.* Revista del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel", 2015; Vol 46 (1-2):  
<https://ve.scielo.org/pdf/inhrr/v46n1-2/art03.pdf>
- Romero, J. (2009). *Calidad del Agua.* Obtenido de 3ra Edición: <https://toaz.info/doc-view-2>
- Romero, J. (2010). *Tratamientos de aguas residuales.* Escuela Colombiana de Ingeniería. Teoría y principios de diseño.  
[https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fdrive.google.com%2Ffile%2Fd%2F1tiB3R3BqNrpj2lvuhwoWtLwsJVXotuW6%2Fview%3Fusp%3Dsharing%26fbclid%3DIwAR3peqm18aibiXPIvw6FkPfqLF7NMgizdVF3d\\_wHZLuHh88zhMKQJ-z7Yk&h=AT3Uz0wm4T0DZ45zTFf5sGNeopyz8hndtZffWmOWUgeoR3LL](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fdrive.google.com%2Ffile%2Fd%2F1tiB3R3BqNrpj2lvuhwoWtLwsJVXotuW6%2Fview%3Fusp%3Dsharing%26fbclid%3DIwAR3peqm18aibiXPIvw6FkPfqLF7NMgizdVF3d_wHZLuHh88zhMKQJ-z7Yk&h=AT3Uz0wm4T0DZ45zTFf5sGNeopyz8hndtZffWmOWUgeoR3LL)
- Surribas, C. F. (Abril, 2010). *Importancia del Agua.* Obtenido de Elementalwatson "la revista": <https://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>
- TULSMA. (Noviembre 4, 2015). *Edición Especial Nº 387.* Registro Oficial:  
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155129.pdf>
- Purifica. (Junio 24, 2015). *La filtración de agua, como protección y pretratamiento.* Guía de purificadores de agua.  
<https://www.guiapurificadoresdeagua.com/pretratamiento-filtracion-de-agua/>

- Sanitron. (s.f). *Ingeniería de Purificación. Plantas Embotelladoras.*  
<https://sanitron.com/wp-content/uploads/2021/12/PLANTAS-EMBOTELLADORAS.pdf>
- Thermo Scientific. (s.f). *Libro del Agua Thermo Scientific. Excepcionales sistemas de depuración de agua de laboratorio.* <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LED/Product-Guides/D21093~.pdf>
- Sanitron. (s.f). *Ingeniería de Purificación. Lámparas AquaUV Sanitron.* .  
<https://sanitron.com/wp-content/uploads/2021/12/FICHA-TE%CC%81CNICALA%CC%81MPARAS-UV.pdf>
- Fisher Scientific. (s.f). *Thermo Scientific. Cartuchos con boquilla de manguera Barnstead.* <https://www.fishersci.es/shop/products/barnstead-hose-nipple-cartridges-7/p-4531456>
- MetalHierro. (s.f). *Tanque Ecotanque Tipo Botella.*  
<https://ferreteriametalhierro.com/producto/320-tanque-ecotanque-tipo-botella-600lts>
- Riego Ecuador. (s.f). *Manguera ¾. – 100 metros multiuso.*  
<https://www.riegoecuador.com/index.php/productos/manguera-3-4---100-metros>
- España, L., Quintero, D & Reyes, S. (Marzo 1, 2017). *Estandarización de Soluciones.*  
[https://www.academia.edu/31832734/Estandarizaci%C3%B3n\\_de\\_soluciones](https://www.academia.edu/31832734/Estandarizaci%C3%B3n_de_soluciones)
- Angelis. (s.f). *Trabajo práctico 3: Estandarización de Soluciones.*  
<http://www.escuelaraggio.edu.ar/pagina%20de%20practicos%202021/TPS/5/ali m-5/taller/GUIA%20TP%203.pdf>
- Rotoplas. (Octubre 25, 2018). *¿Cómo se purifica el agua? Conoce su proceso.*  
<https://rotoplas.com.mx/como-se-purifica-el-agua/>
- Carbotecnia. (Octubre 24, 2023). *Proceso típico de purificación de agua.* Centro de aprendizaje.  
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/proceso-de-purificacion-de-agua/>
- Pérez, J., & Urrea, M. (Octubre 25, 2018). *Abastecimiento de agua. Filtración.* Universidad Politécnica de Cartagena.  
[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod\\_resource/content/1/Tema\\_08\\_FILTRACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod_resource/content/1/Tema_08_FILTRACION.pdf)
- Sánchez, J. (Julio 26, 2018). *Como purificar el agua en casa para beber.* Ecología verde.  
<https://www.ecologiaverde.com/como-purificar-el-agua-en-casa-para-beber-1492.html>

