

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS I y J, UBICADAS EN LA RESERVA ECOLÓGICA ANTISANA.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGA(O) (SUPERIOR) EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Josselyn Andrea Cervantes Gudiño

josselyn.cervantes@epn.edu.ec

José Andrés Coba Simbaña

jose.coba@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SANTIAGO GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. ANA LUCIA BALAREZO AGUILAR, M.Sc.

ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, octubre 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Josselyn Andrea Cervantes Gudiño, José Andrés Coba Simbaña como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogos Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:



**ING. SANTIAGO GUERRA
SALCEDO, M.Sc.**

DIRECTOR DEL PROYECTO

**PhD. ANA LUCIA BALAREZO
AGUILAR**

CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Josselyn Andrea Cervantes Gudiño con CI: 1726280967 y José Andrés Coba Simbaña con CI: declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgo/otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



**Josselyn Andrea Cervantes
Gudiño**



José Andrés Coba Simbaña

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a las personas más importantes en mi vida que son mi familia que han sido mi apoyo en los momentos más difíciles y un alegría en mis gratos momentos, mis padres Pedro y Martha, mis hermanas Kamila y Daniela, mi tía Nancy que más que eso ha sido mi consejera y fiel amiga, también a mi novio David que es la persona que ha compartido conmigo muchas alegrías y ha sido mi fortaleza en los malos ratos, para terminar se la dedico a mis mascotas que son mi dicha y el motor que me impulsa a ser feliz.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida y salud para poder llegar a este punto de mi vida que con ayuda de mi familia y mis seres amados pude lograr mis metas planteadas, agradezco a las personas que me rodean las cuales me han impulsado a ser una mejor persona con su apoyo y críticas constructivas que me ayudaron a seguir creciendo no solo como profesional sino también como persona.

Agradezco también al M.Sc. Santiago Guerra quien nos supo guiar de la mejor manera para lograr los objetivos deseados y a mi compañero Andrés por el trabajo en conjunto que realizamos con los resultados esperados.

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi tesis a mi madre, quien es un apoyo fundamental para el cumplimiento de mis objetivos y me ha apoyado incondicionalmente en todas mis decisiones.

También a mi tía Rogelia, que me ha brindado su apoyo, comprensión y consejos en los momentos en donde más lo necesitaba.

A mi compañero Dilan, con el que pase grandiosos momentos y dedico su vida a ser un buen amigo y siempre su anhelo era el de graduarnos, donde quiera que este sé que se alegraría de vernos consiguiendo ese sueño.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al Ingeniero Augusto por darme la oportunidad de realizar la tesis en el Parque Nacional Antisana, a los Guardaparques que nos brindaron de su tiempo para acompañarnos y ayudarnos con las actividades de la tesis.

Agradecer a nuestro tutor el M.Sc. Santiago Guerra que nos brindó su conocimiento y apoyo para poder realizar la tesis.

Y por último a mi compañera de tesis Josselyn, que fue un pilar importante para sacar adelante esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos	2
1.3	Fundamentos teóricos	2
1.3.1	El páramo y su importancia.....	2
1.3.2	El agua y su importancia.....	3
1.3.3	El agua en el Ecuador.....	4
1.3.4	Calidad del Agua.	5
1.3.5	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.....	6
1.3.6	Parámetros físicos.	6
1.3.7	Parámetros Químicos.	7
1.3.8	Parámetros Microbiológicos.....	9
1.3.9	Índice de calidad del agua (ICA).	9
2	Metodología.....	11
2.1	Parque Nacional Antisana.....	11
2.2	Características del lugar	11
2.2.1	Altitud.....	11
2.2.2	Clima.	12
2.2.3	Hidrología.	12
2.2.4	Moyas.....	12
2.2.5	La laguna la Mica.....	12
2.2.6	Microcuencas I, J.....	12
2.3	Descripción de los procedimientos experimentales.....	14
2.3.1	Toma de muestras.....	14
2.3.2	Análisis de muestras.....	15

2.3.3	Parámetros físicos y químicos <i>in situ</i>	15
2.3.4	Parámetros físicos y químicos en Laboratorio.....	16
2.3.5	Parámetros microbiológicos.....	21
2.3.6	Índice de calidad del agua.	21
2.3.7	Medición de Caudal	23
3	Resultados y Discusión.....	25
3.1	Elaborar una línea base de información del estado actual de las microcuencas y un análisis comparativo del resultado de la caracterización con las normas correspondientes	25
3.1.1	Resultados de los análisis <i>in situ</i>	26
3.1.2	Conductividad y Sólidos Disueltos Totales.....	27
3.1.3	Oxígeno Disuelto.	27
3.1.4	Potencial de Hidrogeno pH.	29
3.1.5	Temperatura.	30
3.1.6	Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales.	30
3.1.7	Alcalinidad.	32
3.1.8	Color real.	33
3.1.9	Cromo total.	34
3.1.10	Dureza total y Dureza Cálcica.....	35
3.1.11	Hierro y Manganeseo.....	36
3.1.12	Fosfatos.....	37
3.1.13	Nitratos.	38
3.1.14	Nitritos.	38
3.1.15	Sulfatos.....	39
3.1.16	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	40
3.1.17	Análisis microbiológico de la unión de las microcuencas I y J.....	42
3.1.18	Caudal	42
3.1.19	Caudal ecológico en las microcuencas I, J	43
3.2	Determinar la calidad de las microcuencas mediante el ICA (NSF).	45
3.2.1	Índice de calidad del agua ICA de cada parámetro analizado.....	45

3.3	Redactar una memoria técnica como documento donde se establezcan los métodos más adecuados para la mitigación de los contaminantes en las microcuencas I, y J.....	47
3.3.1	Memoria técnica.	47
3.3.2	Socialización de la memoria técnica con los guardaparques.	47
4	Conclusiones y Recomendaciones	49
4.1	Conclusiones	49
4.2	Recomendaciones	50
	Referencias Bibliográficas.....	51
	ANEXOS.....	53
	Anexo 1: Plan de muestreo	54
	Anexo 2: cálculo del ica	54
	Anexo 3: memoria técnica.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Reserva Ecológica Antisana	11
Figura 2. Puntos georreferenciales (UTM)	13
Figura 4. Captación microcuenca I.....	14
Figura 5. Captación microcuenca J.....	14
Figura 8. Parámetros in situ	16
Figura 9. Peso del crisol.....	19
Figura 10. Peso del filtro	20
Figura 11. Fórmula general para el cálculo del ICA.....	22
Figura 12. Medidor portátil de velocidad.....	23
Figura 13. El final de las microcuencas I; J	24
Figura 14. Microcuenca J.....	24
Figura 15. Calado de las microcuencas	24
Figura 16. Puntos de Muestreo de las microcuencas I; J	25
Figura 17. Análisis de los resultados de la conductividad y los sólidos disueltos.....	27
Figura 18. Análisis de resultados del Oxígeno disuelto y el de saturación.....	28
Figura 19. Análisis de los resultados del pH.....	29
Figura 20. Análisis de los resultados de la temperatura	30
Figura 21. Análisis de los resultados de la turbiedad y sólidos suspendidos totales.....	31
Figura 22. Análisis de los resultados de la alcalinidad.....	33
Figura 23. Análisis de los resultados del color real.....	33
Figura 25. Análisis de los resultados de la dureza total y dureza cálcica	36
Figura 26. Análisis de hierro y manganeso	36
Figura 27. Análisis de los resultados de los fosfatos	37
Figura 28. Análisis de los resultados de nitratos	38
Figura 29. Análisis de los resultados de nitritos.....	39
Figura 30. Análisis de los resultados de sulfatos.....	40
Figura 31. Resultados del DQO	40
Figura 32. Captación de la microcuenca J, sin caudal ecológico.....	44

Tabla 15 Resultados de los caudales ecológicos para cada microcuenca	44
Figura 33. Rango de clasificación del ICA de acuerdo con el criterio general	45
Figura 34.Socialización con los guardaparques	47
Figura 35.Discusión de resultados con los guardaparques	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físicos.....	6
Tabla 2. Parámetros Químicos	8
Tabla 3. Parámetros microbiológicos.....	9
Tabla 4 .Relaciones para la determinación de sólidos en una muestra de agua.	20
Tabla 5.Parámetros para el cálculo del ICA	22
Tabla 6.Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA.....	22
Tabla 7. Puntos de georreferenciales de los lugares de muestreo.....	26
Tabla 8. Resultados de los análisis in situ	26
Tabla 9.Resultados de la saturación del oxígeno disuelto	28
Tabla 10.Resultados de los análisis de laboratorio	32
Tabla 11.-Resultados de los análisis microbiológicos.....	41
Tabla 12. Resultados del análisis de coliformes fecales en el punto I; J.....	42
Tabla 13. Resultado de los análisis de Giardia en el punto I; J.....	42
Tabla 14. Resultados obtenidos en la medición del caudal	43
Tabla 15. Resultados de los caudales ecológicos para cada microcuenca	44
Tabla 16. ICA microcuencas	46
Tabla 17. Cálculo del ICA	55

RESUMEN

La reserva ecológica Antisana contribuye con un 90% a la red de agua potable en el sur de Quito, por tal razón en el presente trabajo de titulación se realizó la evaluación de la calidad del agua de las microcuencas I y J, a fin de determinar el grado de cumplimiento con la normativa ambiental, Tabla 3, Anexo 1, Libro VI, del TULSMA, 2015 y se determinó el estado de las 2 microcuencas, que debido a la actividad humana han sufrido variaciones en su calidad, por ello fue necesario el seguimiento e identificación de contaminantes que podrían afectar el ecosistema.

Se inició con una visita de campo, para establecer puntos estratégicos de análisis. Posteriormente se planificó y ejecutó el muestreo para la caracterización de 19 parámetros para determinar la calidad del agua, se evaluó las muestras *in situ* y de laboratorio, lo cual sirvió como base para el cálculo del Índice de Calidad del agua (ICA), que se obtuvo mediante una fórmula general que englobó cada uno de los parámetros analizados con sus respectivos ICAs, esto dio como resultado una única expresión la cual estableció un criterio de calidad de los afluentes.

Los resultados indicaron un exceso no preocupante de cromo, hierro y nitritos en el agua de las microcuencas, probablemente debido al exceso de minerales provenientes de las formaciones rocosas por las que pasa el agua y la contaminación por heces fecales de animales silvestres que habitan la zona, posterior a la caracterización y análisis de resultados, se calculó el ICA global este dio como resultado que las 2 microcuencas poseen un valor de entre 90 – 100 considerándose como no contaminadas y de buena calidad.

PALABRAS CLAVE:

Microcuencas, Reserva Ecológica Antisana, ICA, caracterización.

ABSTRACT

The Antisana ecological reserve contributes with the 90% of the drinking water to Quito's south. For this reason, in this work it was decided to evaluate the water quality of micro-watersheds I and J by analyzing on site and laboratory parameters. These results were compared with the regulation Annex 1 of the TULSMA Book VI and the status of the 2 micro-watersheds was determined, which due to their rancher past and exploitation have suffered variations in their quality, which is why it was necessary to follow up and identify pollutants that could affect the ecosystem around the micro-watersheds.

The project began with a field visit to the site and a tour to the micro-watersheds to establish the strategic sampling points. Then, sampling was planned and executed for the 19 analysis parameters that were considered most important to determine the water quality. The samples were processed on site and in the laboratory, which served as the basis to calculate the Water Quality Index (ICA), which was obtained by means of a general formula that included each parameter analyzed with their respective ICAs. The results were a single expression that established a criterion for the quality of the tributaries.

The experimental data obtained indicated a non-concerning excess of chromium, iron and nitrites in micro-watersheds I, J and only nitrites in the discharge of the junction of micro-watersheds I and J. This is due to the excess of minerals in the rocks which the water passes through and contamination from the feces of the wild animals that live in the area. After the characterization and analysis of results compared with current regulations (TULSMA, 2015), the general ICA was calculated which showed that the 3 micro-watersheds had a value between 90 – 100, so they are considered as non-contaminated and a good quality.

KEYWORDS: MICRO-BASINS, ANTISANA ECOLOGICAL RESERVE, ICA, CHARACTERIZATION

1 INTRODUCCIÓN

La reserva ecológica Antisana posee 120 000 hectáreas de extensión, en las cuales se encuentran bosques andinos, páramos, glaciales y un volcán con el mismo nombre (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015). Este último posee gran cantidad de recursos hídricos que abastecen de agua a varios sectores em el Distrito Metropolitano de Quito (EMAPS, 2020). En esta reserva también se alimenta a los ríos de Coca y Napo con ríos nacientes que se deslizan por las laderas orientales. Esto vuelve a la reserva Antisana una importante fuente de agua dulce en el Ecuador.

Las microcuencas I y J se encuentran ubicadas al sur occidente del nevado Antisana. La microcuenca J es la más cercana al volcán, tiene una longitud aproximada de 3.9 kilómetros y al unirse con el afluente I, en un tramo de 3.89 kilómetros, desemboca en la quebrada “Moyas” y posteriormente en la laguna “La Mica”, con la cual se abastece a la ciudad de Quito de agua potable, previo tratamiento de potabilización. Debido a esto es importante realizar el análisis de estas microcuencas ya que, a pesar de no abastecer agua de consumo humano directamente, esta agua sirve para el consumo de la vida silvestre de la zona y el desarrollo de la fauna, la cual debe ser preservada bajo estándares de calidad para salvaguardar las especies nativas de la zona.

Para ello se planteó el análisis de calidad de agua mediante la toma y análisis de muestras *in situ* y laboratorio de 19 parámetros que se consideran importantes de acuerdo con la situación actual de las fuentes hídricas y a la ubicación geográfica de éstas. Todo lo mencionado basado en la normativa establecida en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Acuerdo Ministerial 097 del 2015. Tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, con el fin de determinar si el agua es apta para el uso que se le está dando a pesar de su pasado ganadero y de la actividad antrópica que se desarrollaba en el lugar.

Las tomas de muestra se realizaron en 3 puntos de la conducción de agua que desemboca en la laguna “La Mica”, los puntos fueron; en la microcuenca I, en la microcuenca J y en la unión de las microcuencas I y J.

1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de las microcuencas I y J ubicadas en la reserva ecológica Antisana.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar una línea base de información del estado actual de las microcuencas y un análisis comparativo del resultado de la caracterización con las normas correspondientes.
- Determinar la calidad de las microcuencas mediante el ICA (NSF).
- Redactar una memoria técnica como documento donde se establezcan los métodos más adecuados para la mitigación de los contaminantes en las microcuencas I, y J.

1.3 Fundamentos teóricos

1.3.1 El páramo y su importancia.

El páramo es un ecosistema montañoso intertropical en el cual existe gran variedad de vegetación tipo matorral. Estos se ubican desde los 2 700 msnm de altitud hasta los 4 000 o 5 000 msnm. Se consideran ecosistemas de gran importancia ya que cuentan con gran biodiversidad (Chirinos, 2019). En Ecuador tienen una altitud promedio de 3 300 msnm, cubren el 7 % de su territorio, y proveen servicios ecosistémicos como: recursos hídricos de calidad y sumideros de carbono principalmente. Sus suelos con densidad baja y porosa posibilitan la retención de agua y alta conductividad hidráulica, por ende, crecen plantas endémicas y diversidad faunística. Estos ecosistemas son de vital importancia social y

cultural, lamentablemente están siendo afectados por el cambio de uso del suelo, introducción de plantas exóticas, incendios, cambio climático y en algunos sectores por la actividad minera.

Los páramos tienen características que los hacen vitales, pues prestan servicios ecosistémicos muy relevantes. Son hogar de especies únicas en el mundo: seis de cada diez especies de plantas que se encuentran en los páramos sólo habitan allí.

Los suelos de los páramos son de origen glaciar y volcánico que combinan materia orgánica y ceniza volcánica, combinación fundamental para su importancia biológica, ya que almacenan y distribuyen agua limpia a los sitios bajos, donde se utilizan para riego, distribución de agua potable y centrales hidroeléctricas (Chirinos, 2019).

Los páramos desde hace más de 10 000 años han sido utilizados por el ser humano como reservorios y distribuidores de agua potable, ya que son ecosistemas abundantes en alimento, medicinas naturales, leña, agua y materiales de construcción. Varios tubérculos que hasta el día de hoy se consumen provienen de estas tierras tales como el olluco, oca, mashua y el melloco. Las propiedades del páramo peligran debido a la agricultura industrial, la invasión de plantas no autóctonas y la minería (Chirinos, 2019).

1.3.2 El agua y su importancia.

El agua es el líquido más abundante del planeta que cubre el 71 % de la superficie de la tierra, el 70 % de este recurso se utiliza en la agricultura, un 20 % en la industria y en actividades domésticas un 10 %, consta también como una de las principales fuentes de producción de energía limpia, además este recurso permite el desarrollo y ejecución de muchas actividades productivas que no serían posibles. Sin embargo, lo fundamental se enmarca en la salud humana, ya que sin el líquido vital el ser humano no podría desenvolverse en el medio para sobrevivir, al igual que muchos otros seres vivos en su diversidad de especies animales y vegetales que tienen una relación directa con el medio ambiente y sus componentes fundamentales (José Pineda, 2020).

En cuanto a la salud de los seres vivos el agua es muy importante ya que permite desarrollar funciones vitales para garantizar el bienestar de estos seres para que puedan seguir reproduciéndose y no alterar el equilibrio ecológico. El agua es un recurso natural con múltiples funciones y cuyas características fisicoquímicas y microbiológicas pueden ser modificados con la finalidad de ser segura y libre de microorganismos y sustancias químicas que constituyan una amenaza para la salud de una persona, ya que ésta es requerida para cada uso personal o doméstico (UNESCO, 2020).

La calidad del agua es indispensable para el desarrollo tanto para seres humanos como para animales y plantas, ya sea para realizar actividades cotidianas o en el uso industrial, es importante que cumpla con estándares de la norma TULSMA, ya que de acuerdo al uso, se debe monitorear y controlar diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos previamente establecidos.(Mancheno D & Ramos R, 2015).

1.3.3 El agua en el Ecuador.

Ecuador es uno de los países latinoamericanos más privilegiados debido a que al pertenecer a una región rica en recursos naturales posee varias reservas de agua dulce suficientes para abastecer de agua a sus habitantes. Sin embargo, la desigualdad en cuanto al acceso de este recurso por parte de las zonas urbanas y rurales es un problema de administración y saneamiento ya que cada ecuatoriano dispone aproximadamente de 21 000 metros cúbicos de agua al año (Martínez Moscoso Andrés, 2015) que no son utilizados adecuadamente, ya que al tener el recurso ilimitado y a un precio bajo esta se desperdicia en banalidades, sin darle la importancia que se merece.

En el país se busca promover prácticas para su conservación y uso adecuado, además de darle otros usos, ya sea como generadora de energía con las hidroeléctricas logrando así un cambio en la matriz productiva y migrando a energía limpia para dejar de lado la quema de combustibles fósiles (Martínez Moscoso Andrés, 2015). Es así como en Ecuador el manejo del agua es casi exclusivo para la construcción y operación de embalses, obras de captación,

canales de riego, sistemas de potabilización, y alcantarillado. Debido a esto la calidad de los afluentes ha empeorado, por las actividades industriales, domésticas y agropecuarias que descargan contaminantes directamente a los cuerpos hídricos sin ninguna clase de tratamiento. Privando a las comunidades aledañas el derecho a utilizar agua de calidad en sus actividades desarrolladas diariamente.

Esta contaminación del agua provoca que esos cauces no puedan ser utilizados para riego ni consumo, ganadería o generación de energía y esto causa escasez, debido a la mala gestión de recursos hídricos, ya que la falta de agua en las zonas bajas aumenta la presión sobre los páramos y ecosistemas de altura para abastecer de agua de calidad a las poblaciones locales (Calles, 2012).

1.3.4 Calidad del Agua.

La problemática nacional y global debido al abastecimiento y la calidad del agua, es el resultado de acciones emprendidas desde los sectores de gobierno involucrados, sin promover soluciones integrales en las que participen los diferentes niveles de gobierno y la sociedad civil, se plantea necesario trabajar en conjunto para enfrentar los problemas en cuanto a la calidad del agua (Paredes Cevallos & Molina Mier, 2020).

La calidad del agua es un tema prioritario en la actualidad, debido al crecimiento de la población mundial, la expansión y el desarrollo urbano; las áreas rurales también contribuyen a los problemas referentes a la calidad del agua, debido al excesivo uso de fertilizantes en la agricultura que resulta en exceso de nitrógeno y fósforo en el agua superficial y el agua subterránea, debido a los excedentes químicos que actúan como alimento para las plantas, decrece la calidad del agua.

El agua apta para uso y consumo humano debe cumplir con parámetros mínimos que se establecen para reducir el riesgo de enfermedad **NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: TABLA 1, ANEXO 1, LIBRO VI, DEL TULSMA 2015**. Para el cumplimiento de los parámetros es necesario conocer las características de la fuente de

abastecimiento e identificar el mejor tratamiento para potabilizar el agua antes de distribuirla a la población. Es por esto que, conservar el funcionamiento de los ecosistemas ayudará, no sólo en el abastecimiento de agua sino también en la calidad de ésta, lo cual por supuesto tiene implicaciones sociales y económicas (ESPINOSA GARCÍA ANA CECILIA, 2014).

1.3.5 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.

Para conocer el estado de un afluente es preciso medir ciertos parámetros que permitan evaluar su calidad. Estos parámetros se clasifican en físicos, químicos y microbiológicos. En la actualidad los procedimientos para la medición de estos indicadores se encuentran estandarizados por “*Standard Methods for Water and Wastewater Examination 1998*”; en los cuales junta toda la metodología para llevar a cabo los análisis de laboratorio (Interfacultades, 2017)

1.3.6 Parámetros físicos.

Son aquellos que se relacionan directamente con las características físicas del agua, además estas son apreciables a los sentidos como la vista, el sabor, el tacto y el gusto, como se muestra en la Tabla 1. Parámetros físicos (Sierra Ramírez, 2011).

Tabla 1. Parámetros físicos

Conductividad	Capacidad del agua para conducir la electricidad.
Temperatura	Medida de calor, es uno de los principales parámetros a medir en el agua, debido a que altera a la velocidad de reacción química y bioquímica, además de la flora y fauna presentes en los cuerpos de agua. Los cambios de temperatura afectan a la solubilidad de los gases, entre los que destaca el oxígeno. Por lo que participa directamente en el diseño de las unidades de tratamiento del agua (Sierra Ramírez, 2011).

Turbidez	Medida de la claridad del agua y se genera cuando existe una gran cantidad de materia en suspensión que varía en tamaño, oscilando entre partículas coloidales hasta moléculas voluminosas como limos, arcillas, microorganismos, materia orgánica e inorgánica (Romero Rojas, 2009).
Color	<p>Generalmente la causa del color en el agua es por la existencia de manganeso y hierro en disolución. De la misma manera la presencia de materia orgánica en todos sus estados de descomposición y algunos residuos derivados de la industria. Las unidades del color se miden en unidades de platino cobalto (Romero Rojas, 2009).</p> <p>Color aparente es aquel que se establece en la muestra original, sin someterla a ninguna filtro o centrifugación. Esta comprende el color de los sólidos suspendidos y cualquier sustancia que produzca turbidez (Romero Rojas, 2009).</p> <p>Color real se establece cuando se remueve la turbidez de la muestra, está relacionada con la cantidad de solidos disueltos que puede presentar el agua (Romero Rojas, 2009).</p>

1.3.7 Parámetros Químicos.

Parámetros constituidos por elementos y compuestos químicos presentes en el agua que pueden alterar sus propiedades debido que el agua al ser considerada solvente universal puede mezclarse con cualquiera de estos alterando su calidad. Estos parámetros se muestran en la Tabla 2. Parámetros Químicos.

Tabla 2. Parámetros Químicos

DBO	Demanda bioquímica de oxígeno, indica la cantidad de oxígeno presente en el agua, que requiere los microorganismos para poder degradar la materia orgánica. La más utilizada es la DBO ₅ (Sierra Ramírez, 2011).
DQO	Demanda química de oxígeno es indispensable para determinar la cantidad de materia orgánica que se degrada químicamente en una muestra de agua (Sierra Ramírez, 2011).
Sulfatos	Corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles
Nitritos	Medida de nutrientes necesarios para ciertos organismos autótrofos. pueden originar la eutrofización.
Nitratos	
Fosfatos	Medida de sales muy poco solubles que contribuyen a la alcalinidad de las aguas.
pH	Potencial hidrogeno, este parámetro hace referencias a la acides o alcalinidad de la muestra, por tal motivo se toma en el sitio de muestreo antes de que la muestra pueda variar.
Oxígeno disuelto	Cantidad de oxígeno disuelto en el agua, necesario para la vida acuática, varios factores afectan su solubilidad como la temperatura y la presión atmosférica, por lo que se utiliza un porcentaje de saturación, el cual toma en consideración estos aspectos, para ser una referencia de la presencia de oxígeno disuelto en el agua. En caso de que la muestra posea un 100% de saturación implica que contiene la cantidad máxima de oxígeno, por lo que a mayor porcentaje de saturación mejor es la calidad del agua (Paredes Cevallos & Molina Mier, 2020).
STD	Sólidos disueltos totales se determinan después de realizar un proceso de filtración y evaporación al agua, ayuda a determinar la cantidad de materia disuelta en el agua (Paredes Cevallos & Molina Mier, 2020) .

ST	Sólidos totales este ayuda a determinar la cantidad de Sólidos suspendidos y disueltos presentes en nuestra muestra de agua para luego someter a evaporación y obtener solamente sólidos disueltos.
Fe	Hierro total este metal sirve para determinar el estado de la tubería del sistema de distribución del agua con este hierro presente se torna de un color rojizo.
Mn	Manganeso es común en aguas subterráneas debido a que está presente en la naturaleza.
Salinidad	Contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo hídrico.

Fuente: (DRA. ESPINOSA GARCÍA ANA CECILIA, 2014)

1.3.8 Parámetros Microbiológicos.

Se entiende por parámetros microbiológicos a la presencia de microorganismos como bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos, los cuales pueden ser patógenos es decir aquellos que causan enfermedades y los no patógenos que son inofensivos, los cuales se muestran en Tabla 3. Parámetros microbiológicos

Tabla 3. Parámetros microbiológicos

Coliformes Totales	Bacterias indicadoras de organismos dañinos pueden estar presentes en el agua.(Sierra Ramírez, 2011)
Coliformes Fecales	subgrupo de coliforme Total las cuales se originan en las heces de animales de sangre caliente y causan enfermedades.
Giardia	Medida de la calidad del agua con la presencia o ausencia de parásito llamado <i>Giardia Duodenalis</i> .(Sierra Ramírez, 2011)

1.3.9 Índice de calidad del agua (ICA).

La calidad del agua representa la valoración de un cuerpo hídrico en cuanto a su naturaleza física, química y microbiológica, ya sea para el consumo humano, animal o para cualquier uso que se le quiera dar, esta suele ser variable de acuerdo con el sitio geográfico en el que

se encuentre o a la mano del hombre. Para monitorear e interpretar los datos obtenidos de las fuentes hídricas se aplica el ICA o índice de calidad del agua, el cual se encarga de cuantificar los parámetros analizados y reducirlos en una simple expresión o fórmula que permite una fácil interpretación y análisis de la calidad del agua simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo.

En síntesis, un ICA es una expresión numérica que indica la calidad del recurso hídrico que se está valorando, esto se logra mediante la integración de las mediciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el cuerpo hídrico que está siendo analizado, posterior a la obtención del valor único del ICA este se compara con tablas previamente establecidas las cuales indican rangos y valores de calidad (Torres Patricia et al., 2009).

El cálculo del ICA es un método conciso que permite expresar la importancia de los datos analizados en una sola expresión, además de mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua para la socialización con el público debido a su baja complejidad de comprensión y su alta efectividad al momento de expresar la importancia de los datos analizados en laboratorio que no son fáciles de entender.

2 METODOLOGÍA

2.1 Parque Nacional Antisana.

El parque Nacional Antisana es una de las más importantes reservas de vida silvestre en el Ecuador, posee una extensión de 120 000 hectáreas, como se muestra en la Figura 1. Mapa de la Reserva Ecológica Antisana. Tiene gran variedad de fuentes hídricas, debido a los extensos humedales, páramos y al nevado que lleva su mismo nombre. A causa de esto, surge el nacimiento de microcuencas, ríos y lagunas, que a su vez forman parte del sistema de abastecimiento de agua potable para el Distrito Metropolitano de Quito. (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015).



Figura 1. Mapa de la Reserva Ecológica Antisana
(Lands Care, 2017)

2.2 Características y afluentes del lugar

2.2.1 Altitud.

Tiene un rango de altitud de entre 1 400 a 5 758 metros al nivel del mar (msnm). (Ministerio del Ambiente y Agua, 2015).

2.2.2 Clima.

La temperatura varía entre 3 °C a 17 °C, pero en ocasiones de clima extremo, puede llegar a ser < 0 °C, esto puede afectar directamente a la proliferación de microorganismos patógenos en el agua (Rivadeneira López, 1997).

2.2.3 Hidrología.

Existe una gran variedad de ríos, riachuelos, microcuencas, lagunas, etc. Estas generalmente se originan por los deshielos del volcán Antisana, ramificaciones de la cordillera de Guacamayos o la Real, además de las zonas pantanosas que aportan a la gran cantidad de recurso hídrico.

Absolutamente todos los ríos pertenecen al sistema fluvial del río Napo. En la parte suroccidental del volcán Antisana, se juntan las aguas de los ríos Alambrado, Sarpache y Moyas, que desembocan a la laguna la Mica (Rivadeneira López, 1997).

2.2.4 Moyas.

Es una quebrada que capta las aguas de las microcuencas I, J, y otros afluentes que provienen del deshielo del nevado, además de captar el agua de los humedales que se encuentran en la zona. La quebrada vierte sus aguas en la laguna “La Mica”. En el afluente se realiza el desove de las truchas provenientes de la laguna, haciéndola un río lleno de vida acuática.

2.2.5 La laguna la Mica.

Tiene una longitud aproximada de 2 km y un ancho de 1 km, el 90 % de sus aguas es utilizado para el abastecimiento de agua potable para el sur de Quito. La laguna capta las aguas de los ríos Alambrado, Sarpache y Moyas (EMAPS, 2020).

2.2.6 Microcuencas I, J.

Están ubicadas al sur occidente del nevado Antisana. Las microcuencas I; J nacen del glaciar del nevado Antisana, estas son conducidas de manera artificial hacia la quebrada “Moyas”

para generar un mayor aporte a la laguna “La Mica”. Se observa en la Figura 2. la ubicación y extensión de cada una de ellas.

La microcuenca I tiene una longitud aproximada de 4 km y su captación se realiza al final de ésta, a diferencia de la microcuenca J que tiene su captación a unos metros del deshielo del glaciar, tiene una longitud aproximada de 3.9 km. Los dos afluentes se unen en el punto 4 a 4 115 msnm y por el cual se extiende un tramo de 3.89 kilómetros hasta desembocar en la quebrada “Moyas” y su posterior salida a la laguna “La Mica”.

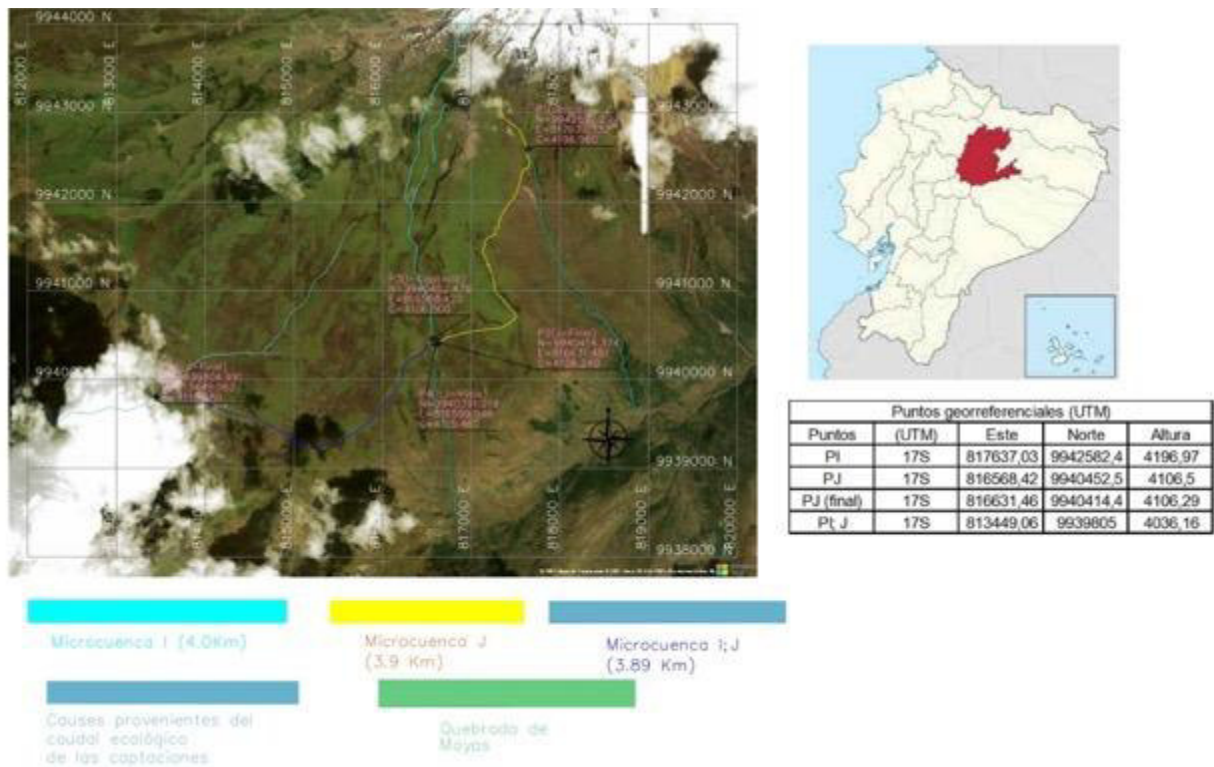


Figura 2. Puntos georreferenciales (UTM)

escala 1/10 000

Las dos microcuencas captan sus aguas mediante una bocatoma mixta, además posee un sistema de compuertas que ayuda al mantenimiento de la estructura.