## 6. ANEXOS

### ANEXO I: Documento Evaluado por Turnitin



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS  
CAMPUS POLITÉCNICO "ING. JOSÉ RUBÉN ORELLANA"**

#### CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, 20 de febrero de 2024

De mi consideración:

Yo, Santiago Stalin Guerra Salcedo, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado "Evaluación de la calidad de agua de las vertientes Paki Poggio y Shushurí, ubicadas en la provincia de Tungurahua", componente "Determinación de la calidad de la fuente Paki Poggio" elaborado por la estudiante Kerly Dayan Delgado Ortiz de la carrera en RRA20 Tecnología Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito secciones: resumen. abstract. introducción. metodología. discusión y resultados. conclusiones y El documento escrito tiene un índice de similitud del 12%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo la interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,



---

**Santiago Guerra Salcedo  
Docente  
ESFOT**

## Tesis\_Delgado Kerly\_final

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>12%</b>	<b>11%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Escuela Politecnica Nacional</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>dokumen.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>ri.ues.edu.sv</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>VICEVERSA CONSULTING S.A.. "Actualización de la MEIA Tambojasa-IGA0019651", R.D. N° 00064-2021-SENACE-PE/DEAR, 2022</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>

9	<a href="http://repositorio.chapingo.edu.mx">repositorio.chapingo.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.gtz.org.mx">www.gtz.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Unidad Educativa Particular "Rosa de Jesús Cordero" - Catalinas Trabajo del estudiante	<1 %
14	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repository.ugc.edu.co">repository.ugc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a>	

	Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://dspace.espoch.edu.ec">dspace.espoch.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.grupoaulamedica.com">www.grupoaulamedica.com</a> Fuente de Internet	<1 %
24	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 32 (2016)", Brill, 2018 Publicación	<1 %
25	<a href="http://es.hach.com">es.hach.com</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://pt.slideshare.net">pt.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://www.finnfacts.com">www.finnfacts.com</a> Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
30	<a href="http://www.reliefweb.int">www.reliefweb.int</a> Fuente de Internet	<1 %

31	<a href="http://www.uclg.org">www.uclg.org</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://a-einstein.com">a-einstein.com</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://doczz.net">doczz.net</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://presupuestousm.tripod.com.ar">presupuestousm.tripod.com.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.ciencia-ficcion.com">www.ciencia-ficcion.com</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://www.extremaduraeuropa.org">www.extremaduraeuropa.org</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://www.nexoncn.com">www.nexoncn.com</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.redlands.edu">www.redlands.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://15umau.org">15umau.org</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://ag.arizona.edu">ag.arizona.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://bvs.sld.cu">bvs.sld.cu</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Fuente de Internet	<1 %

43	<a href="http://www.cubafar.com">www.cubafar.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://www.uegva.info">www.uegva.info</a> Fuente de Internet	<1 %
45	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 29 (2013)", Brill, 2016 Publicación	<1 %
46	#N/A. "PAT del Proyecto de Prospección Sísmica 2D en el Lote 129-IGA0017439", R.D. N° 195-2013-MEM/AEE, 2022 Publicación	<1 %
47	Antonio García Barberá. "Study of the Degradation of New Lubricant Oil Formulations with the Design and Demands of Current and Future Engines", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %
48	<a href="http://doczz.com.br">doczz.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
49	<a href="http://fr.ircwash.org">fr.ircwash.org</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://moam.info">moam.info</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %

52	<a href="http://primatecuasisapiens.blogspot.com">primatecuasisapiens.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://recerc.eu">recerc.eu</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://repositorio.uisek.edu.ec">repositorio.uisek.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
56	<a href="http://www.archive.org">www.archive.org</a> Fuente de Internet	<1 %
57	<a href="http://www.biologia-en-internet.com">www.biologia-en-internet.com</a> Fuente de Internet	<1 %
58	<a href="http://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
59	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
60	<a href="http://www.eib.org">www.eib.org</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://www.geniolandia.com">www.geniolandia.com</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://www.peoriaaz.gov">www.peoriaaz.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://www.prevencionintegral.com">www.prevencionintegral.com</a> Fuente de Internet	<1 %

64	<a href="http://www.rightleader.com">www.rightleader.com</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://www.uca.edu.sv">www.uca.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://www.umar.mx">www.umar.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://zaguan.unizar.es">zaguan.unizar.es</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://dspace.palermo.edu">dspace.palermo.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://opendata.epa.gov.tw">opendata.epa.gov.tw</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo

Excluir coincidencias      Apagado

Excluir bibliografía      Activo

## ANEXO II: Vertiente Paki Poggio ubicada en Pelileo Tungurahua



## ANEXO III: Parámetros medidos in situ

Turbiedad	Parámetros medidos con el multiparámetro

## ANEXO IV: Muestreo

Recolección de la muestra	Implementación del multiparámetro
---------------------------	-----------------------------------



**Conservación de la muestra**



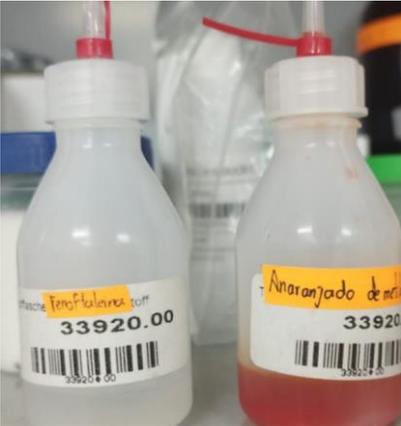
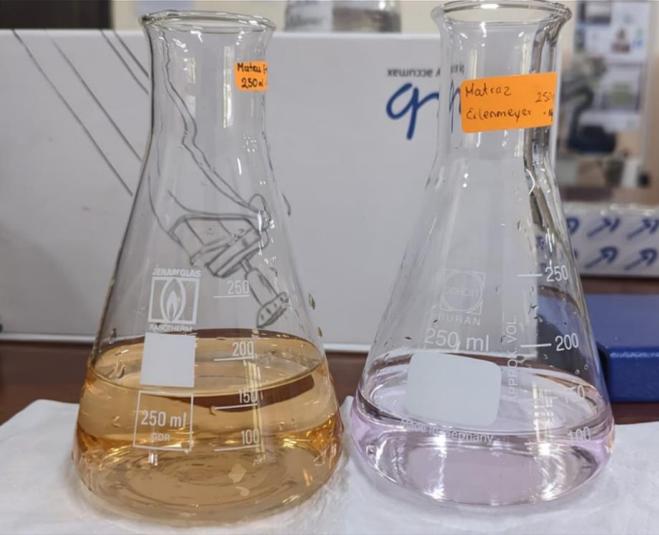
### ANEXO V: Estandarización