Luego de captar las aguas de los afluentes, son dirigidas a la quebrada de “Moyas” mediante un sistema de tuberías, además posee varios tanques de revisión al final del tramo de la unión de las microcuencas.

Como se muestra en la Figura 3. Captación microcuenca I y la Figura 4. Captación microcuenca J, las captaciones de las microcuencas muestran un color rojizo- amarillento, esto a causa de la falta de mantenimiento.



Figura 3. Captación microcuenca I



Figura 4. Captación microcuenca J

2.3 Descripción de los procedimientos experimentales

2.3.1 Toma de muestras.

Para aseverar la veracidad de resultados y la correcta gestión de las muestras tomadas en las microcuencas se realizó un plan de muestreo en el cual se toma en consideración una guía preestablecida de requerimientos que aseguran que las muestras no van a sufrir cambios significativos desde la toma, el almacenamiento, el transporte hasta el análisis de las muestras (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, 2013).

El plan de muestreo está constituido por la metodología a seguir para la toma de muestras en el cual se contempla la lista de materiales, equipos y reactivos necesarios para asegurar la validez de los resultados a obtener. En este documento se describió la selección, sitio de

muestreo, preparación y mantenimiento de estas, además de las condiciones ambientales y de transporte necesarias para que no exista interferencia ni desviación en los resultados. Se adjunta el plan de muestreo en el anexo 1 al final del documento.

2.3.2 Análisis de muestras.

Se realizó el análisis de las muestras obtenidas en las microcuencas I y J de la Reserva Ecológica Antisana en dos Laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, uno perteneciente a la Escuela de Formación de Tecnólogos y el otro en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), perteneciente a la Facultad de Ingeniería Ambiental. El resto del análisis que no fueron realizados en las instalaciones de la universidad fueron enviados a un laboratorio privado LABOLAB, el cual contaban con su respectiva certificación dando garantía y validez a los datos obtenidos.

2.3.3 Parámetros físicos y químicos *in situ*.

Los parámetros *in situ* son aquellos que se analizan en el mismo lugar es decir en el instante que se obtiene la muestra del cuerpo hídrico. Para la medición de los parámetros *in situ* se utilizó un equipo de laboratorio conocido como medidor multiparamétrico, el cual permitió tomar los valores de conductividad, oxígeno disuelto, potencial hidrogeno o pH, salinidad y temperatura. Para el análisis se tomó un balde y se procedió a curarlo, es decir enjuagarlo 3 veces con el agua de la microcuenca. Luego, se anotaron los valores obtenidos, además de una evidencia fotográfica, que aseguró la veracidad de los datos obtenidos, ya que se realizaron los ensayos de toma de datos de 2 a 3 veces por parámetro. Como se observa en la Figura 6. Toma de muestras *in situ* y en la Figura 7. Estabilización de la sonda que se muestran a continuación.



Figura 5. Toma de muestras in situ



Figura 6. Estabilización de la sonda

Para el análisis de turbidez, previo a la medición, se calibró el turbidímetro con blancos desde 10 hasta 200 UTM como se observa en la Figura 7. Parámetros in situ, posteriormente se homogenizó la muestra y se colocaron 10 ml de está en una celda de esa capacidad, cabe destacar que el agua no requirió disolución, debido a su transparencia. Los datos obtenidos se expresaron NTU (Unidades Nefelométricas).



Figura 7. Parámetros *in situ*

2.3.4 Parámetros físicos y químicos en Laboratorio.

Se realizaron los siguientes análisis en laboratorio:

Alcalinidad. - Se colocaron 100 ml de muestra en matraz Erlenmeyer de 250 ml, se procedió a medir el pH, un valor mayor a 8.3 indica que existe alcalinidad por fenolftaleína, de lo contrario, si se obtenía un valor menor, existe alcalinidad total. Se utilizó el pH-metro y se

determinó alcalinidad total en las muestras. En este caso se utilizó naranja de metilo como indicador para la titulación con ácido sulfúrico, hasta el cambio de un color amarillo a un ligero color naranja.

Color. - Para el análisis de color se tomaron 80 ml de muestra de cada una de las microcuencas I, J y IJ, se realizó una filtración al vacío con ayuda de un filtro de membrana, el líquido de la muestra filtrada se colocó en una celda de 10 ml de capacidad y en otra celda del mismo valor se colocó agua destilada para que esta funcionará como blanco, en el espectrofotómetro se escogió el programa 120. Para la medición fue necesario poner al equipo en cero, para ello se midió la absorbancia del blanco mediante la opción "cero" del espectrofotómetro, luego se procedió a medir la muestra y se anotó el valor de la medición en unidades de PtCo (platino-cobalto).

Cromo. - El análisis de cromo se realizó en el espectrofotómetro donde se agregaron 10 ml de agua destilada como blanco, posteriormente se colocaron 10 ml de muestra en una celda con el reactivo ChromaVer® se homogenizó la mezcla y se dejó reposar por 5 minutos se colocó en el espectrofotómetro con el programa número 90, primero el blanco. Para poner en cero al instrumento, luego se colocó el vial con la muestra y se presionó el botón de medir con los resultados en unidades de ppm de cromo total.

Fosfatos. - Para el análisis de fosfatos se agregaron 10 ml de la muestra en una celda, posterior a esto se añadió el reactivo con el nombre de Phover3®, se homogenizó la solución con movimientos leves. Una vez homogenizada se dejó reposar por 2 minutos hasta que tome un color azulado, se escogió el programa número 536 en el espectrofotómetro, se calculó y se obtuvo en unidades de ppm de PO_4^{3-} .

Manganeso. - Para este análisis se tomaron 10 ml de agua destilada como blanco para la calibración del equipo, luego se tomaron 10 ml de muestra y se colocaron 2 reactivos diferentes, el primero conocido como ácido ascórbico se colocó en la celda y se homogenizo durante 1 minuto, pasado este tiempo de añadieron 12 gotas del segundo reactivo llamado

cianuro alcalino y se colocó un indicador PAN se procedió a homogenizar nuevamente hasta observar un cambio de coloración en la solución, se escogió la opción 290 en el equipo y se midió su valor en unidades de mg/l CaCO_3 .

Nitritos. - Para realizar la medición de este parámetro se homogenizó la muestra y se agregaron 10 ml en una celda de esa capacidad, se colocó el reactivo Nitriver3®, se dio movimientos circulares hasta homogenizar la mezcla y con una celda de 10 ml de capacidad con agua destilada como blanco se calibró el equipo. Luego, se tomó el tiempo de reposo de la muestra por 20 minutos, pasado este tiempo se colocó la solución en el espectrofotómetro, se escogió la opción 334 y se obtuvo el resultado en mg NO_2^- .

Nitratos. – De igual forma que el análisis anterior se tomó 10 ml de muestra, se agregó el reactivo Nitriver5®, se agitó durante 5 minutos suavemente con movimientos circulares hasta homogenizar la solución, con el equipo calibrado anteriormente se escogió la opción 355 y se calculó el valor en mg de NO_3^- .

Hierro. - Para este análisis se colocaron 10 ml de la muestra en una celda y se colocó el reactivo llamado Ferrover®, se mezcló con movimientos circulares suaves hasta lograr una solución homogénea por 3 minutos, se tomó otra celda de la misma capacidad y se colocó la muestra sin ningún reactivo que se tomó como blanco para calibrar el equipo en la opción 261, una vez transcurridos los 3 minutos se midió la celda con el reactivo con resultado en mg Fe.

Dureza. - Se pipetearon 50 ml de muestra en un matraz se añadieron 3 gotas del reactivo negro de eriocromo (ENT), luego se colocaron 5 gotas de la solución BUFFER de pH 10. Luego, se homogenizó la muestra con movimientos suaves hasta la aparición de un color púrpura y se titula con EDTA hasta el vire de color a azul, se anotó el volumen utilizado para la titulación y posterior cálculo en ppm CaCO_3 .

DQO. – Para realizar la medición de este parámetro se agregaron 2 ml de la muestra en viales de bajo espectro en un rango de 3 - 150 mg/L DQO, se homogenizó la muestra.

Posteriormente, se agitó y se abrió cada vial para lograr eliminar gases del vial repitiendo este procedimiento varias veces. Previo al paso anterior se precalentó el digestor a 150°C y una vez listo éste, se colocó un vial con una muestra de 2 ml de agua destilada como blanco junto con el vial de la muestra por 2 horas en su interior. Finalizado el tiempo de espera se sacaron los viales del digestor y se dejaron enfriar en una gradilla hasta temperatura ambiente, una vez fríos los viales se los colocó en el espectrofotómetro para realizar la medición correspondiente que en este caso fue debajo el rango de medición.

DBO. - No se necesitó realizar el análisis de este parámetro ya que el análisis de DQO dio como resultado un valor dentro del rango, el cual indica que existe una cantidad inferior de 3 mg/l de materia orgánica.

Sólidos Totales. - Para realizar el análisis de sólidos, con 24 horas de anticipación se colocaron los crisoles, los platos y los filtros en el desecador para que estos instrumentos salgan tarados y se anotó el valor. Transcurrido el tiempo de espera se procedió a pesar y anotar el valor obtenido de la balanza analítica Figura 8. Peso del crisol, de cada uno de los materiales necesarios para realizar la medición, se colocaron 25 ml de muestra de las microcuencas I, J y IJ respectivamente se colocó en la estufa a 105 °C durante 2 horas hasta la evaporación de la muestra, se sacaron los instrumentos de la estufa y se colocó en el desecador hasta que estuvo a temperatura ambiente y se procedió a pesar en la balanza y anotar el valor obtenido.



Figura 8. Peso del crisol

Sólidos Disueltos. - De igual forma que en el procedimiento anterior se pesaron en la balanza analítica los instrumentos y se anotó cada valor respectivamente. Luego, se filtró al vacío 150 ml de muestra, de esos 150 ml se colocaron 25 ml de la muestra en el crisol previamente tarado y se evaporó el agua hasta la sequedad en una estufa a 105 °C durante 2 horas. Pasado este tiempo se sacaron los instrumentos y se colocaron en el desecador hasta que se enfríe a temperatura ambiente para luego pesar y anotar el nuevo valor. Después se colocó el crisol en la mufla a 550 °C durante 20 minutos, se llevó al desecador los instrumentos hasta que estén a temperatura ambiente y se registró el nuevo peso con ayuda de la balanza analítica como se indica en la Figura 10. Peso del filtro.



Figura 9. Peso del filtro

Para obtener los valores de sólidos se utilizaron las siguientes fórmulas que se muestran en la Tabla 4 .Relaciones para la determinación de sólidos en una muestra de agua. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 4 .Relaciones para la determinación de sólidos en una muestra de agua.

Sólidos Disueltos Totales (SDT)	$SDT = \frac{P_1 - P_o}{V_m}$
Sólidos Totales (ST)	$ST = \frac{P_1' - P_o}{V_m'}$
Sólidos Suspendidos (SS)	$SS = ST - SDT$

Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	$SDV = \frac{P_2 - P_1}{V_m}$
Sólidos Totales Volátiles (STV)	$STV = \frac{P_2' - P_1'}{V_m'}$
Sólidos Totales Fijos (STF)	$STF = \frac{P_2' - P_o'}{V_m'}$
Sólidos Totales (ST)	$ST = \frac{P_{1a} - P_{oa}}{V_m}$
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	$SSV = STV - SDV$
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	$SSF = STF - SDF$

Fuente: (Sierra Ramírez, 2011)

2.3.5 Parámetros microbiológicos.

Se realizaron los análisis de *Giardia* y coliformes fecales en un laboratorio acreditado llamado LABOLAB el cual cumple con normativas y regulaciones del (ARCSA) Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria e (INEN) Instituto Ecuatoriano de Normalización, que se requieren para agua y alimentos que requieran los análisis microbiológicos para detectar la presencia de patógenos.

2.3.6 Índice de calidad del agua.

Se realizó el cálculo del índice de calidad del agua con los datos de los parámetros más importantes en cuanto a alteración de fuentes hídricas los cuales se especifican en Tabla 5.

Parámetros para el cálculo del ICA:

Tabla 5. Parámetros para el cálculo del ICA

Parámetros para el análisis del ICA		
Color	Alcalinidad	Fosfatos
DBO	pH	Conductividad
Oxígeno Disuelto	Dureza total	Turbidez
Nitratos	Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos
<i>Giardia</i>	Coliformes fecales	

Con los parámetros mostrados en la Tabla 5. Parámetros para el cálculo del ICA y con la siguiente fórmula Figura 10. Fórmula general para el cálculo del ICA se procedió a realizar el cálculo correspondiente:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Figura 10. Fórmula general para el cálculo del ICA

ICA= índice de calidad de agua global

I_i=índice de calidad para el parámetro i

W_i=coeficiente de ponderación del parámetro i

n= número total de parámetros

Los coeficientes de ponderación empleados en la fórmula del ICA se encuentran en la Tabla

6. Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA:

Tabla 6. Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA

Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA			
Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
pH	1.0	Dureza	1.0
Color	1.0	Nitratos	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos	2.0
Sólidos suspendidos	1.0	Sólidos Disueltos	0.5
Conductividad	2.0	Oxígeno Disuelto	5.0
Alcalinidad	1.0	DBO	5.0
Coliformes Fecales	3.0	<i>Giardia</i>	5.0

Para los parámetros analizados que no poseen una ponderación en la tabla se tomó un valor nulo, es decir 0 para el cálculo del ICA global. Por lo cual no se tomaron en cuenta para el cálculo.

2.3.7 Medición de Caudal

Se determinó la cantidad de masa o volumen de agua por unidad de tiempo, que transita en canales de captación de las microcuencas. Para lo cual se utilizaron instrumentos que permitan la medición del caudal ya sea directamente como indirectamente, a estos se los denomina caudalímetros.

Se utilizó un micromolinete para encontrar la velocidad con la que circula las microcuencas como se observa en la Figura 11. Medidor portátil de velocidad.



Figura 11. Medidor portátil de velocidad

Las dimensiones de los canales de las microcuencas I, J como indica la Figura 12. El final de las microcuencas I; J, se realizaron con un flexómetro, además la microcuenca J llega a la unión en una tubería Figura 13. Microcuenca J de 45 cm de diámetro cuyo material es el acero.



Figura 12. El final de las microcuencas I; J



Figura 13. Microcuenca J

La microcuenca I y la salida de la unión de las dos microcuencas comparten el mismo ancho del canal que es de 80 centímetros.

Para determinar el calado de las microcuencas el medidor portátil de velocidad posee una regla con la cual es posible determinar la profundidad del agua, como se muestra en la Figura 14. Calado de las microcuencas.



Figura 14. Calado de las microcuencas

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Elaborar una línea base de información del estado actual de las microcuencas y un análisis comparativo del resultado de la caracterización con las normas correspondientes

En la Figura 15. Puntos de Muestreo de las microcuencas I; J se muestra los puntos donde se tomó cada muestra, estas se identificaron mediante el trazado del área de las microcuencas utilizando cartografía disponible del IGM (Instituto Geográfico Militar), los límites de las microcuencas y los causes naturales se definieron con software especializado entre ellos el Civil 3D y los puntos fueron tomados por el GPS.

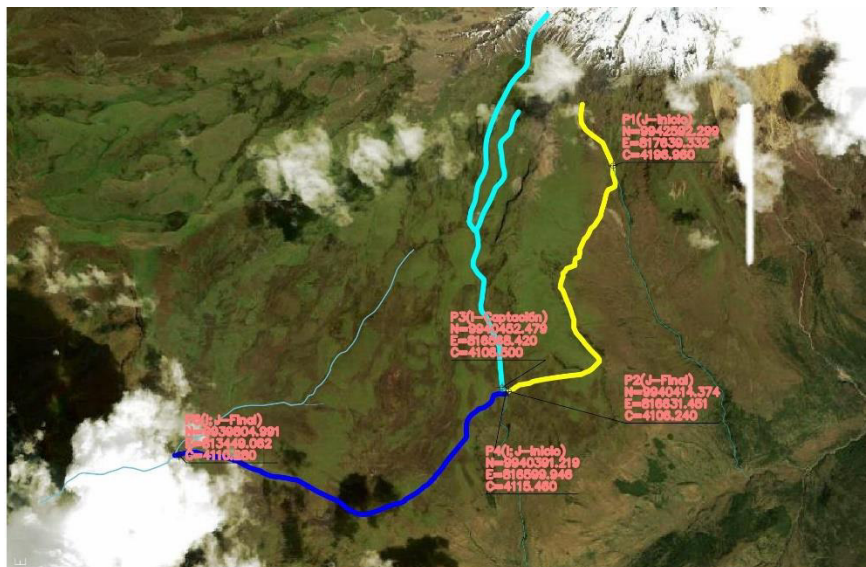


Figura 15. Puntos de Muestreo de las microcuencas I; J

La microcuenca I está representado por el color celeste, mientras la microcuenca J está de color amarillo y el tramo donde se unen las dos microcuencas se encuentra en azul. La unión de las microcuencas I; J desemboca en la quebrada de “Moyas”.

Se tomaron varias muestras en distintos lugares de los afluentes, las coordenadas de los puntos georreferenciados en UTM (*Universal Transverse Mercator*), se encuentran en la Tabla 7. Puntos de georreferenciales de los lugares de muestreo.

Tabla 7. Puntos de georreferenciales de los lugares de muestreo

Puntos georreferenciales (UTM)				
Puntos	(UTM)	Este	Norte	Altura
PI	17S	817637.03	9942582.35	4196.97
PJ	17S	816568.42	9940452.48	4106.50
PI; J	17S	813449.06	9939804.99	4036.16
PJ (final)	17S	816631.46	9940414.38	4106.29

3.1.1 Resultados de los análisis *in situ*.

En la Tabla 8. Resultados de los análisis *in situ* y Tabla 9. Resultados de la saturación del oxígeno disuelto se observan los resultados que se obtuvieron de los parámetros *in situ*, de laboratorio y los microbiológicos de las microcuencas I, J y la unión de estas. Los resultados fueron comparados con los límites permisibles de la normativa vigente, que se encuentran fijados en el Libro VI, Anexo I del TULSMA, tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. En caso de incumplir con la norma los parámetros se encuentran resaltado de amarillo.

Tabla 8. Resultados de los análisis *in situ*

Análisis <i>in situ</i>					
Parámetros	P. I	P. J	P.I; J	Límites de detección Libro IV anexo1 TULSMA	Unidades
Conductividad	0.036	0.071	0.08	----	mS/cm
Oxígeno disuelto	6.7	5.89	5.82	menor 80%= 5;65	mg/L OD
pH	6.94	6.7	6.89	6.5-9	pH
Temperatura	10.14	8.74	7.49	-----	°C
Turbidez	2.17	4.59	2.55	-----	NTU

Se observa en la tabla 8, las microcuencas I; J cumplen con los límites de detección de los parámetros analizados en el sitio de la toma de muestra.

3.1.2 Conductividad y Sólidos Disueltos Totales.

A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se muestran los resultados de los análisis de conductividad y sólidos disueltos para cada punto de muestreo.

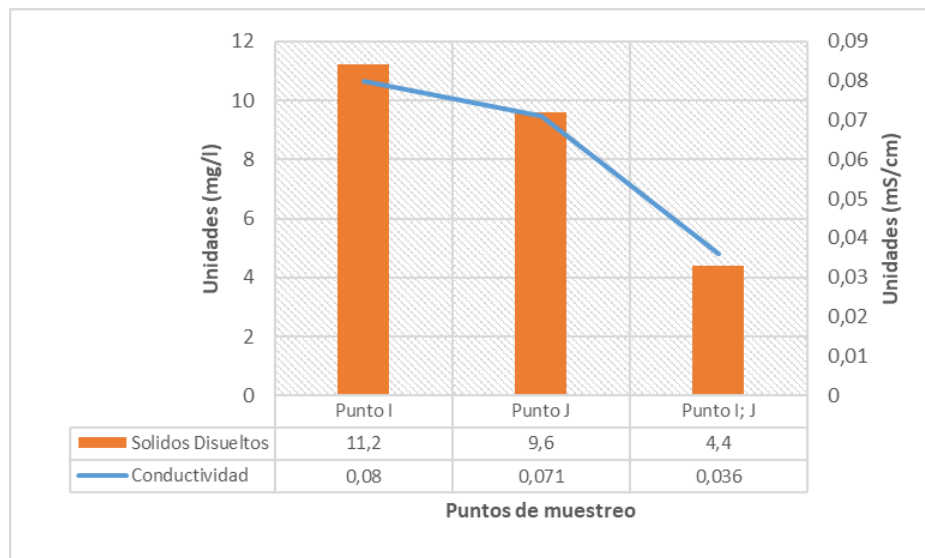


Figura 16. Análisis de los resultados de la conductividad y los sólidos disueltos

Con relación a parámetros, el Libro VI, Anexo 1 del TULSMA tabla 3, no muestra un límite máximo permisible. Pero como se ve en la Figura 16. Análisis de los resultados de la conductividad y los sólidos disueltos la conductividad está directamente relacionada con la presencia de sólidos disueltos, es decir mientras mayor sea el valor de conductividad que posea el agua indica mayor presencia de sólidos disueltos. Este parámetro a pesar de no poseer un valor máximo permisible en la normativa vigente, es un criterio importante para el cálculo del ICA. No se pueden relacionar directamente los sólidos disueltos con el color real, debido a que la toma de muestras para los sólidos disueltos se realizó en fechas diferentes a la toma de muestras de color real.

3.1.3 Oxígeno Disuelto.

En la Figura 17. Análisis de resultados del Oxígeno disuelto y el de saturación y en la Tabla 9. Resultados de la saturación del oxígeno disuelto se muestra los resultados del oxígeno disuelto en los puntos de muestreo.

Tabla 9. Resultados de la saturación del oxígeno disuelto

Parámetro	Unidad	Muestras		
		I	J	I; J
Altura	msnm	4 100	4 197	4 036
Temperatura Agua	°C	10.14	8.74	7.49
Temperatura Ambiental	°K	283	293	283
Presión atm	mmHg	463.22	465.82	466.82
Presión de Vapor	mmHg	9.32	8.49	7.81
OD Corrección respecto a Temperatura	mg/l	11.258	11.652	11.953
OD Corrección respecto a la presión y temperatura (100% de saturación)	mg/l	6.81	7.09	7.29
60% de saturación OD	mg/l	4.08	4.25	4.38
80% de saturación OD	mg/l	5.45	5.67	5.84

Como se muestra en la tabla 9, se realizó una corrección de la cantidad de oxígeno disuelto que debe poseer el agua a temperatura ambiente y presión del aire, esta se realiza al considerar la altitud donde se tomaron las muestras. Se calculó el 80 % de la saturación del oxígeno disuelto debido a la normativa vigente.

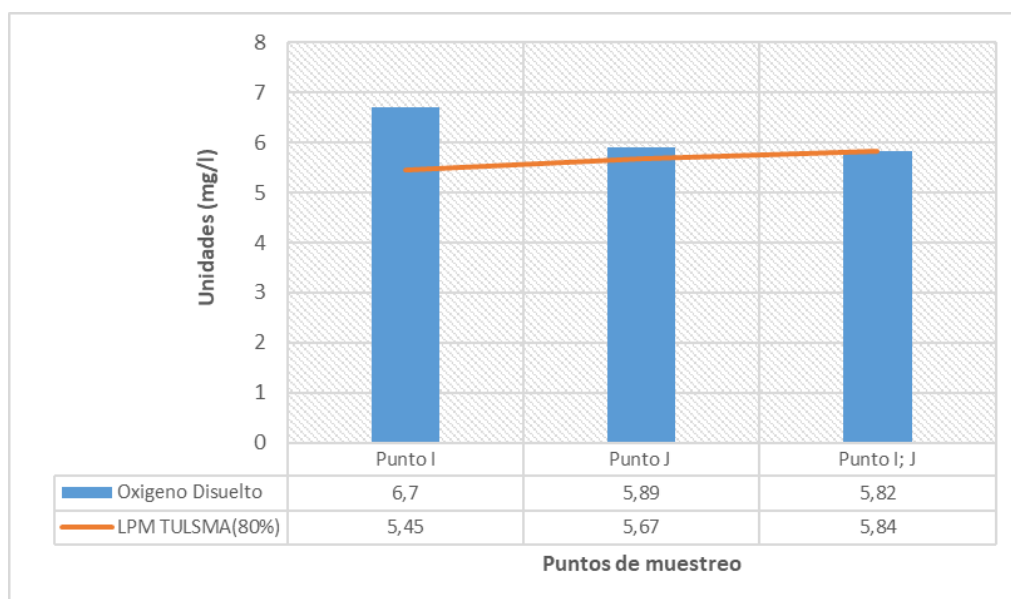


Figura 17. Análisis de resultados del Oxígeno disuelto y el de saturación

Según el (TULSMA, 2015) en la tabla 3, el límite máximo permisible no debe ser menor al 80% de saturación de oxígeno disuelto, además se debe calcular la saturación, según la temperatura y presión del lugar la cual está relacionado con altura. Los resultados reflejan que dos de los tres puntos cumplen con la normativa, no obstante, el último punto no se encuentra muy alejado de los valores admisibles que se establece. Esta variación de oxígeno disuelto en el punto I; J pudo ser causado por la presencia de algas en el lugar, debido a que estas consumen el oxígeno disuelto del agua, disminuyendo considerablemente su concentración (Álvarez Cobelas & Gallardo García, 1989).

3.1.4 Potencial de Hidrogeno pH.

A continuación, en la Figura 18. Análisis de los resultados del pH se muestran los análisis de resultados del pH en los puntos de muestreo.

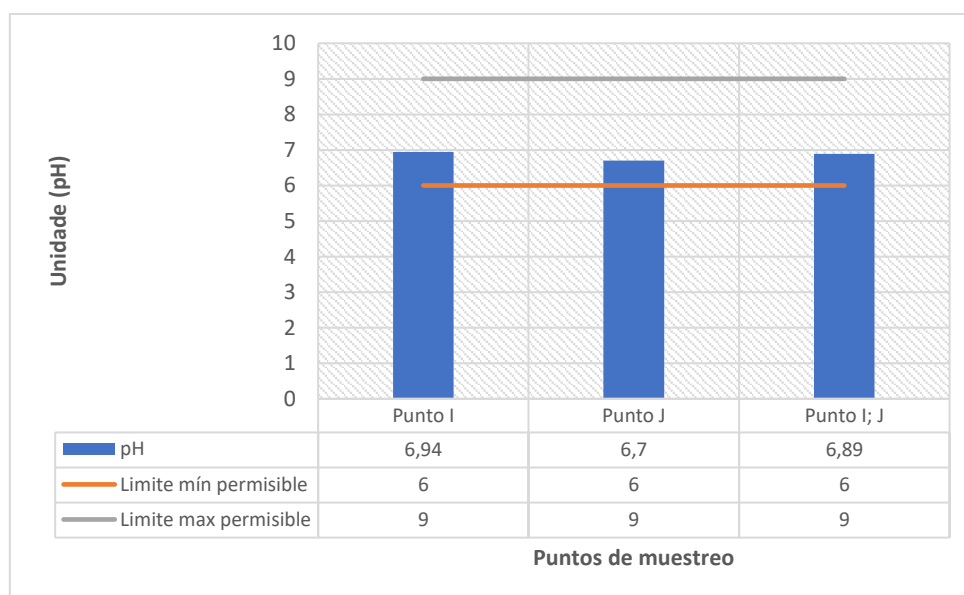


Figura 18. Análisis de los resultados del pH

Los análisis muestran que en todos los puntos se cumple con el límite máximo permisible determinado por la normativa TULSMA, el cual está en el rango de 6 a 9.

Existe un promedio de 6;7 a 6;94 de pH entre los puntos, lo que demuestra que se encuentra en un rango admisible para desarrollar la vida acuática.

3.1.5 Temperatura.

En la Figura 19. Análisis de los resultados de la temperatura se muestra los resultados del análisis de temperatura en los puntos de muestreo.

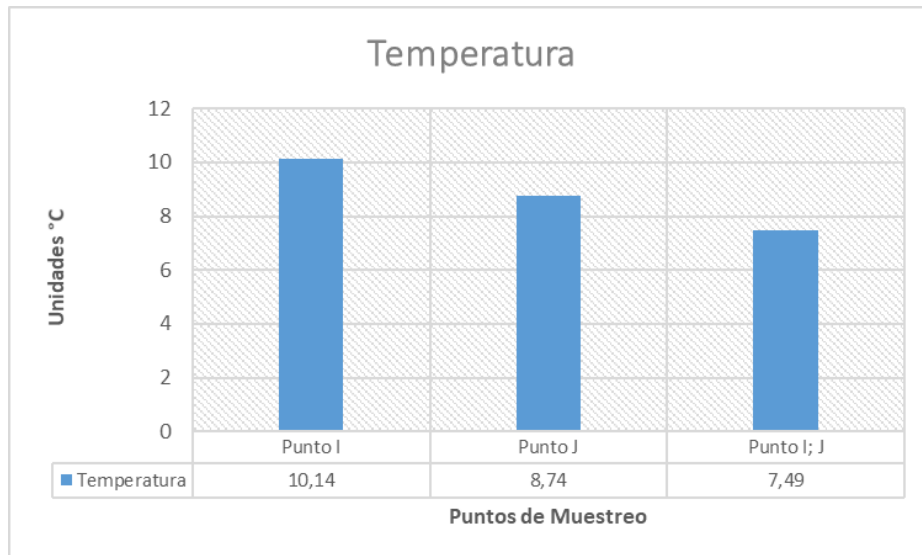


Figura 19. Análisis de los resultados de la temperatura

Como muestra la Figura 19. Análisis de los resultados de la temperatura no existe un límite máximo permisible, pero es un parámetro que se relaciona con la mayoría de los parámetros, esto debido a que el aumento de temperatura acrecienta su capacidad de disolución. También es muy importante cuando se trata de oxígeno disuelto en el agua pues afecta directamente a su saturación debido a que la temperatura y el oxígeno disuelto son inversamente proporcionales.

3.1.6 Turbiedad y Sólidos Suspendedos Totales.

En la Figura 20. Análisis de los resultados de la turbiedad y sólidos suspendidos totales se observa los resultados obtenidos de los parámetros de turbidez y sólidos suspendidos, en los puntos de muestreo establecidos.

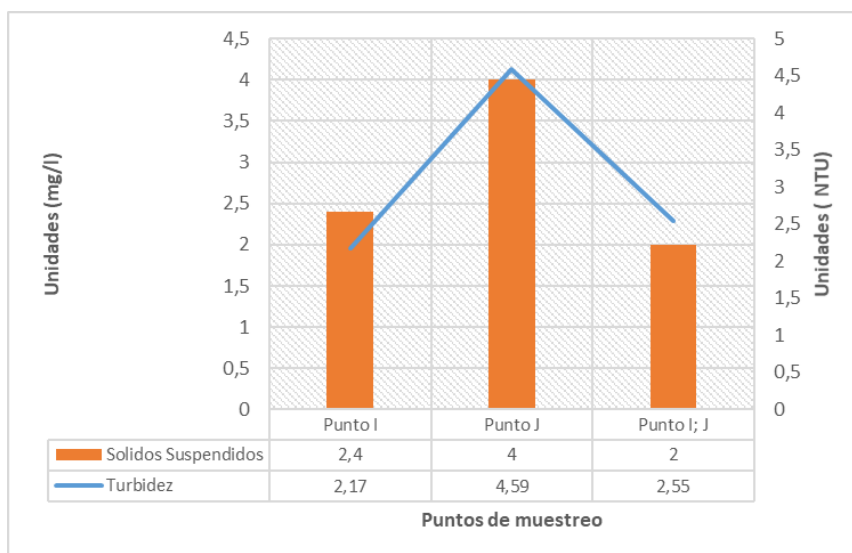


Figura 20. Análisis de los resultados de la turbiedad y sólidos suspendidos totales

Al igual que los anteriores parámetros la turbidez y los sólidos suspendidos no tienen un límite máximo permisible de acuerdo con el Libro VI, Anexo 1 del TULSMA tabla 3, del cual se está comparando. No obstante, los sólidos suspendidos tienen relevancia en el cálculo del ICA por lo que es importante su análisis.