Crisol con el ftalato ácido de potasio	Estufa	Pesaje del ftalato
		

### ANEXO VI: Análisis de Hierro Total y Ferroso

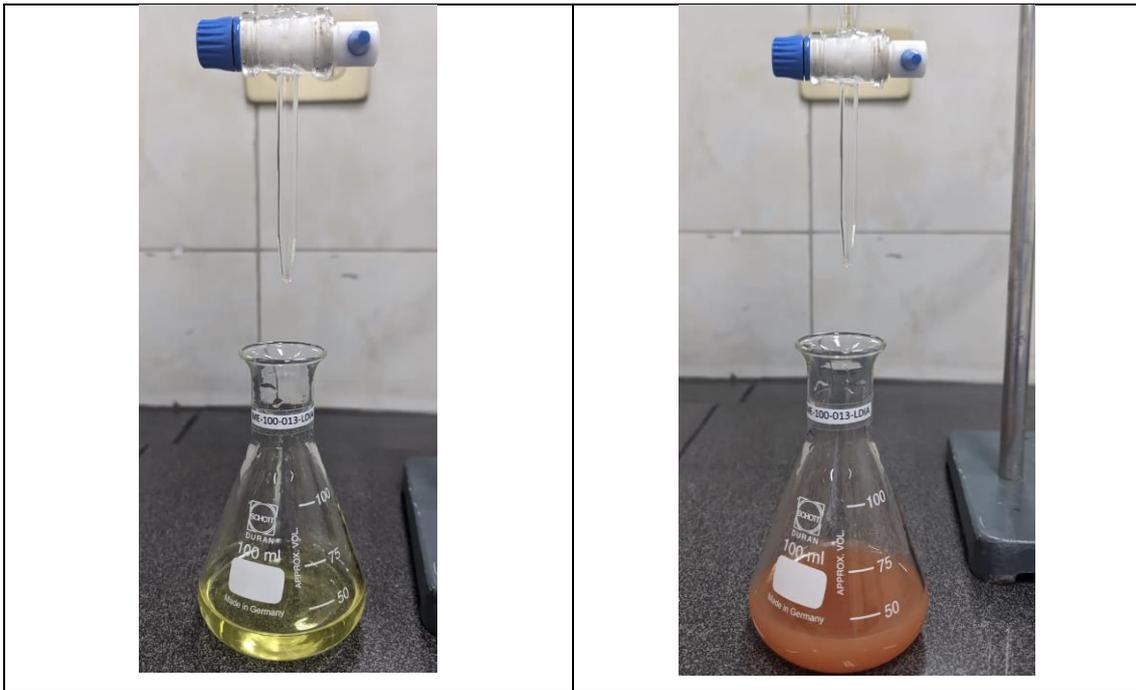
Reactivos	Medición Hierro Ferroso
	

### ANEXO VII: Determinación de Alcalinidad y Acidez

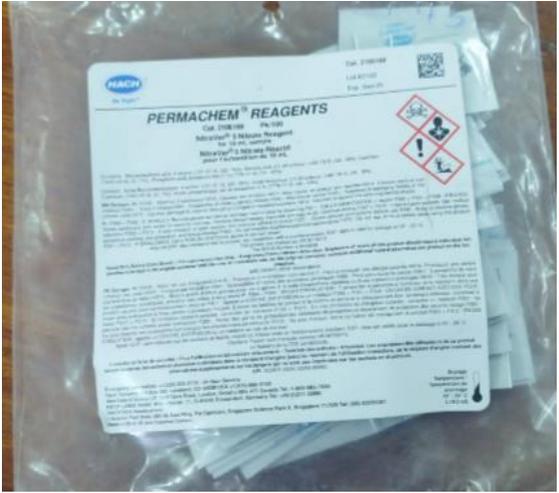
Reactivos	Ensayo
	

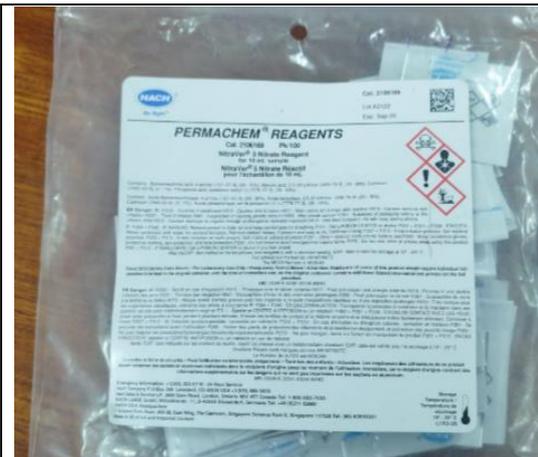
### ANEXO VIII: Determinación de cloruros

Antes de la titulación	Después de la titulación
------------------------	--------------------------