En la Figura 20. Análisis de los resultados de la turbiedad y sólidos suspendidos totales se observa que la turbidez corresponde directamente a la cantidad de sólidos suspendidos existentes en el agua. Los resultados obtenidos muestran una baja cantidad de partículas en suspensión, lo que evidencia que en relación con estos criterios el agua se encuentra con un alto nivel de calidad.

A continuación, en la Tabla 10. Resultados de los análisis de laboratorio se muestran los resultados de los análisis de laboratorio

Tabla 10. Resultados de los análisis de laboratorio

Análisis de laboratorio					
Parámetros	Unidades	P. I	P. J	P.I; J	Límites máximos permisibles, Tabla 3, Anexo 1, Libro VI, TULSMA, 2015
Color aparente	Pt/Co	55	306	69	-----
Color real	Pt/Co	49	19	48	75
Cromo Total	mg/l	0.092	0.04	0.009	0.032
DQO	Rango de detección 3 a 150 mg/l DQO < Limite de detección				
Dureza Cálctica	mg /l CaCO ₃	12.01	9.01	18.02	-----
Dureza total	mg /l CaCO ₃	18.02	13.01	22.02	-----
Fosfatos	mg/l PO ₄	1.82	Debajo del rango	0.09	-----
Hierro	(mg/l) Fe	0.93	0.39	0.28	0.3
Manganeso	mg/l	0.036	0.028	0.21	0.1
Nitratos	mg/l	0.7	0.5	7.2	13
Nitritos	mg/l	5	1	2	0.2
Sólidos Totales	mg/l SST	13.6	13.6	6.4	10% total
Sólidos Suspendidos	mg/l SS	2.4	4	2	
Sólidos Disueltos	mg/l SD	11.2	9.6	4.4	-----
Sulfatos	mg/l SO ₄	0	16	18	-----
Alcalinidad	mg /l CaCO ₃	41	37	36	-----

Como muestra la tabla 10, existen 3 parámetros que se encuentran fuera del valor máximo permisible, esto según el Libro VI, Anexo I del TULSMA, de la tabla 3. Los cuales afectan a la calidad de agua.

3.1.7 Alcalinidad.

En la Figura 22 se muestran los resultados de los análisis de alcalinidad en los puntos de muestreo.

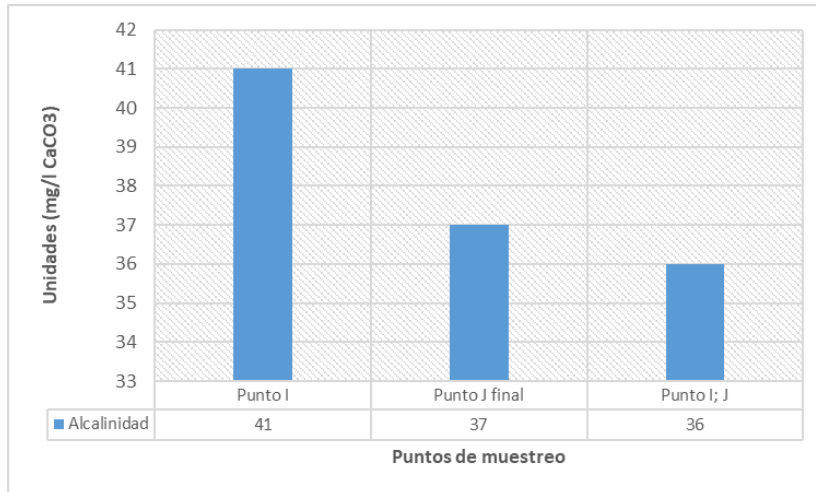


Figura 21. Análisis de los resultados de la alcalinidad

La Alcalinidad no es un parámetro que se encuentre regulado en la normativa vigente, (TULSMA, 2015), sin embargo, es importante su medición para prever la corrosión en las tuberías de conducción. Según (Pérez López, 2016) en el documento “Control de calidad en aguas consumo humano en la región occidental de Costa Rica” el límite máximo permisible es de 200 mg/l, con esto, los valores obtenidos en cada microcuenca son relativamente bajos y no perjudicarían significativamente a las tuberías.

3.1.8 Color real.

En la figura 23, se observa los resultados del parámetro de color real en cada punto de muestreo.

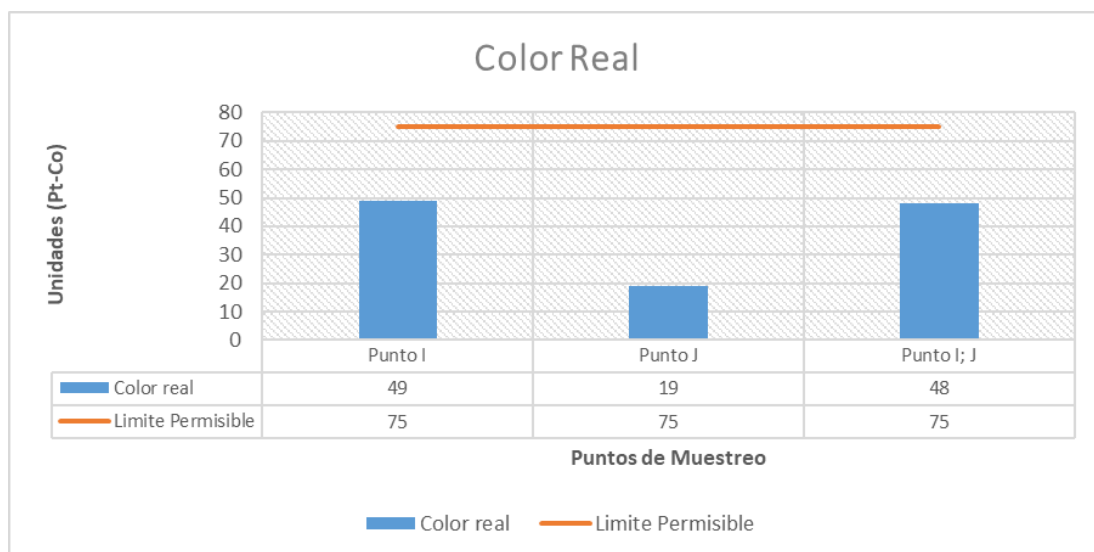


Figura 22. Análisis de los resultados del color real

Los datos obtenidos fueron comparados con el libro VI, TULSMA anexo 1 tabla 3, que establece un límite máximo permisible de 75 unidades de color Platino-Cobalto, como se observa todos los puntos se encuentran dentro de la normativa.

La figura 23, muestra una variación en el color real en cada punto, esto se debe a que la microcuenca J posee la captación al inicio de su nacimiento, lo que ayuda para que el afluente posea menos sólidos disueltos que puedan afectar a su color, mientras la microcuenca I es la que posee más materia disuelta debido a que la captación se encuentra a 4 kilómetros de su nacimiento, lo que ocasiona que los animales del lugar tengan acceso a la microcuenca antes de ser captada, además de que se genera gran crecimiento de algas y eso hace que contenga más materia que afecta a su color. Por último, el punto I; J, posee un tramo de 3.89 kilómetros que conduce el agua por una tubería de acero, además posee varios tanques de revisión, de los cuales no se tiene registro de que se haya hecho un mantenimiento adecuado, provocando que existan sustancias que aumenten el color en ese punto.

Sin embargo, las variaciones de color entre los puntos de muestreo no afectan a la calidad de agua en general de las dos microcuencas.

3.1.9 Cromo total.

En la figura 24 se observa los resultados obtenidos de los análisis de cromo total existentes en los puntos de muestreo.

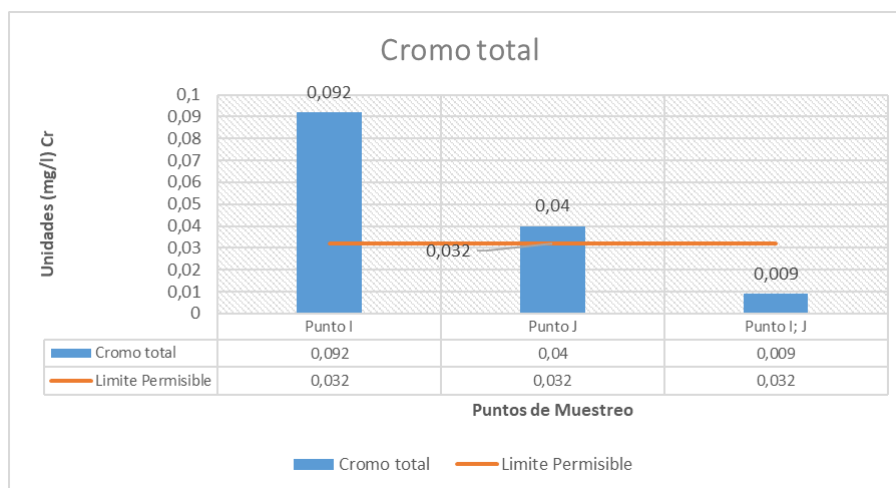


Figura 23. Análisis de los resultados del cromo

Como se aprecia en la figura 24, se excede el límite máximo permisible de cromo total en 2 de los tres puntos de muestreo esto, según la normativa Libro VI, Anexo 1 del TULSMA, tabla 3, se debe a que las microcuencas nacen del derretimiento del glaciar del nevado Antisana y este al ser un volcán posee grandes cantidades de minerales debajo y en la superficie, lo que provoca que se adhiera partículas de estos minerales en el trayecto del afluente.

Es importante conocer la cantidad de cromo total que existe en el agua, debido a que este está compuesto por Cromo III y Cromo VI. Este último es el más perjudicial para la salud debido a que es altamente soluble, pero puede ser reducidos a Cr III en presencia de materia orgánica.

El cromo III es el más estable y es el que con mayor frecuencia se encuentra en el suelo y en los ambientes acuáticos, conjuntamente unido con la materia orgánica y sulfatos, debido a esto son menos móviles y se encuentran cerca de donde se hallan los minerales esto según (Guevara, 2010). Es probable que el mayor porcentaje de cromo que existe en los puntos de muestreo sea de Cr^{+3} , debido a que se encontró en los dos puntos donde se captan el agua de las microcuencas I; J, en donde las bocatomas poseen un color rojizo-amarillento, a causa de una acumulación de este mineral y a la falta de mantenimiento de la estructura.

En el punto final I; J que es donde desagua la unión de las microcuencas en la quebrada de "Moyas", casi no existe presencia de cromo total, lo que descarta la presencia de Cr VI en las aguas del afluente, debido a que el Cr VI es muy soluble y se encontrarían restos de esta, en el último punto caso que no ocurrió.

3.1.10 Dureza total y Dureza Cálctica.

A continuación, en la figura 25 se muestra los resultados de la dureza total y cálcica de los puntos de muestreo.

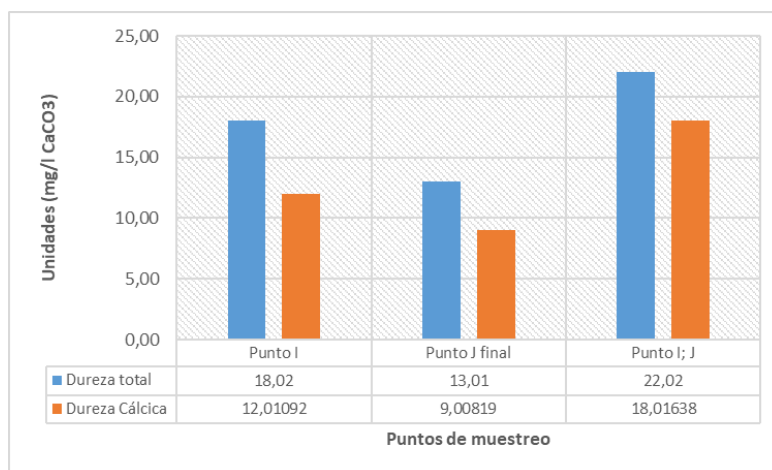


Figura 24. Análisis de los resultados de la dureza total y dureza cálcica

Son parámetros que a pesar de no tener un valor máximo permisible en la normativa del (TULSMA, 2015) se toman en cuenta debido a que las conducciones de las microcuencas se realizan en tuberías de acero, que en presencia de agua con dureza causan corrosión y abrasión, lo que genera pérdidas de caudal y desprendimiento de partículas de cobre, hierro u otros metales perjudiciales para la salud. (Sandoval et al., 2014).

Los niveles de dureza total y cálcica son bajos, en comparación a la versión anterior del TULSMA, Libro VI, Anexo I donde se establecía un valor máximo permisible de 500 mg/l.

3.1.11 Hierro y Manganeso.

A continuación, en la figura 26 se observan los resultados de los análisis de hierro y manganeso en los puntos de muestreo

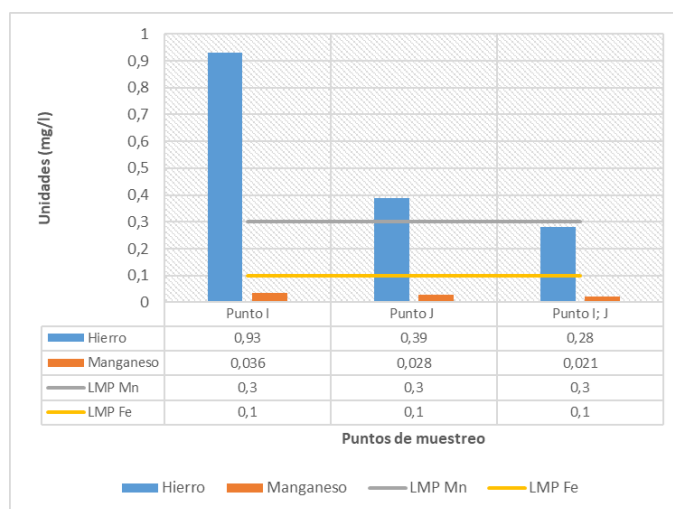


Figura 25. Análisis de hierro y manganeso

El Libro VI, Anexo 1 del TULSMA en la tabla 3, establece un límite máximo permisible de 0.1 mg/l para hierro y 0.3 mg/l para manganeso, los resultados muestran que existe hierro en los puntos de captación de las microcuencas, lo que causa que se encuentren fuera del valor máximo permisible, esto debido a la presencia de minerales en los puntos de captación, lo que causa que la captación presente un color rojizo- amarillento en su estructura. No obstante, el punto final de la unión de las microcuencas se encuentra debajo del límite máximo permisible, lo que es beneficioso para la calidad de agua en general del afluente.

3.1.12 Fosfatos.

En la figura 27 se muestra los resultados de los análisis de los puntos de muestreo.

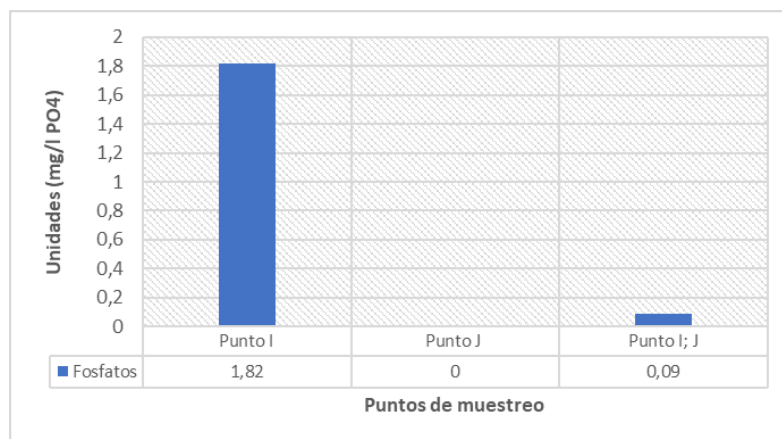


Figura 26. Análisis de los resultados de los fosfatos

En el (TULSMA, 2015), no se encuentra un límite máximo permisible, pero es conveniente su análisis debido a que su presencia implica la existencia de excretas de origen animal o humanas.

El punto I es donde se concentra la mayor cantidad de fosfatos, esto debido a que es la zona donde existe mayor cantidad de animales y posee 3.9 kilómetros de canal abierto lo que le hace ser más susceptible a contaminarse con excretas de animales como son los venados, conejos o aves que se encuentran en el lugar. Al contrario del afluente J, que está casi no contiene un canal a sección libre debido a que se capta a pocos metros de su nacimiento, esto se ve reflejado en los resultados de los fosfatos.

Sin embargo, no representa un riesgo potencial para la vida acuática del lugar, debido a que el punto final de unión de los dos afluentes casi no contiene fosfatos.

3.1.13 Nitratos.

En la Figura 27. Análisis de los resultados de nitratos se puede observar que cumplen con la normativa regulatoria.

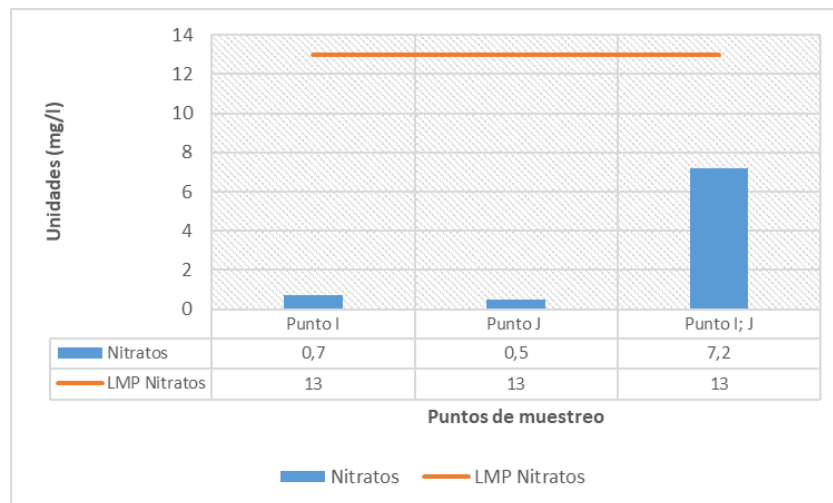


Figura 27. Análisis de los resultados de nitratos

Las 3 microcuencas presentan valores de nitratos bajo el límite máximo permisible, se debe a que los iones negativos de tres átomos de oxígeno y uno de nitrógeno conocidos como nitratos, no poseen sabor ni color además de que se encuentran libres en la naturaleza y disueltos en las aguas superficiales de forma natural, su presencia se debe a un ciclo natural que cumple el nitrógeno y es normal que se encuentre presente en pequeñas cantidades de abono nitrogenado que es arrastrado por la lluvia llegando a las captaciones. (Erika Cabrera Molina, 2003)

3.1.14 Nitritos.

En la Figura 28. Análisis de los resultados de nitritos se ve que las microcuencas no cumplen con la normativa (ANEXO-1 TULSMA CALIDAD DEL AGUA, 2015).

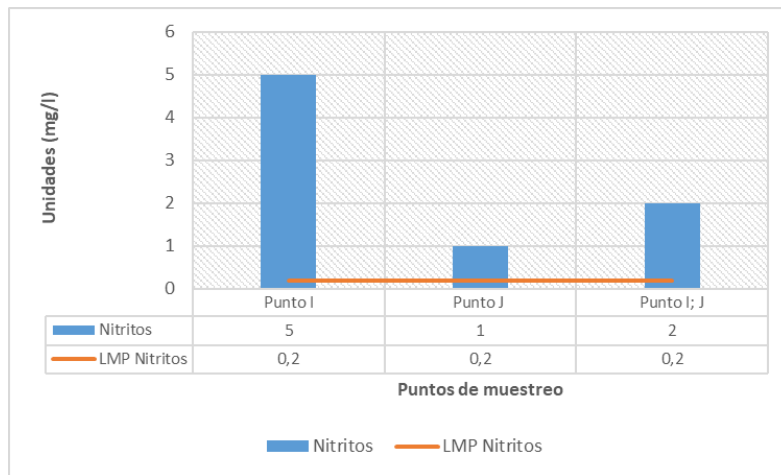


Figura 28. Análisis de los resultados de nitritos

El exceso de nitritos en el agua se forma durante la biodegradación de nitratos, también puede ser por la presencia de nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados que son arrastrados por las lluvias a las captaciones y pueden indicar contaminación fecal, es importante darle especial énfasis a la contaminación por nitritos y darle un tratamiento que no sea solo desinfección ya que estos en contacto con el cloro pueden causar compuestos cancerígenos.

Se observa que la microcuenca I posee mayor cantidad de nitritos, esto se debe a que es un punto de fácil acceso a diferencia que la microcuenca J. En el caso de la microcuenca IJ tiene menor cantidad de nitritos debido a que hasta llegar a este punto existe una dilución.

3.1.15 Sulfatos.

En la figura 30 no existe un límite máximo permisible para sulfatos presentes en el agua de acuerdo (ANEXO 1 TULSMA CALIDAD DEL AGUA, 2015).

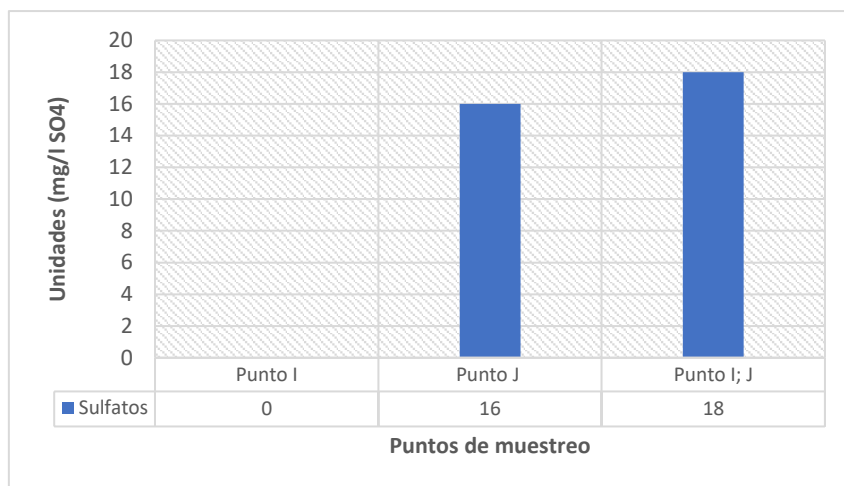


Figura 29. Análisis de los resultados de sulfatos

El agua proveniente del nevado como el agua subterránea pasa por suelos rocosos, los cuales contienen minerales de azufre que al ser tocados por el agua se disuelven en ella.

3.1.16 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Como muestra la Figura 31, se realizó la medición de DQO en el laboratorio de Tecnología Industrial – Área Agua y Saneamiento Ambiental ESFOT, el cual arrojó un resultado debajo del rango de medida.



Figura 30. Resultados del DQO

El DQO es un parámetro importante, pues permite conocer una cantidad aproximada de materia orgánica, que puede poseer el agua. El libro VI, Anexo I del TULSMA, en la tabla 3, no regula un límite permisible para DQO, pero debido a que la demanda química de oxígeno

está directamente relacionada con el DBO (demanda bioquímica de oxígeno) el cual si se encuentra normada es relevante su medición.

En los puntos I, J y la unión de estas, el resultado de DQO estaba debajo del rango de detección, esto con los viales de bajo rango que determinan de 3 a 150 mg/l de DQO, por lo tanto, el DQO de las microcuencas estaba debajo de 3 mg/l DQO que no fue detectado por el espectrofotómetro.

Esto se debe a la naturaleza de los afluentes que al provenir del glaciar Antisana donde en los últimos años ha cesado las actividades ganaderas y antrópicas, a causa de la restricción al acceso a estas zonas, no se pudo evidenciar la presencia de materia orgánica disuelta en los afluentes. Por lo tanto, se optó por no realizar el análisis de DBO₅.

En la tabla 11 se detalla los resultados de los análisis microbianos, de manera específica los Coliformes fecales y la *Giardia*

Tabla 11.-Resultados de los análisis microbiológicos

Análisis microbiológicos			
Parámetros	P.I; J	Limites Max permisibles	Unidades
Coliformes totales	< 1	-----	ufc/100ml
<i>Giardia</i>	Ausencia	-----	ufc/100ml

En la normativa (TULSMA, 2015) en la tabla 3, no establece un límite máximo permisible, sin embargo, es de vital importancia realizar el análisis de los parámetros microbiológicos para evaluar la calidad de un afluente, ya sea para consumo humano, para la vida acuática y silvestre o para cualquier actividad que se disponga el uso del agua ya que estos patógenos causan enfermedades disminuyendo la calidad de vida de los seres vivos.

Se analizó *Giardia* debido a que es un patógeno muy común en animales, como el caballo, ovejas, conejos y venados (Sheets/CFSPH, 2012). Su presencia en el agua hubiera sido un

indicador de que los animales en el Parque Nacional Antisana tienen Giardiasis. No obstante, no se encontró presencia del microorganismo en el afluente.

3.1.17 Análisis microbiológico de la unión de las microcuencas I y J.

Los análisis microbiológicos se realizaron con una empresa especialista y certificada llamada LABOLAB, la cual remitió los informes de laboratorio con resultados favorables en cuanto a coliformes fecales y *Giardia* como se observa en las tablas 12 y 13, mostradas a continuación, en las cuales cabe destacar que hay ausencia en ambos parámetros analizados.

Tabla 12. Resultados del análisis de coliformes fecales en el punto I; J

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Valor de referencia INEN 1108
Recuento de coliformes	ufc/100ml	PEEMi/La19 Standard Methodos 9222 D	<1	Ausencia

Tabla 13. Resultado de los análisis de *Giardia* en el punto I; J

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Valor de referencia INEN 1108
Investigación de <i>Giardia</i> <i>Lambli</i>	Microscopio	Ausencia	Ausencia

3.1.18 Caudal

A continuación, en la tabla 14 se muestran los resultados del caudal en cada microcuenca.

Tabla 14. Resultados obtenidos en la medición del caudal

Datos	Unidades	Canal Abierto (I)	Tubería (J)	Canal Abierto (I; J)
Ancho	m	0.8	0.45	0.8
Calado	m	0.16	0.15	0.13
Área	m ²	0.128	0.15	0.104
Velocidad	m/s	0.4	0.5	0.6
Caudal	m ³ /s	0.05	0.08	0.06
	l/s	51.2	79.5	62.4

Las microcuencas I, J dan un aporte de 62.4 l/s a la quebrada de Moyas lo que dispone una gran cantidad de agua debido a que el caudal medio de la quebrada varía entre 150 l/s y 200 l/s, esto según los Guardaparques del lugar, lo cual no se puede corroborar debido a que no existe información técnica del estado de la quebrada de Moyas y ya que es un área restringida para personas externas a la reserva, fue imposible el acceso.

3.1.19 Caudal ecológico en las microcuencas I, J

Para evitar la desertificación de los suelos es importante el recurso hídrico y más aún cuando es un ecosistema tan vulnerable a los cambios como es el páramo. Debido a las alteraciones humanas y la necesidad de proveer agua a los poblados, las zonas aledañas a las captaciones donde se extrae la totalidad de su caudal sufren la desertificación de los suelos y en consecuencia pérdida de flora y fauna que se encuentra en el lugar. (Rosero, 2011)

Cuando se realizó la primera visita a las microcuencas, se captaba el 100 % del caudal de la microcuenca J, pero para “compensar” la cantidad de agua que debía ir al páramo, se dejó de captar la microcuenca I. Como se observa en la Figura 31. Captación de la microcuenca J, sin caudal ecológico

Esto puede causar un desequilibrio en la zona donde la totalidad del recurso hídrico es captado, desertificando el suelo poco a poco.



Figura 31. Captación de la microcuenca J, sin caudal ecológico

La ley orgánica de recursos hídricos y aprovechamiento del agua prohíbe la captación del volumen total de agua en un afluente y recomienda no captar un mínimo del 10 % del total del caudal, para evitar un daño irreversible al ecosistema. En caso de la microcuenca J no se estaba cumpliendo con el mínimo requerido para prevenir un perjuicio al ecosistema que rodea esta microcuenca, por lo que se calculó un caudal ecológico teórico como se muestra en la tabla 15.

Para el cálculo del caudal ecológico se tomó como referencia el porcentaje mínimo de 10% establecido por Ley Orgánica de Recursos Hídricos (Secretaría del Agua, 2014). Como muestra la Tabla 15 Resultados de los caudales ecológicos para cada microcuenca, dichos valores deberían ser los ideales para cumplir con la normativa, pero en el caso de la captación de la microcuenca J no se estaba cumpliendo. Mientras tanto las afectaciones que causa el dejar solo el 10% del total en la unión de las dos microcuencas se ve evidenciada en la cantidad de agua que llega a la cascada Pumapakcha, la cual es hábitat de aves en peligro de extinción, que causa un desbalance natural.

Tabla 15 Resultados de los caudales ecológicos para cada microcuenca

Caudal ecológico			
Microcuencas	I	J	Punto de Unión (PI; J)
Caudales aforados (l/s)	51.20	79.52	130.72
Caudal ecológico al 10% de Q (l/s)	5.12	7.95	13.07

Es importante realizar un estudio del impacto de no proveer un caudal ecológico en las zonas de captación, en especial en épocas de sequía. Además, poner a colación el efecto que puede causar en las aves del lugar en especial las bandurrias que son una especie en peligro de extinción y que habita en los lugares cercanos a estas captaciones, se necesita una gran cantidad de agua para poder mantener su población.

3.2 Determinar la calidad de las microcuencas mediante el ICA (NSF).

A continuación, se presenta la ecuación 3.1 con la que se calculó el ICA de las microcuencas I, J y IJ:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 3.1 Fórmula para el cálculo del ICA

- ICA : Índice de calidad del agua
- I_i : Índice de calidad del parámetro i
- W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i
- n : Número total de parámetros

3.2.1 Índice de calidad del agua ICA de cada parámetro analizado.

Usando la Ecuación 3.1 para cada una de las microcuencas se obtiene como resultado el ICA individual para cada fuente hídrica:

Se puede observar en el Anexo 2 como se obtuvo el índice de calidad del agua de cada parámetro de forma individual, con su respectiva fórmula para la obtención y los coeficientes de importancia y el ICA global.

De acuerdo con la Figura 32. Rango de clasificación del ICA de acuerdo con el criterio general con los valores generales obtenidos, se determinó los valores mostrados en la Tabla 16. ICA microcuencas.

ICA	CRITERIO GENERAL
85 - 100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 - 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

Figura 32. Rango de clasificación del ICA de acuerdo con el criterio general

Tabla 16. ICA microcuencas

MICROCUENCAS	
ICA microcuenca I = 95.6	Para la microcuenca I se obtuvo un valor del 95.6, como muestra la Figura 32. Rango de clasificación del ICA de acuerdo con el criterio general, que de acuerdo con la tabla de ponderación cumple para agua no contaminada.
ICA microcuenca J = 93.4	Para la microcuenca J se obtuvo un valor de 93.4 que al igual que el ICA anterior cumple con la tabla de ponderación para agua no contaminada.
ICA microcuenca IJ = 91	Para la microcuenca IJ como era de esperarse por los valores anteriores se obtuvo un valor de 91.2 que al igual que los índices de calidad de agua de las microcuencas I y J cumple con la tabla de ponderación para agua no contaminada.

Con los resultados obtenidos, es posible decir que el agua en los afluentes I, J es plausible para la vida acuática y silvestre, además posee un índice de calidad de agua sobre los 90 puntos, haciéndola ideal para la conservación de vida acuática y silvestre. No obstante, parámetros que no se toma en cuenta para este cálculo del ICA como la alcalinidad, hierro y nitritos podrían afectar la conducción del agua, pero con simples tratamientos como la de un filtro y un mantenimiento adecuado de las estructuras hidráulicas, se podría mitigar, la

abrasión en las tuberías y la proliferación de algas que pueden afectar al oxígeno disuelto en el agua.

3.3 Redactar una memoria técnica como documento donde se establezcan los métodos más adecuados para la mitigación de los contaminantes en las microcuencas I, y J

3.3.1 Memoria técnica.

Se elaboró la memoria técnica tomando en consideración las personas a las que se iba a socializar, es decir los guardaparques, por esta razón se manejó un lenguaje más coloquial y menos técnico. En la memoria técnica se expusieron los resultados más relevantes de la evaluación de calidad de agua en las microcuencas I, J y IJ, poniendo a consideración todo el proceso vivido para lograr los resultados obtenidos y explicando a detalle causas de contaminantes presentes en el agua.