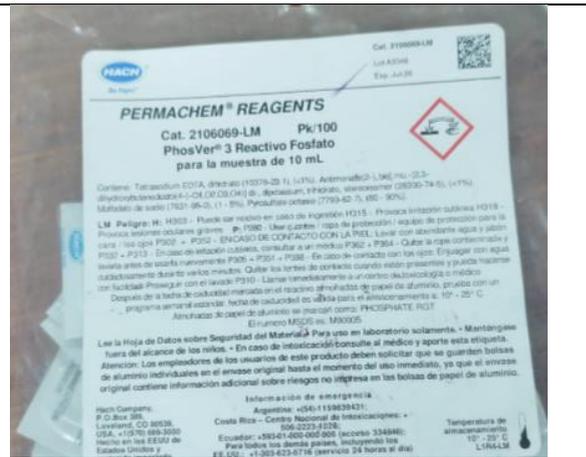


### ANEXO IX: Reactivos de parámetros ex situ

<p><b>Reactivos para Nitrógeno Amoniacal Nessler</b></p>	<p><b>Reactivo para determinación de nitratos</b></p>
	
<p><b>Reactivo para determinación de nitritos</b></p>	<p><b>Reactivo para determinación de fosfatos</b></p>



Reactivos para determinación de manganeso



Reactivo para determinación de aluminio



Reactivo para determinación de dureza total



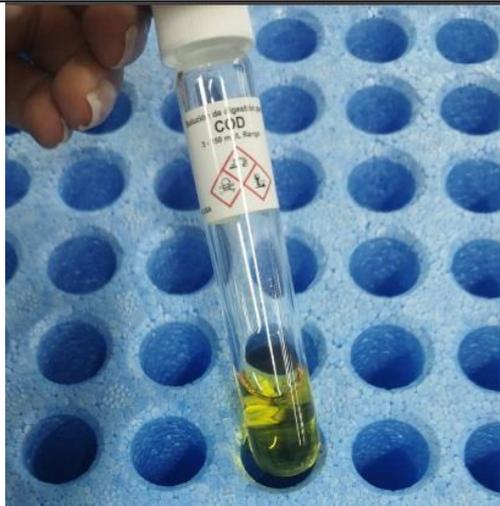
Reactivo para determinación de dureza cálcica



Vial de DQO de bajo rango



Digestor



## ANEXO X: Acondicionamiento del agua

Filtro de pretratamiento D8921

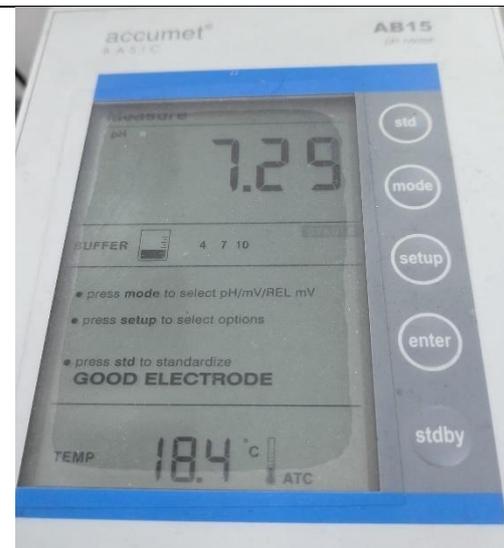
Filtro desionizador D8922



**2 filtros de pretratamiento**

**pH con Q de 0**

**Conductividad con Q de 0**



**pH con Q de 0,71 ml/s**

**Conductividad con Q de 0,71 ml/s**

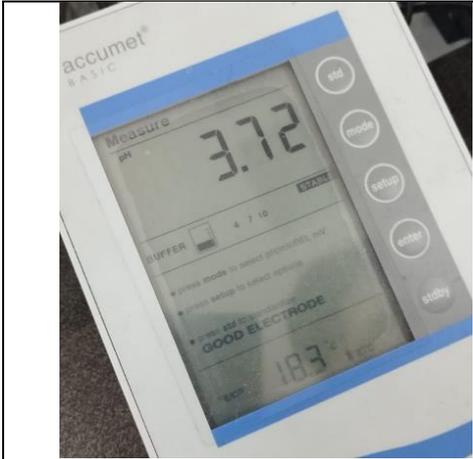


**Conductividad con Q de 1,19 ml/s**



1 filtro de pretratamiento	
pH	Conductividad

1 filtro de pretratamiento y 1 filtro desionizador	
pH con Q de 6,01 ml/s	Conductividad con Q de 6,01 ml/s



**pH con Q de 16,67 ml/s**



**Conductividad con Q de 16,67 ml/s**



**1 filtro desionizador**

**Q de 8,01 ml/s**

**pH**

**Conductividad**



**Sistema de filtración**

**Incrementación de Q con Kitasato y bomba**

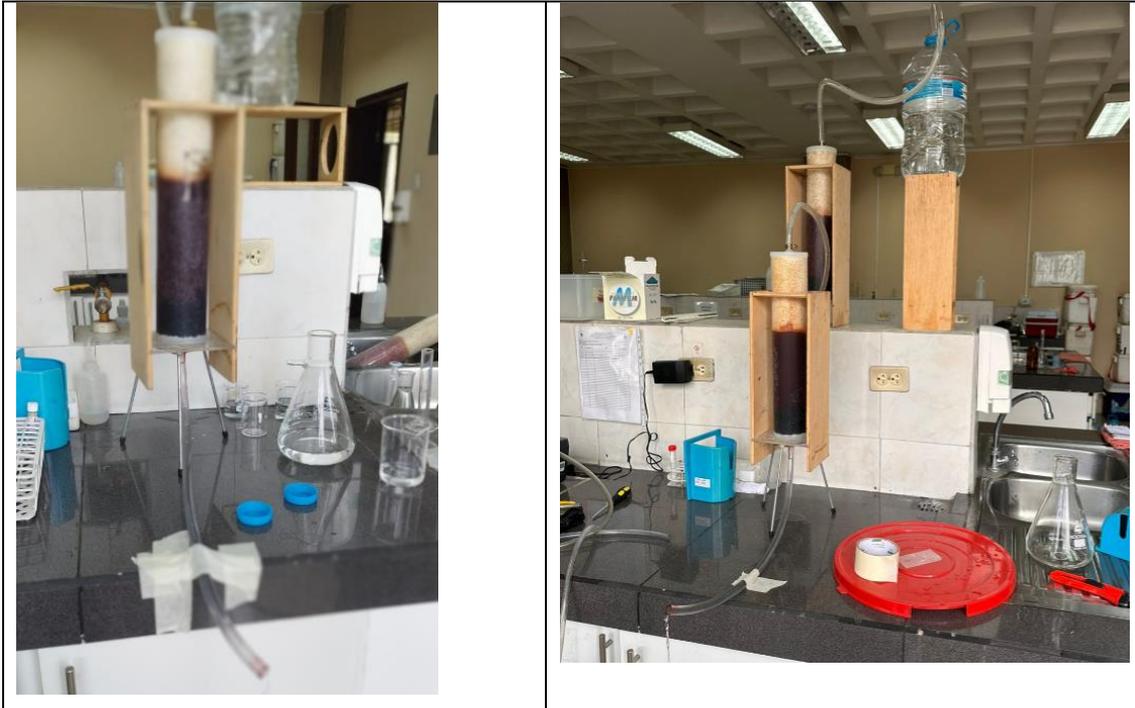


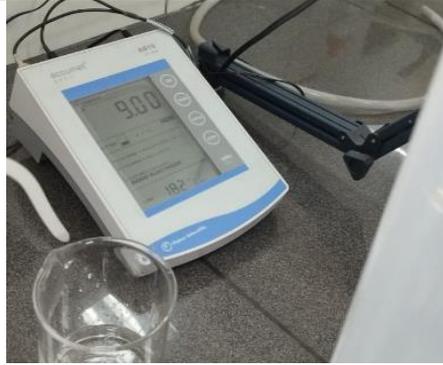
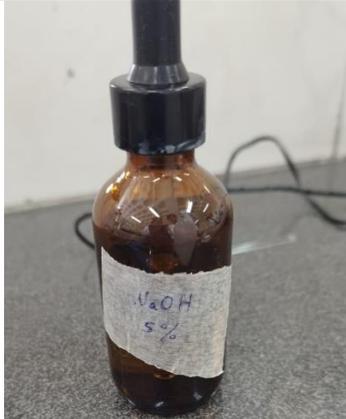
**Sistema con un filtro**

**Determinación de Dureza**



**Sistema con dos filtros**



Neutralización		
pH	Aforo de 1L	Reactivo NaOH 5%
		

## ANEXO XI: Cálculos

### Cálculo de Dureza Total

$$\text{Dureza total} = \frac{\text{Volumen gastado (ml)} \times \text{Concentración EDTA(N)}}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \times 100000$$

$$\text{Dureza total} = \frac{7 \text{ ml} * 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{25 \text{ ml}} \times 100000 \frac{\text{mg}}{\text{mol}} = 280 \text{ mg/L}$$

### Cálculo de Dureza Cálcica

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{\text{Volumen gastado (ml)} \times \text{Concentración EDTA(N)}}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \times 100000$$

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{3,5 \text{ ml} * 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{25 \text{ ml}} \times 100000 \frac{\text{mg}}{\text{mol}} = 140 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

### Cálculo de Alcalinidad

$$\text{Alcalinidad}_T = \frac{B \times N \times 50000}{V_m}$$

$$\text{Alcalinidad}_T = \frac{44,2 \text{ ml} * 0,02N \times 50000}{100 \text{ ml}} = 442 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

### Cálculo de Acidez

$$\text{Acidez} = \frac{C \times N \times 50000}{\text{Alcalinidad}}$$

$$\text{Acidez} = \frac{8,5 \text{ ml} * 0,02N \times 50000}{442 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 19,23 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

### Cálculo de Cloruros

$$\text{Cloruros} = \frac{A * N * 34,450}{V_m}$$

$$\text{Cloruros} = \frac{2,7 * 0,014 * 34,450}{25} = 0,05 \text{ mg/L}$$

### Cálculo de estandarización

#### Validación de NaOH

$$F = \frac{a * 100}{Eq * V * 0,1}$$

$$F = \frac{0,4052 * 100}{204,22 * 86,5 * 0,1} = 0,02N$$

#### Validación de ácido sulfúrico

$$F = \frac{0,02N * 8,7 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} = 0,0174 = 0,02N$$

### Cálculo del Caudal

$$Tiempo1 = 5,11 + 4,88 + 4,45 + 5,40 + 5,23 = 5,21 \text{ (s)}$$

$$Q1 = \frac{10 \text{ L}}{5,21 \text{ s}} = 1,92 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Tiempo2 = 25,92 + 23,24 + 24,25 + 21,88 + 19,94 = 23,04 \text{ (s)}$$

$$Q2 = \frac{10 \text{ L}}{23,04 \text{ s}} = 0,43 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Tiempo3 = 35,99 + 36,24 + 36,23 + 36,83 + 33,50 = 35,72 \text{ (s)}$$

$$Q3 = \frac{10 \text{ L}}{35,72 \text{ s}} = 0,28 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{total} = 1,92 + 0,43 + 0,28 = 2,63 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

### **Cálculo del ICA**

#### **Coliformes fecales**

$$CF = Subi * Wi = 100 * 0,15 = 15$$

#### **pH**

$$CF = Subi * Wi = 91 * 0,12 = 10,92$$

#### **Nitratos**

$$CF = Subi * Wi = 90 * 0,1 = 9$$

#### **Temperatura**

$$CF = Subi * Wi = 89 * 0,1 = 8,9$$

#### **Turbidez**

$$CF = Subi * Wi = 95 * 0,08 = 7,6$$

#### **Oxígeno Disuelto**

$$CF = Subi * Wi = 80 * 0,17 = 13,6$$

#### **Fosfatos**

$$CF = Subi * Wi = 40 * 0,1 = 4$$

**SDT**

$$CF = Subi * Wi = 100 * 0,08 = 8$$

**DBO5**

$$CF = Subi * Wi = 100 * 0,1 = 10$$

**ICA**

$$ICA = 15 + 10,92 + 9 + 8,9 + 7,6 + 13,6 + 4 + 8 + 10 = 87,02$$

## **ANEXO XII: Enlaces**

Memoria técnica: [MEMORIA TÉCNICA GENERAL.pdf](#)

Plan de muestreo: [Plan de muestreo para Pelileo.pdf](#)