Además, se imprimió un documento entregable como garantía de que el proyecto tiene la calidad requerida y que puede ser utilizado a conveniencia de los guardaparques. Es posible observar el documento escrito en el anexo 3 al final del documento.

3.3.2 Socialización de la memoria técnica con los guardaparques.

En la Figura 33. Socialización con los guardaparques se puede observar cómo se llevó a cabo la socialización de la memoria técnica y los resultados que se obtuvieron en el proyecto de titulación con los guardaparques y el Ingeniero Augusto Granda.



Figura 33. Socialización con los guardaparques

Se expuso a 4 guardaparques y al ingeniero a cargo donde se mostraron los resultados relevantes en cuanto a las microcuencas I, J y IJ y se puso a discusión las mismas Figura 34. Discusión de resultados con los guardaparques . Ellos hicieron alusión a que este estudio era muy importante para el parque nacional para presentar los resultados de calidad a sus superiores y colaboradores en la reserva, añadieron también que sería factible un convenio con la universidad para realizar estudios de otras microcuencas y con frecuencia para ellos poder monitorear el agua de mejor forma y mantener la calidad de las fuentes hídricas.



Figura 34. Discusión de resultados con los guardaparques

Se cerró la exposición con preguntas por parte de los asistentes que quedaron satisfechos con el trabajo realizado.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La ausencia de microorganismos como *Giardia* y Coliformes fecales en las dos microcuencas, se debe a la inexistencia de ganado vacuno y ovino en el Parque Nacional Antisana. Debido a que en tiempo pasado existía sobrepoblación de este tipo de especies que generaba un aumento de contaminación patógena.
- Según el libro VI de la normativa TULSMA anexo 1 libro VI tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, determina que el agua analizada podría ser utilizada para consumo humano previo a un tratamiento convencional, ya que la mayoría de los parámetros cumplen con los máximos permisibles establecidos en la norma.
- Las microcuencas I, J poseen un índice de calidad de agua sobre los 90 puntos, evidenciando que los páramos forman parte de un sistema natural de abastecimiento de agua cruda de excelente calidad, lo que intensifica la importancia del cuidado de estas ya sea para mantener la flora y la fauna endémica del lugar, así como recuperar zonas dañadas por los incendios forestales o las actividades antrópicas.
- La socialización con los guardaparques del Antisana demostró que es necesario realizar estudios permanentes de calidad de agua en los ríos y microcuencas de la reserva, para evidenciar el progreso de las acciones de control y recuperación que se realizaron o se van a plantear en el futuro en el páramo, debido a que la calidad de agua está directamente relacionada con el desarrollo de los ecosistemas.

4.2 Recomendaciones

- Para tener una visión global del estado de los afluentes en el Parque Nacional Antisana, se aconseja realizar análisis de calidad de agua en los principales ríos como, Sarpache, Alambrado y el Antisana, esto para corroborar zonas donde exista mayor contaminación y poder enfocar los recursos en la recuperación de estos.
- Es necesario realizar un mantenimiento de las estructuras hidráulicas periódicamente, para evitar la acumulación de minerales o contaminantes que puedan afectar a la calidad de agua de las microcuencas.
- Se aconseja dar un seguimiento exhaustivo a las zonas aledañas a las microcuencas I, J. Para identificar posibles daños que puede provocar la falta de un caudal ecológico en distintos periodos de tiempo.
- Se recomienda analizar los efectos de los minerales como el cromo, dureza total, hierro y magnesio en las tuberías de captación de las microcuencas. Debido a que su acumulación podría causar un desgaste del sistema, provocando roturas u otros efectos hidráulicos que pueden generar una disminución en la calidad del agua.
- Se recomienda realizar estudios en otras épocas del año con el fin de corroborar la calidad del agua de las microcuencas I,J, a más de un monitoreo con macroinvertebrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez Cobelas, Miguel, and Tomás Gallardo García. 1989. "Una Revisión Sobre La Biotecnología de Las Algas." *Una Revisión Sobre La Biotecnología de Las Algas* 15(15):9–60. doi: 10.5209/BOCM.7403.
- Alvarez Cobelas, Miguel, and Tomás Gallardo García. 1989. "Una Revisión Sobre La Biotecnología de Las Algas." *Una Revisión Sobre La Biotecnología de Las Algas* 15(15):9–60. doi: 10.5209/BOCM.7403.
- EMAPS. 2020. "La Mica-Quito Sur." Retrieved (<https://www.aguaquito.gob.ec/la-mica-quito-sur/>).
- Guevara, Diana. 2010. "Biorremoción De Cromo (Cromo Total Y Cromo Vi) En Agua Sintética Por Dos Inóculos Bacterianos Nativos Compuestos , a Escala De Laboratorio." Escuela Politécnica Del Ejército (Previa a la obtención del Título de Ingeniera en Biotecnología).
- Ing Chirinos. 2015. "Importancia Del Páramo." <https://www.importancia.cc/paramo/>. Retrieved August 19, 2021 (<https://www.importancia.cc/paramo/>).
- Interfacultades, Posgrado. 2017. "Detección y Caracterización Molecular de Los Parásitos de Interés En Salud Pública: *Giardia Duodenalis*, *Cryptosporidium* Spp., *Cyclospora Cayetanensis*, *Toxoplasma Gondii* y *Entamoeba Histolytica*, En Agua Cruda y Tratada de Cuatro Plantas Potabilizadoras Del."
- Lands Care. 2017. "R.E Antisana." Retrieved (<https://www.landscare.org/paraje/re-antisana>).
- Mancheno D, Gabriela, and Christian Ramos R. 2015. "Evaluación De La Calidad Del Agua En La Quebrada Huarmiyacu Del Cantón Urcuquí, Provincia De Imbabura Para El Prediseño De La Planta De Potabilización De Agua Para Consumo Humano De Las Poblaciones De San Blas Y Urcuquí." 245.
- Ministerio del Ambiente y Agua. 2015. "Antisana." 1. Retrieved (<http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-ecologica-antisana>).
- PAREDES CEVALLOS, HOLGER ISRAEL, and YESENIALIZBETH MOLINA MIER. 2020. "Evaluación De La Calidad Del Agua Provista Por La Junta Administradora De Agua Potable Del Barrio Ascilla Bajo De La Parroquia San José De Minas."
- Paredes J. 2017. "Importancia Del Agua." *Minsa.Gob.Pa* 1–7.
- Pérez López, Esteban. 2016. "Quality Control of Water for Human Consumption in the Region of the West in Costa Rica." *Tecnología En Marcha* 29:3–14.
- Rivadeneira López, T. 1997. Cap4: La Reserva Ecológica Antisana.
- Romero Rojas, Jairo Alberto. 2009. *Calidad Del Agua*. Escuela Co. Bogotá.

Rosero, D. (2011). Estudio sobre Caudales Ecológicos.

Sandoval, Jurado, Joselyn Patricia, Jara Anquise, Jesús Stephan, Toscano Salazar, and Ruth Tabita. 2014. "Estudio Comparativo de La Eficiencia Del Fosfato En Las Tuberías Galvanizadas y PVC Para El Ablandamiento Del Agua Subterránea." *Revista de Investigación Universitaria* 3(2):67–73.

Sheets/CFSPH, Technical Fact. 2012. "*Giardiasis Giardiasis*." (December):1–13.

Sierra Ramírez, Carlos Alberto. 2011. *Calidad Del Agua: Evaluación y Diagnostico*. Ediciones. Medellín.

TULSMA. 2015. "Libro VI, TULSMA Libro VI de La Calidad Ambiental, Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Ecuador."

ANEXOS

ANEXO 1: PLAN DE MUESTREO

ANEXO 2: CÁLCULO DEL ICA

Tabla 17. Cálculo del ICA

Parámetros	Valores calculados			Ecuaciones	Coeficientes	I	J	J
	I	J	I; J					
Alcalinidad	52,6	53,6	53,9	$IA=105(A)^{-0,186}$	1	52,6	53,6	53,9
Coliformes fecales	100,0	100,0	100,0	$I_{EC} = 97,5 [5 (CF)]^{-0,27}$	4	400,0	400,0	400,0
Color	39,0	51,6	39,3	$I_C = 123(C)^{-0,295}$	1	39,0	51,6	39,3
Conductividad	100,0	100,0	100,0	$I_{CE} = 540 (CE)^{-0,379}$	2	200,0	200,0	200,0
DBO	100,0	100,0	100,0	$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0,673}$	5	500,0	500,0	500,0
Dureza Total	87,6	89,4	86,2	$I_{DT} = 10^{1,974 - 0,00174(DT)}$	1	87,6	89,4	86,2
Fosfatos	100,0	100,0	100,0	$I_{PO4} = 34,215 (PO4)^{-0,46}$	2	200,0	200,0	200,0
<i>Giardia</i>	100,0	100,0	100,0	$I_{Gi} = 97,5 (Gi)^{-0,27}$	3	300,0	300,0	300,0
Nitratos	100,0	100,0	82,4	$I_{N-NO3} = 162,2 (N-NO3)^{-0,343}$	2	200,0	200,0	164,8
Oxígeno Disuelto	98,4	83,1	79,8	$I_{OD} = OD/(OD_{sat}) * 100$	5	492,1	415,3	399,0
Potencial hidrógeno	100,0	100,0	100,0	$I_{pH} = 10^{0,2335pH+0,44}$	1	100,0	100,0	100,0
Sólidos disueltos	100,0	100,0	100,0	$ISD = 109,1 - 0,0175(SD)$	0,5	50,0	50,0	50,0
Sólidos suspendidos	100,0	100,0	100,0	$266,5 (SS)^{-0,37}$	1	100,0	100,0	100,0
Turbidez	100,0	100,0	100,0	$I_T = 108(T)^{-0,178}$	0,5	50,0	50,0	50,0
Total					29	2771,4	2710,0	2643,2
Resultado						95,6	93,4	91,1

ANEXO 3: MEMORIA TÉCNICA

Memoria Técnica
"Calidad de agua en las
microcuencas I y J del Parque
Nacional Antisana"

CERVANTES.J.-COBA.J.



Parque Nacional
Antisana

Antecedentes

El Parque Nacional Antisana forma parte de las reservas naturales del Ecuador desde 1993, con una extensión de 120 000 hectáreas, en las cuales se encuentran bosques andinos, paramos, glaciales y un volcán con el mismo nombre (Ministerio del Ambiente, 2015). Además, contribuye al abastecimiento de agua del sector Sur de la ciudad de Quito en 90% (EMAPS, 2020), también varias de sus microcuencas se captan para la distribución de agua potable en distintos sectores.

En este documento se redactará el proceso y los resultados del análisis de calidad de agua de las microcuencas I y J, para conocer sus características, además de brindar posibles soluciones y recomendaciones para mantener a estos afluentes fuera de contaminantes que puedan afectar a la vida acuática y silvestre que existe en el lugar.

Se realizó el seguimiento de la calidad del agua en estas microcuencas mediante un proceso meticuloso de toma de muestras y análisis de las mismas para determinar el estado actual en cuanto a calidad del agua y contaminantes agresivos para la fauna y flora silvestre.

Una vez determinada la calidad de agua mediante una comparación de la normativa vigente y el cálculo del índice de calidad de agua, se propusieron soluciones eficientes para la conservación de la calidad de las fuentes hídricas.



CONTENIDO

ÍNDICE

01.

PORTADA

02.

ANTECEDENTES

03.

CONTENIDO

04.

INTRODUCCIÓN

05-11.

METODOLOGÍA

12-15.

RESULTADOS

16.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

17. BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Las microcuencas I y J del parque nacional Antisana tienen como punto final la quebrada MOYAS que a su vez desemboca en la laguna "la Mica" la cual abastece de agua potable a la ciudad de Quito previo tratamiento de potabilización, sin embargo, es importante realizar el análisis de estas microcuencas ya que a pesar de no abastecer agua de consumo humano directamente esta agua sirve para el consumo de la vida silvestre de la zona y el desarrollo de la fauna, la cual debe ser preservada bajo estándares de calidad para salvaguardar las especies nativas de la zona.

Para ello se planteó el análisis de calidad del agua mediante la toma y análisis de muestras in situ y laboratorio, de 19 parámetros que se consideran importantes de acuerdo a la situación actual de las fuentes hídricas y a la ubicación geográfica de las mismas, todo esto basándonos en la normativa establecida en el TULSMA, Acuerdo Ministerial 097 del 2015. Tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Las tomas de muestra se realizaron en 3 puntos de la conducción de agua que desemboca en la laguna "La Mica", los puntos fueron; en la microcuenca I, en la microcuenca J y en la unión de las microcuencas I y J.



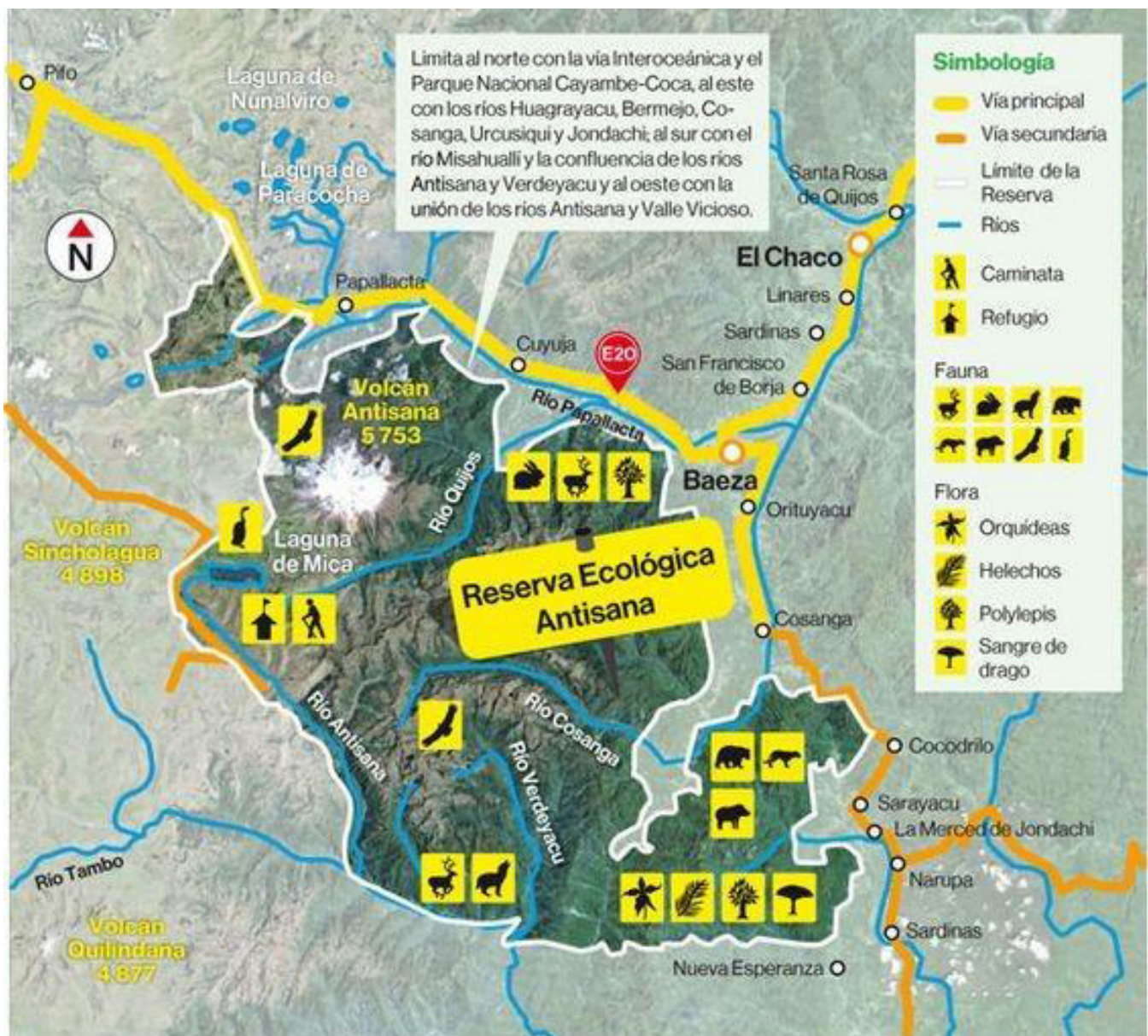
PARQUE NACIONAL ANTISANA



METODOLOGÍA

Ubicación geográfica del Parque Nacional Antisana

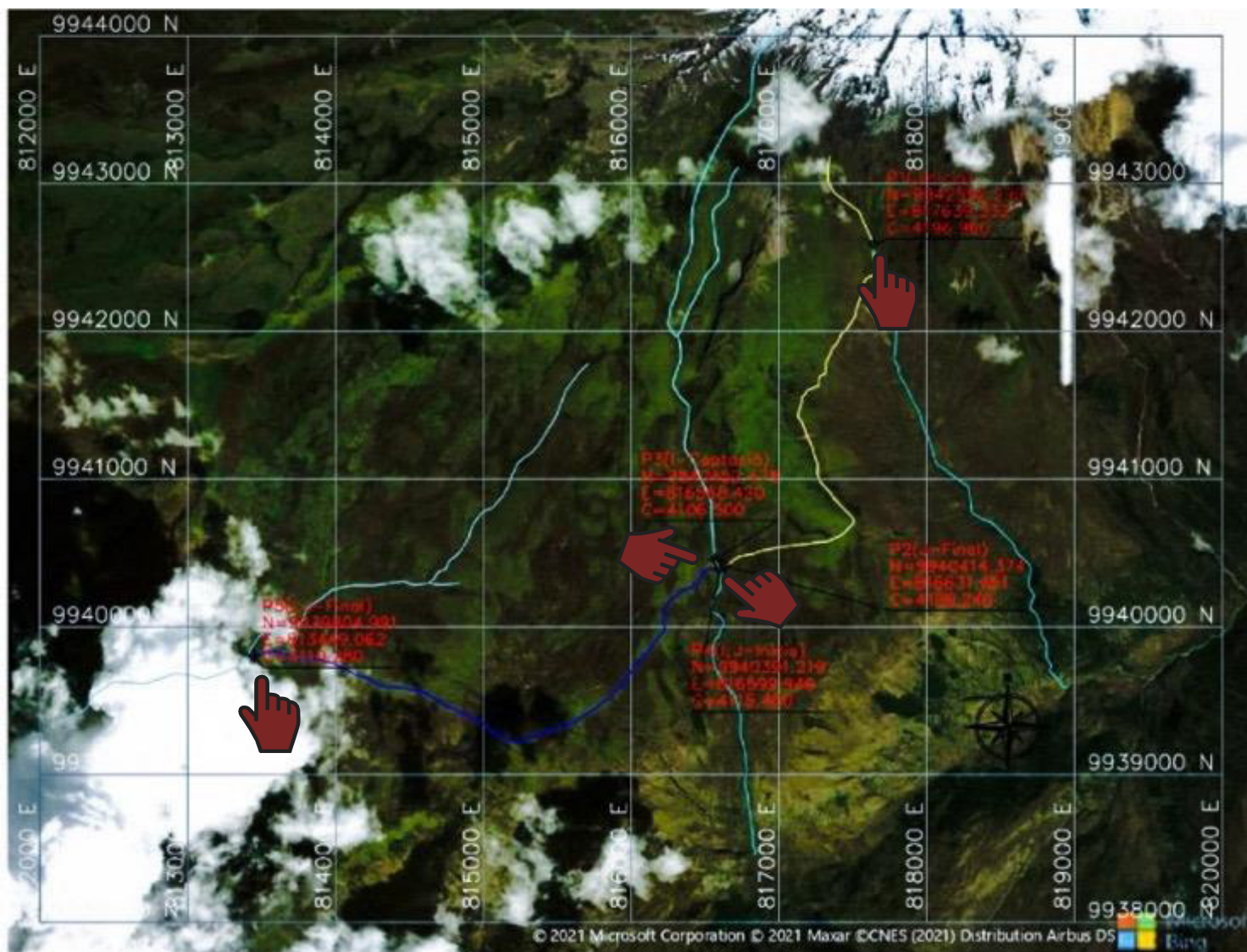
La reserva ecológica Antisana se encuentra ubicada en la provincia de Napo, Ecuador. A 100 km de la ciudad de Quito. El volcán Antisana considerada la cuarta montaña más alta de Ecuador, con 5,753 metros de altura, con gran variedad de flora y fauna únicas.



METODOLOGÍA

Ubicación de las microcuencas I y J

Están ubicadas al sur occidente del nevado Antisana. La microcuenca J es la más cercana al volcán, tiene una longitud aproximada de 3.9 kilómetros y al unirse con el afluente I se unen en un tramo de 3.89 kilómetros para desembocar en la quebrada de "Moyas" y posteriormente desembocar en la laguna "La Mica"



MICROCUCNCA I
4.0KM

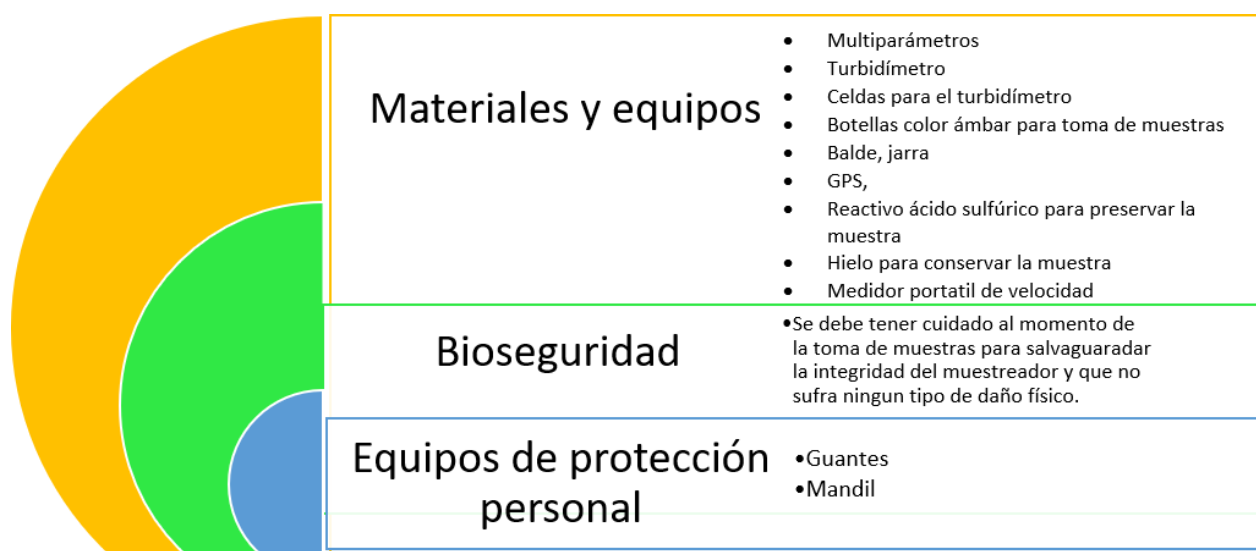
MICROCUCNCA J 3.9
KM

MICROCUCNCA I;J 3.89
KM

METODOLOGÍA

Toma de muestras

Se realizaron 3 tomas de muestras en las fechas 05 de Julio, 26 de Julio y el 31 de agosto donde se tomó en consideración un plan de muestreo previamente realizado en el cual se detalla el lugar geográfico de muestra, el tipo de muestra, número de muestras, análisis in situ y análisis de laboratorio además de los siguientes aspectos:



Los criterios para escoger los parámetros a analizar fueron: la ubicación, posibles características del agua y su uso.

Debido a ello, se tomaron en cuenta los siguientes análisis:

Parámetros analizados			
Turbidez	DQO	Fosfatos	Conductividad
Color real	Dureza Cálcica	Hierro	Oxígeno disuelto
Cromo	Dureza total	Manganeso	pH
Nitratos	Nitritos	Sólidos Totales	Salinidad
Sulfatos	Giardia	Coliformes fecales	

METODOLOGÍA

Medición del caudal

Es importante conocer el caudal que aporta las microcuencas I, J en el abastecimiento de la laguna “La Mica”. Para ello se utilizó un medidor de velocidad portátil, que juntamente con la medición de las dimensiones de los canales, se procedió a encontrar los caudales de aporte.



Parámetro	Unidades	I	J	I; J
Caudal	m ³ /s	0,05	0,08	0,06
	l/s	51,2	79,5	62,4

Los caudales que se obtuvieron se muestran en la tabla anterior, cabe destacar que al momento de la medición de los caudales se estaba captando en su totalidad la microcuenca J y parcialmente el afluente I. Causando que la zona donde se encuentra la microcuenca J no cuente con un caudal ecológico, que es lo más recomendado para mantener el ecosistema saludable.

METODOLOGÍA

4.3.2 Parámetros In situ

Existen parámetros que son necesarios medirlos in situ como son el p H, el oxígeno disuelto, conductividad, la turbidez y la temperatura. Para ello utilizamos un multiparámetro y un turbidímetro, aparatos portátiles que ayudan a conocer el estado de los afluentes de forma inmediata.



METODOLOGÍA

Análisis en laboratorio

Para obtener todos los datos requeridos para la caracterización del agua, es necesario incluir análisis de laboratorio debido a que muchos de los parámetros a analizar requieren distintos métodos de análisis. Por ello es importante la conservación de la muestra para mantener las propiedades del agua y ser lo más precisos posibles al momento de obtener los resultados.



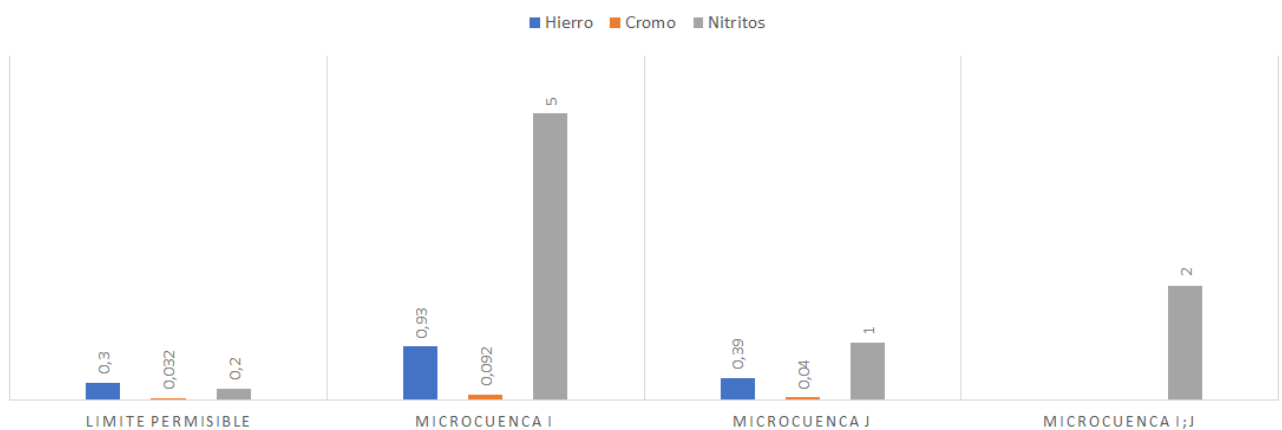
En el laboratorio se realizaron 12 análisis con las debidas medidas de bioseguridad.

Los análisis microbiológicos de coliformes fecales y Giardia para detectar patógenos en el agua se realizaron en un laboratorio certificado de nombre LABOLAB.

RESULTADOS

Los resultados encontrados en las microcuencas I, J y su unión (I; J) fueron favorables a excepción de los mostrados en la tabla a continuación esto según el libro VI del TULSMA anexo 1 tabla 3 que describen los criterios admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios”

LIMITES PERMISIBLES VS RESULTADOS DE LAS MICROCUENCAS (PPM)



En la figura, la mayoría de los parámetros que se encuentran fuera de norma no varían mucho de acuerdo al límite permisible, con la excepción de los nitritos que tienen una variación de hasta 4.8 partes por millón.

RESULTADOS

Cromo. - el excedente de cromo puede deberse a los minerales de las rocas que pasan por la microcuenca I como se observar en las imágenes ya que en las obras de captación de agua existen rocas de color naranja.

Hierro. – De igual manera que ocurre con el cromo, pasa con el hierro ya que tienen una relación similar con la disolución de las rocas y los minerales donde está contenido este elemento y es conducido con el agua.

Nitritos. – La presencia de nitritos presentes en el agua cruda de la microcuenca I puede deberse a la fauna silvestre que ronda por el lugar y que deposita sus excrementos cerca de las captaciones de agua, debido a que la fauna no es abundante no existe un exceso significativo que no pueda ser tratado.



Como se observa en las fotos de las microcuencas I, J y su unión I;J el exceso de cromo, hierro se debe al excedente de minerales en las rocas y nitritos por la fauna aledaña a las fuentes hídricas.

RESULTADOS

Análisis microbiológicos

Los análisis de Giardia y coliformes fecales también fueron favorables ya que no hay presencia de estos patógenos en el recurso hídrico tomando como referencia la normativa INEN 1108.



ICA índice de calidad del agua

Se realizó el cálculo del ICA conforme a los resultados de los parámetros analizados en el sitio de la toma de muestra y los de laboratorio con la siguiente fórmula:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

ICA = índice de calidad del agua global

I_i = índice de calidad para el parámetro i

W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

La fórmula toma en cuenta el valor unitario de cada parámetro multiplicado por un coeficiente de ponderación que es el que le da la importancia y la sumatoria de estos da como resultado una única expresión.

RESULTADOS

De acuerdo a la tabla de ponderación del ICA en escala de agua altamente contaminada hasta agua no contaminada:



85 – 100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

Se obtuvo los siguientes resultados:

	ICA	Estado del agua
Microcuenca I	95,56	No contaminado
Microcuenca J	93,44	No contaminado
Microcuenca I;J	91,14	No contaminado



Se determinó que la calidad de agua en las microcuencas I, J y su unión I;J es muy buena ya que cumple con la mayoría de parámetros establecidos en la normativa TULSMA anexo 1 ~~lo~~ VI tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios a excepción del hierro, cromo y nitritos que se pueden tratar mediante filtros que contengan carbono activado.

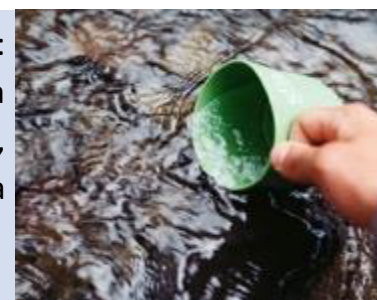
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

Y



La ausencia de microorganismos como giardia y coliforme fecales en las dos microcuencas, se debe a la inexistencia de ganado vacuno y ovino en el Parque Nacional Antisana. Debido a que en tiempo pasado existía sobrepoblación de este tipo de especies que generaba un aumento de contaminación patógena.

Según el libro VI de la normativa TULSMA anexo 1 libro VI tabla 2: Criterios de calidad admisibles para lapreservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, determina que el agua analizada podría ser utilizada para consumo humano previo tratamiento primario.



Las microcuencas I, J poseen un índice de calidad de agua sobre los 90 puntos, evidenciando que los páramos forman parte de un sistema natural de abastecimiento de agua cruda de excelente calidad, lo que intensifica la importancia del cuidado de estas. Ya se para mantener la flora y la fauna endémica del lugar, así como recuperar zonas dañadas por los incendios forestales o las actividades antrópicas.

Se recomienda dar un seguimiento exhaustivo a las zonas aledañas a las microcuencas I, J. Para identificar posibles daños que puede provocar la falta de un caudal ecológico en distintos periodos de tiempo.



Se recomienda analizar los efectos de los minerales como el cromo, dureza total, hierro y magnesio en las tuberías de captación de las microcuencas. Debido a que su acumulación podría causar un desgaste del sistema, provocando roturas u otros efectos hidráulicos que pueden generar una disminución en la calidad del agua.



BIBLIOGRAFÍA

Libro IV. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente ANEXO-1. (2015).

CHRISTIAN EDUARDO VALENCIA ESPINOZA. (2021). Hierro. In

CHRISTIAN EDUARDO VALENCIA ESPINOZA. Retrieved September 8, 2021,

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>

Lands Care. (2017). R. E

Antisana. <https://www.landscare.org/paraje/re-antisana>

Leon Vizacaino Luis F. (2018). ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA, FORMA DE ESTIMARLOS

Y APLICACIÓN EN LA CUENCA LERMA.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA>

%20 Forma% 20 de% 20 estimarlos. pdf

Ministerio del Ambiente y Agua. (2015).

Antisana. [http://areasprotegidas. ambiente. gob. ec/es/areas-](http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-)

[protegidas/reserva-ecológica-antisana](http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-)

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2013). INEN (1st ed.).

Paredes J. (2017). Importancia del agua. In Minsa. Gob. Pa (pp. 1–7). [https://encolombia. com/medio-ambiente/interes- a/importancia- del- agua/](https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/importancia-del-agua/)

Sierra Ramírez, C. A. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico (Ediciones).

Torres Patricia, Patiño Paola, & Cruz Camilo Hernan. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA.