



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Determinación de la calidad del agua mediante medios químicos y biológicos de contaminación en el río Ambi, ciudad de Atuntaqui en la provincia de Imbabura.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LINEA 04: GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS  
NATURALES

AUTOR/A: Carvajal Carabalí Karen Geovanna

ASESOR/A: Ph.D. Rubén del Toro Deniz

IBARRA, SEPTIEMBRE - 2022



## CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, 25 de agosto del 2022

Ph.D. Rubén del Toro

ASESOR

### **CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias agrícolas y ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:) .....

PhD. Rubén del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1



## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f): .....

PhD. Rubén del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1

(f): .....

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.:1001743721

(f): .....

MSc Lennys Berutti

C.C.: 1757289986



## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Karen Geovanna Carvajal Carabalí declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 25 de agosto del 2022

f):

Karen Geovanna Carvajal Carabalí

C.C.: 100502767-5



## AUTORÍA

Yo, Karen Geovanna Carvajal Carabalí, portador de la cédula de ciudadanía N° 1005027675 declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del (los) autor (es), y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Karen Geovanna Carvajal Carabalí', is shown within a rectangular frame. The signature is written in a cursive style.

f):

Karen Geovanna Carvajal Carabalí

C.C.: 100502767-5



## DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo: Karen Geovanna Carvajal Carabalí, con CC: 100502767-5, autor del trabajo de grado intitulado: “Determinación de la calidad del agua mediante medios químicos y biológicos de contaminación en el río Ambi, ciudad de Atuntaqui en la provincia de Imbabura”, previo a la obtención del título profesional de (“Ingeniera en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo”), en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA)

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 25 de agosto del 2022

(f.)

Karen Geovanna Carvajal Carabalí

C.C. 100502767-5



## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de titulación se lo dedico con mucho amor a todas las personas quienes estuvieron en este largo camino apoyándome y dándome fuerzas para no decaer y seguir adelante y de esta manera cumplir con una de mis metas más anheladas como es conseguir mi título profesional.

A mis padres Narciza Carabalí y Wilson Carvajal quienes han sido el pilar fundamental a lo largo de mi vida, por sus valores inculcados para que sea una persona de bien, por todo su amor, su entrega, paciencia y apoyo en toda mi carrera universitaria.

A mi hermano Fernando por brindarme siempre su cariño y amor, por todos sus consejos y apoyo para cumplir mis metas.

A mi abuelito Juanito y abuelita Toita quienes desde pequeña me brindaron su amor y consejos; y resto de familia quienes estuvieron pendientes y me dieron ánimos para progresar.

*Karen Carvajal*



## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por ser mi luz, por estar en todo momento conmigo e iluminarme para poder tomar buenas decisiones a lo largo de mi vida personal y estudiantil.

Agradezco de manera infinita a mis padres por todo su esfuerzo y entrega, por ser ese ejemplo de lucha y superación. Por hacer todo lo posible para cumplir con una de mis metas tan anheladas y ayudarme a superar cada uno de los obstáculos presentados. Gracias por confiar en mí y por enseñarme desde pequeña valores para que a lo largo de mi vida sea una mujer de bien.

Gracias a mi hermano, abuelitos, tíos y primos por ese apoyo incondicional para conmigo en toda ésta maravillosa etapa.

Quiero también agradecer a mis amigos por ser incondicionales, por brindarme su amistad sincera y desinteresada, por todos esos gratos momentos vividos y por todo su apoyo a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A mi asesor de tesis, el Doctor Rubén del Toro por toda su buena predisposición, tiempo y paciencia, a todos los maestros de la carrera por ser nuestros mejores guías profesionales con sus enseñanzas, conocimientos y valores.

*Karen Carvajal*

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>16</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>18</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	18
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>20</b>
2.1 OBJETIVOS.....	20
2.1.1    Objetivo General.....	20
2.1.2    Objetivos Específicos .....	20
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>21</b>
3.1 ESTADO DEL ARTE .....	21
3.1.1    El agua .....	21
3.1.2    Agua cruda.....	22
3.1.3    Agua de los ríos .....	22
3.1.4    Cuencas hidrográficas.....	22
3.1.5    Calidad del agua .....	23
3.1.6    Evaluación de la calidad de agua.....	24
3.1.7    Indicadores físico - químicos y microbiológicos.....	24
3.1.8    Índices de calidad del agua.....	25
3.2 DESIGNACIONES DEL USO DE AGUA.....	26
3.2.1    Designaciones de uso como abastecimiento de agua .....	26
3.2.2    Designaciones de usos para actividades recreativas .....	26
3.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	27

3.3.1	<i>Macroinvertebrados</i> .....	27
3.3.2	Macroinvertebrados como Indicadores de Calidad de Agua.....	28
3.4	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN.....	29
3.4.1	Criterios para el Control de la contaminación .....	29
3.5	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA.....	30
3.5.1	Color .....	30
3.5.2	Olor y sabor .....	30
3.5.3	Aspectos fisicoquímicos del agua.....	31
3.5.4	Turbidez.....	32
3.5.5	Temperatura .....	32
3.5.6	Sólidos disueltos totales.....	33
3.5.7	Potencial de hidrogeno (pH).....	34
3.5.8	Dureza.....	35
3.5.9	Alcalinidad.....	36
3.5.10	Conductividad.....	37
3.5.11	DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno).....	37
3.5.12	DQO (Demanda Química de Oxígeno) .....	38
3.5.13	OD (Oxígeno Disuelto).....	38
3.5.14	Grasas y Aceites (GyA).....	39
3.6	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA:.....	39
3.6.1	Bacterias .....	39
3.6.2	Levadura y Mohos .....	40
3.6.3	Hongos.....	41
3.6.4	Helmintos.....	41

3.6.5	Coliformes .....	42
3.7	MARCO LEGAL.....	43
	<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>45</b>
4.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
4.1.1	Ubicación .....	45
4.2	MATERIALES.....	47
4.3	EQUIPOS .....	47
4.4	REACTIVOS.....	47
4.5	MÉTODOS.....	48
4.5.1	Análisis químico .....	48
4.5.2	DBO - 8043.....	48
4.5.3	DQO - 8000 .....	49
4.5.4	Sólidos totales disueltos - .....	49
4.5.5	Potencial de Hidrogeno pH - .....	50
4.5.6	Turbidez -.....	50
4.5.7	Nitratos - .....	50
4.5.8	Fosfatos - .....	51
4.6	Análisis biológico .....	51
	<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>53</b>
5.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	53
5.2	ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE AGUA.....	53
5.2.1	pH .....	53
5.2.2	Potasio.....	55
5.2.3	Nitritos .....	57

5.2.4	Nitratos .....	59
5.2.5	Sólidos totales disueltos.....	61
5.2.6	Demanda Química de Oxígeno.....	63
5.2.7	Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	65
5.2.8	Turbidez.....	67
5.2.9	Fosfatos.....	69
5.3	ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL AGUA.....	72
5.4	SOCIALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	82
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>83</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	83
6.2	RECOMENDACIONES.....	84
6.3	BIBLIOGRAFÍA .....	85
6.4	ANEXOS .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** *Clasificación del agua según el grado de dureza .* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 2** *Coordenadas de los puntos de muestreo* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 3** *Valores de pH obtenidos en los tres puntos de muestreo* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 4** *Análisis estadístico del pH* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 5** *Valores de concentración de potasio obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 6** *Análisis estadístico del potasio* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 7** *Valores de concentración de nitritos obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 8** *Análisis estadístico de los nitritos* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 9** *Valores de concentración de nitratos obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 10** *Análisis estadístico de los nitratos* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 11** *Valores de concentración de sólidos totales disueltos obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 12** *Análisis estadístico de los sólidos totales disueltos* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 13** *Valores de DQO obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 14** *Análisis estadístico de la DQO*..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 15** *Valores de DBO<sub>5</sub> obtenidos en los tres puntos de muestreo* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 16** *Análisis estadístico de la DBO<sub>5</sub>.....* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 17** *Valores de turbidez obtenidos en los tres puntos de muestreo ....* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 18** *Análisis estadístico de la turbidez .....* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 19** *Valores de concentración de fosfatos obtenidos en los tres puntos de muestreo .....* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 20** *Análisis estadístico de los fosfatos .....* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 21** *Clases de calidad y los valores asignados al BMWP* **¡Error! Marcador no definido.**

**Tabla 22** *Macroinvertebrados encontrados en el sitio de estudio y su puntuación acorde al índice BMWP .....* **¡Error! Marcador no definido.**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Sólidos totales</i> .....	<b>34</b>
<b>Figura 2</b> <i>Zonificación de los puntos de muestreo en el Río Ambi</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 3</b> <i>Valores de pH</i> .....	<b>54</b>
<b>Figura 4</b> <i>Valores de Potasio (K)</i> .....	<b>56</b>
<b>Figura 5</b> <i>Valores de Nitritos</i> .....	<b>58</b>
<b>Figura 6</b> <i>Valores de Nitratos</i> .....	<b>60</b>
<b>Figura 7</b> <i>Valores de Sólidos Disueltos Totales</i> .....	<b>62</b>
<b>Figura 8</b> <i>Valores de la Demanda Química de Oxígeno</i> .....	<b>64</b>
<b>Figura 9</b> <i>Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno</i> .....	<b>66</b>
<b>Figura 10</b> <i>Valores de Turbidez</i> .....	<b>69</b>
<b>Figura 11</b> <i>Valores de Fosfatos</i> .....	<b>71</b>
<b>Figura 12</b> <i>Colección de muestras</i> .....	<b>90</b>
<b>Figura 13</b> <i>Análisis químico</i> .....	<b>91</b>
<b>Figura 14</b> <i>Análisis químico de las muestras</i> .....	<b>91</b>
<b>Figura 15</b> <i>Análisis químico de las muestras</i> .....	<b>92</b>
<b>Figura 16</b> <i>Análisis biológico</i> .....	<b>92</b>
<b>Figura 17</b> <i>Análisis biológico</i> .....	<b>93</b>

<b>Figura 18</b> <i>Análisis biológico</i> .....	<b>93</b>
<b>Figura 19</b> <i>Presentación de diapositivas para la socialización de los resultados</i>	<b>94</b>
<b>Figura 20</b> <i>Lista de asistencia</i> .....	<b>98</b>
<b>Figura 21</b> <i>Socialización</i> .....	<b>99</b>

## RESUMEN

En esta investigación se analizó la calidad del agua del río Ambi, ya que hoy en día existen varias actividades antropogénicas tanto en sus alrededores como en el río mismo, actividades como la explotación de la vegetación, el uso inadecuado de químicos en la agricultura, entre otras. Por esto, el objetivo principal de la investigación consistió en determinar la calidad del agua del Río Ambi ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura mediante medios químicos y biológicos para el análisis de contaminación en el mismo. Se analizaron parámetros físico – químicos como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), sólidos totales disueltos, pH, turbidez, nitratos, fosfatos e indicadores biológicos empleando el método de BMWP (Biological Monitoring Working Party). Entre los principales resultados de la investigación se encontró que, por medio del análisis físico – químico que, el agua del río no es apta para consumo humano. Además, se identificaron un total de 13 órdenes y 21 familias de macroinvertebrados en el río Ambi. El puntaje obtenido para el índice BMWP para el río Ambi fue de 37, lo cual, lo categoriza en una Clase III, con una calidad no apta para el consumo humano, con un color amarillo, lo que significa que las aguas se encuentran contaminadas. De esta forma, la principal conclusión consiste en que, el agua del río Ambi tiene una mala calidad, lo cual, es producto no únicamente de las condiciones geomorfológicas del sector generadas por los procesos naturales, sino que principalmente esta contaminación es causada por actividades antropogénicas como el vertido de aguas residuales industriales y/o urbanos al río sin un tratamiento previo alterando, además, la biota acuática.

### **Palabras clave:**

Macroinvertebrados, calidad del agua, Río Ambi, parámetros físicoquímicos

## ABSTRACT

In this research, the water quality of the Ambi River was analyzed, since today there are several anthropogenic activities both in its surroundings and in the river itself, activities such as the exploitation of vegetation, the inappropriate use of chemicals in agriculture, among others. For this reason, the main objective of the research was to determine the water quality of the Ambi River located in the city of Atuntaqui, province of Imbabura through chemical and biological means for the analysis of contamination in it. Physical-chemical parameters such as BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), total dissolved solids, pH, turbidity, nitrates, phosphates and biological indicators were analyzed using the BMWP (Biological Monitoring Working Party) method. Among the main results of the investigation, it was found that, through physical-chemical analysis, the river water is not suitable for human consumption. In addition, a total of 13 orders and 21 families of macroinvertebrates were identified in the Ambi River. The score obtained for the BMWP index for the Ambi river was 37, which categorizes it in a Class III, with a quality not suitable for human consumption, with a yellow color, which means that the waters are contaminated. In this way, the main conclusion is that the water of the Ambi River has a poor quality, which is a product not only of the geomorphological conditions of the sector generated by natural processes, but mainly this contamination is caused by anthropogenic activities. such as the discharge of industrial and/or urban wastewater into the river without prior treatment, also altering the aquatic biota.

### **Keywords:**

Macroinvertebrates, water quality, Ambi River, physicochemical parameters.

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El agua de superficie es un recurso abundante en Atuntaqui, de hecho, constituye una fuente de abastecimiento convencional. Un problema que presentan mayor afectación en la calidad del agua en la región es la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales no tratadas, que pueden disminuir la capacidad de dilución y autodepuración. En la región, las fuentes comunes de contaminación abarcan las actividades agrícolas, las descargas domésticas e industriales sin tratamiento y otras fuentes difusas no cuantificadas.

En esta investigación se analiza la calidad del agua del río Ambi, ya que hoy en día existen varias actividades antropogénicas tanto en sus alrededores como en el río mismo, actividades como la explotación de la vegetación, el uso inadecuado de químicos en la agricultura, entre otras.

Todos los aspectos mencionados anteriormente afectan cada vez más a la calidad del río, lo que ha sido observable tanto en la biota existente en este cuerpo de agua como en su calidad. Para medir la calidad del agua de los ríos se han realizado análisis a través de parámetros microbiológicos y químicos, los cuales dan una precisión del factor que se está evaluando. Los resultados de estos parámetros son usados como una imagen del instante en que sean tomadas las muestras, dando así las características preliminares de la calidad del agua que tiene el río en ese instante.

Para la evaluación de la calidad del agua se debe medir varios parámetros fisicoquímicos los cuales son DBO5, DQO, SST, OD, pH, Nitritos, Nitratos, Temperatura del agua entre otros.

Como indicadores biológicos se emplean los macroinvertebrados, los cuales ayudarán a determinar la calidad y la situación actual en la que se encuentra el agua, donde se podrá identificar las áreas con mayor susceptibilidad de acuerdo a los componentes que se encuentren en la evaluación y a la diversidad de especies que existan en el lugar donde se

podrá proponer alternativas en base a las características químicas y biológicas que proporcionen la recuperación de la calidad del agua del río Ambi.

Principalmente estos son bioindicadores los cuales se han definido como la agrupación de algunas especies que tienen requerimientos propios que tienen que ver con sus características químicas o físicas. Los macroinvertebrados son la mejor opción como bioindicadores de algún tipo de contaminación en el agua, gracias a su abundancia en la misma y que pueden ser colectados fácilmente y tiene un bajo costo.

## **CAPITULO II**

### **2.1 OBJETIVOS**

#### **2.1.1 Objetivo General**

- Determinar la calidad del agua del Río Ambi ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura mediante medios químicos y biológicos para el análisis de contaminación en el mismo.

#### **2.1.2 Objetivos Específicos**

- Analizar la calidad del agua mediante medios químicos y biológicos en los sitios de muestreo para la evaluación de la situación actual del río.
- Identificar los principales compuestos químicos y los macroinvertebrados encontrados en el Río Ambi para que posteriormente puedan ser analizados de acuerdo con las normativas correspondientes del agua.
- Socializar los resultados a los usuarios del agua del Río Ambi, para que se tomen medidas correctivas para la conservación de la calidad del agua.

### **2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿La calidad de agua del río Ambi que se encuentra en la ciudad de Atuntaqui sector San Vicente cumple con los criterios de calidad según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente ?

## CAPITULO III

### 3.1 ESTADO DEL ARTE

#### 3.1.1 El agua

El agua es un recurso natural que posee características específicas, de gran significado para todos los seres vivos, este como el más abundante de los recursos en el planeta Tierra, que es dominante en procesos físicos, químicos y biológicos que suceden en la naturaleza (Domínguez , León , Samaniego , & Sunkel , 2019).

El agua es el elemento natural más importante en la tierra que la cubre con más del 70% en su superficie, encontrándose en lagos, ríos, océanos y el suelo. El agua es indispensable para el sustento de la vida existente en el planeta tierra, regulando así el clima y dándole forma. Tiene las únicas propiedades tanto físicas como químicas y biológicas para que sean esenciales para la vida. Es un solvente altamente poderoso, así como también es considerado como un gran reactivo para una infinidad de procesos metabólicos, se expande cuando se congela y posee una capacidad calorífica, cuando se mueve afecta o cambia el clima y puede también moldear un paisaje (Fernández, 2012).

El agua disponible en el planeta es muy importante para el desarrollo económico de cualquier parte del mundo, en si es de mucho valor para la supervivencia de los humanos y de todo lo que lo rodea. Todos los recursos que existen en este mundo deben ser repartidos a toda una población, así como también se debe de tener en cuenta las necesidades que tiene el medio ambiente. Con el paso del tiempo todos los recursos naturales incluyendo al agua como uno de los más importantes han sido considerados importantes para cualquier uso de los humanos, pero nunca se ha tomado en cuenta la calidad que debe de tener cada uno de estos o sus usos para el propio ambiente. Unos de los sectores con mayor demanda de agua es la agricultura, más de las dos terceras partes del recurso agua son destinadas para el sector agrícola, agregando a esto el uso de este recurso para grandes y pequeñas industrias, para el turismo, para usos urbanos entre otros, generando el desgaste de mismo y que cada vez sea menos disponible tanto como para los humanos como para el medio ambiente (Escobar, 2010).

Además, el más usual es ser empleada como agua potable para consumo humano, siendo esta sin olor, sin color y sin sabor, y esta no se encuentra en muchas cantidades favorables en el mundo, es por eso que es importante mantenerla sin contaminación (Rosado, 2019).

### **3.1.2 Agua cruda**

Es el agua que está en estado natural no posee ningún cambio en sus características, por tal motivo esta no recibe ningún tratamiento para modificar su naturaleza (Organización Mundial de la Salud, 2013).

### **3.1.3 Agua de los ríos**

Los ríos se forman en lo más alto de las montañas, bajando y recorriendo por valles y llanuras muy extensas hasta llegar a su camino final que es en donde estos desembocan. Con su paso los ríos drenan en terrenos por donde cruzan y van formando la composición química de la geología de los suelos que van lavando y erosionando. Los ríos en su estado natural cumplen con un sin número de funciones que son de gran ayuda para el ecosistema como por ejemplo y uno de los más importantes, sirve para el uso de todos los seres humanos, se auto purifica, controla sequias e inundaciones, es el hábitat de todos los peces, de muchas aves y de una infinidad de especies silvestres, también mantiene los flujos de nutrientes y sedimentos que son dirigidos hasta la desembocadura. Éstos almacenan y transportan el agua lluvia que es acumulada, aumentando o disminuyendo su caudal, formando pequeños riachuelos de montaña hasta grandes ríos que podrían causar inundaciones, todo esto se va provocando debido a los ciclos naturales, clima o estación en el que se encuentre cada región (Ramos, 2015).

### **3.1.4 Cuencas hidrográficas**

Las cuencas hidrográficas son las primeras que han sufrido afectaciones debido a la contaminación de aguas superficiales. Se definen como una gran área de una parte de la tierra en donde las aguas hidrológicas se van acumulando formando ríos, arroyos, lagos entre otras

formas de masa de agua. Todos estos sistemas pueden ser contaminados por distintas fuentes como son las localizadas, las no localizadas y las intermitentes. Conforme incrementa la población, aumenta de la misma manera el uso de los recursos hídricos y no exactamente de una manera sustentable, de ahí la importancia para determinar el estado actual de las cuencas hidrográficas en base a parámetros químicos, físicos y biológicos para evaluar la calidad del agua de las mismas (Forero, Reinoso, & Gutiérrez, 2013).

### **3.1.5 Calidad del agua**

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra respecto a sus características físico, químicas y biológicas, sea en su estado natural o después de haber sido tratada, alterada bajo cualquier sistema por acciones antrópicas. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos o estándares regulados y utilizados por organismos públicos o privados para evaluar la calidad del agua (ONU, 2015).

La calidad del agua está establecida por sus elementos físicos, químicos, por su hidrología y por la biología de la masa de agua que se necesite analizar. Existen muchos factores que influyen en la calidad del agua alterando sus condiciones tanto químicas como físicas y dañando el medio acuático donde viven muchas especies de flora y fauna, las actividades más comunes para el cambio de este recurso son la agricultura, la minería, desechos orgánicos, la pesca, etc (Alba, 1996).

Para lograr que el agua presente las características que le confieren el estado de buena calidad se la debe someter previamente a controles sanitarios y procesos de potabilización, así, para corroborar que la calidad del agua tratada sea buena, en el país, se debe mantener las características dentro de ciertos límites que viabilizan determinado uso. Estos límites constituyen las normas legales de la calidad de agua (López, 2002).

### **3.1.6 Evaluación de la calidad de agua**

En las últimas décadas se ha ido descubriendo que el control biológico de los sistemas de agua puede ser de mucha ayuda para poder detectar la contaminación y evaluar la calidad del mismo. La mayoría de los organismos que se encuentran en el agua emiten respuestas permanentes o duraderas de cada uno de los sucesos que tiene la contaminación, pero no siempre son detectados por lo que necesariamente se requiere de un control químico para saber qué es lo que realmente está pasando con la calidad del efluente. Los organismos que se encuentran en el agua permiten detectar la calidad del mismo en un lapso mediano de tiempo, acumulando bajos niveles de sustancias químicas que pueden ser analizados mediante sus tejidos biológicos (Alba, 1996).

### **3.1.7 Indicadores físico - químicos y microbiológicos.**

Los indicadores físicos, químicos y biológicos del agua ya sea en forma individual o en forma grupal pueden valorar la calidad de los diferentes tipos de agua, ya que, por medio de la evaluación de los parámetros físico - químicos se puede obtener una amplia información acerca de la naturaleza de las propiedades físicas del agua así como de las especies químicas que la conforman; los indicadores biológicos permiten conocer acerca de la influencia en la vida acuática de los distintos organismos que habitan en ella, por tal razón, es necesario evaluar ambos indicadores para obtener una completa evaluación del recurso hídrico (Mancheno & Ramos, 2015).

Es por ello que, para el análisis de calidad del agua para consumo, los principales indicadores que se deben considerar se muestran a continuación:

#### **3.1.7.1 Físicas:**

- claridad cl(turbiedad)

- sabor agradable
- fresca (<15°C)

#### **3.1.7.2 Químicas:**

- no corrosiva
- no tóxica, sin sustancias indeseables
- que contenga sustancias útiles al organismo

#### **3.1.7.3 Microbiológicas:**

- No tenga organismos patógenos

#### **3.1.7.4 Sustancias deseables:**

- lodo (en pequeñas cantidades),
- flúor (en límites recomendables),
- cloruros (en lugares calientes para contra restar la deshidratación) (Arboleda, 2000).

### **3.1.8 Índices de calidad del agua**

Un índice de calidad de agua es una expresión simple, resultado de la combinación de un número o ponderación asignado a varios parámetros, los cuales definen la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos que el mismo podría tener, es decir, como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color.

La ventaja de utilizar índices de calidad del agua radica en que la información obtenida en los monitoreos puede comunicarse y ser interpretada con mayor facilidad. Los usuarios pueden rápidamente tener una idea clara de la situación que presenta el agua ya que el índice expresa el grado de contaminación del tipo de agua analizado, la cual puede ser excesiva, media o inexistente, entre otras, de fácil comprensión y abstracción (López, 2002).

## **3.2 DESIGNACIONES DEL USO DE AGUA**

### **3.2.1 Designaciones de uso como abastecimiento de agua**

El uso para el suministro de agua es designado para las personas como agua potable, para este tipo de uso se necesita de un tratamiento convencional para que pueda ser apto para el consumo humano. También es destinada para el uso agrícola con la diferencia de que no necesariamente debe tener un tratamiento previo, son aptas para el consumo animal, uso industrial, comercial y para el riego.

### **3.2.2 Designaciones de usos para actividades recreativas**

El agua está destinada para un sin número de actividades necesarias para el hombre, así como también para disfrutar de una manera amena de este recurso por lo que es utilizada en algunas épocas para la práctica de natación, para baños, entre otras actividades recreativas que tienen un contacto directo total del cuerpo con el agua. Es por esto que la salud de quienes la utilizan de esta manera depende mucho de la calidad del agua.

### **3.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación del agua se puede dar debido al derrame de fluidos que son portadores de sustancias tóxicas, así como la acumulación de las mismas en un sistema hídrico como puede ser en ríos, cuencas, mares, entre otros alterando de esta manera la calidad del agua. Los aspectos que caracterizan a un cuerpo de agua como los parámetros físicos, químicos o biológicos al exceder una concentración pueden ser dañinos para la salud humana y para el resto del ambiente. Legalmente el cumplimiento de mantener una buena calidad de un recurso hídrico debería ser exigible por alguna autoridad competente, una de aquellas normas es la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (El Instituto Ecuatoriano de Normalización), entre otras tratando de controlar las respectivas fuentes de contaminación que principalmente son las sustancias químicas orgánicas, la generación de desechos orgánicos, las sustancias radioactivas, compuestos orgánicos entre otros contaminantes (García, 2012).

Muchos de los contaminantes tales como los pesticidas no necesariamente se encuentran en el ambiente para causar daños o efectos negativos, ya que sus concentraciones en mínimas cantidades no pueden ser causantes de contaminación en el ambiente. Se denominan también contaminantes emergentes a las aguas residuales de fuente industrial o doméstico, de los efluentes provenientes de los hospitales, de la mayoría de residuos de plantas de tratamiento, de actividades ganaderas o agrícolas y de algunos tanques sépticos, todos estos poseen un inmenso número de componentes de origen orgánico que se generan a distintas concentraciones en algunas aguas superficiales, en donde los aspectos importantes para valorar la calidad no han sido tan claros, por lo cual se genera una preocupación científica para las personas encargadas que regulan este tipo de contaminación (Gil, 2016).

#### **3.3.1 *Macroinvertebrados***

Los macroinvertebrados son animales que se pueden observar a simple vista, miden aproximadamente entre 2mm y 28cm, todos los invertebrados carecen de huesos he ahí la

procedencia de su denominación, la mayoría vive en lagos, ríos, lagunas y esteros (Springer, Ramírez, & Hanson, 2010).

### **3.3.2 Macroinvertebrados como Indicadores de Calidad de Agua**

El análisis con macroinvertebrados permite realizar un estudio de manera muy integral, éstos reaccionan a perturbaciones que se generan dentro del hábitat en el que viven, cambiando la estructura de la población, su presencia o abundancia (Springer, Ramírez, & Hanson, 2010).

Este tipo de animales emiten señales de la calidad del agua de un efluente, estos invertebrados usados en el monitoreo pueden dar señales muy claras de que puede existir una contaminación. Muchos de estos organismos necesitan vivir en una buena calidad de agua, otros mueren cuando existe algún factor contaminante y otros resisten y sobreviven a los distintos cambios que produce una contaminación.

#### **3.3.2.1 Clasificación de los macroinvertebrados**

Con respecto a la contaminación los macroinvertebrados se dividen en tres categorías: (Bedoya y Roldán, 2001)

- **Categoría I**

Éstos son indicadores de aguas limpias o claras, y son muy susceptibles a los cambios que se produzcan. Dentro de estos se encuentran los siguientes ordenes: *Plecoptera*, *Odonata*, *Diptera*, *Neuroptera*.

## - **Categoría II**

Pertenecen a aguas que tienen una contaminación mediana, generalmente toleran de alguna manera la contaminación por componentes orgánicos. En este grupo se encuentran: algunos *Odonata*, *Trichoptera*, churos y sanguijuelas.

## - **Categoría III**

Se encuentran en medios altamente contaminados por muchos compuestos orgánicos. Se destacan los *Annelida* y los *Chironomidae* (Springer, Ramírez, & Hanson, 2010).

### **3.4 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN**

Uno de los aspectos más importantes para el control de la contaminación sería la total eliminación de los vertidos que contaminen, pero para la economía no sería tan conveniente. Lo más recomendable es proponer a que se limiten los vertidos de ciertos residuos para de esta manera controlar y proteger la calidad del agua, la calidad del medio ambiente y la salud humana. Tomando en cuenta la masa total de agua dependiendo de sus designaciones (Forero, Reinoso, & Gutiérrez, 2013).

#### **3.4.1 Criterios para el Control de la contaminación**

Para determinar la calidad del agua se debe tener en cuenta las directrices y los límites cualitativos para poder controlar los elementos físicos, químicos, tóxicos y biológicos de cada una de las masas de agua para que se puedan distinguir (Forero, Reinoso, & Gutiérrez, 2013).

Criterio 1: Para poder proteger la salud de los humanos los criterios deben estar de acuerdo con las indicaciones de alguna entidad sanitaria como por ejemplo la OMS u otras organizaciones.

Criterio 2: Para controlar la provisión de agua para usos agrícolas deben guiarse en recomendaciones para mitigar los efectos negativos y en estudios científicos.

Criterio 3: Para poder proteger la vida existente en el agua hay que basarse en estudios donde demuestre o hable sobre el cuidado y protección de las especies que están propensas a ser contaminadas por ciertos productos químicos y evitar que estos lleguen a los humanos para su consumo.

### **3.5 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA**

#### **3.5.1 Color**

El color del agua depende de las sustancias que se encuentren disueltas y de las partículas que se encuentren en suspensión. Hay que distinguir lo que se llama color aparente, el que presenta el agua bruta y el verdadero, que es el que presenta cuando se le ha separado la materia en suspensión. Se mide el color en unidades de Pt-Co. Para establecer el color verdadero es necesario filtrar la muestra para eliminar todas las partículas suspendidas (Villanueva & Ávila , 2019).

#### **3.5.2 Olor y sabor**

El olor del agua normalmente es indicador de contaminación, debido a ciertos productos químicos presentes en el agua o su vez por sufrir un proceso de eutrofización, el olor es desagradable debido a la presencia simultánea de varios elementos productores olor como son compuestos químicos, como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materia orgánica en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos dan olor al agua.

El sabor del agua es como consecuencia de la mineralización que es fácilmente apreciable, está directamente relacionado con el color, ya que están totalmente enlazados entre sí para

que la calidad sea de buena o mala calidad. Existen cuatro sabores: ácido, salado, amargo y dulce, los olores pueden ser mucho más específicos.

Ciertos actinomicetos producen un sabor terroso, las algas verdeazuladas producen un sabor podrido y las algas verdes producen sabor a hierba. Los cloruros dan sabor salobre, el magnesio amargo y el aluminio a terroso (Lara, 2021).

### **3.5.3 Aspectos fisicoquímicos del agua**

Los aspectos físicos del agua se basan en que se debe tener un agua sin presencia de turbidez, color, olor, sabor.

La presencia de olor y sabor en el agua se debe a distintas formas de uso que le da el ser humano como es en la realización de bebidas, o pertenecientes a industrias textiles, esto se debe a que en el agua se encuentran sustancias químicas que son volátiles a la vez que también podemos encontrar material orgánico que se encuentra en estado de descomposición, también encontramos residuos procedentes de industrias, en la turbidez se puede encontrar algunos agentes patógenos y estos están junto a sólidos suspendidos (Cárdenas & Patiño , 2019).

La mayoría de los problemas de la contaminación del agua se debe a microbios que se pueden encontrar en estos, pero también existen problemas muy riesgosos de salud debido a la contaminación química del agua para el consumo humano.

Existen componentes químicos que ocasionan problemas en la salud del ser humano, solo en un caso de contaminación exagerada se puede saber que el agua no es apta para el consumo humano, debido a que no se puede tomar, posee un mal olor y tiene una mala apariencia.

Existen varios productos químicos en el agua que son peligrosos para el consumo humano, pero algunos de estos representan un problema sumamente grave y el efecto es inmediato, es por esto por lo que se debe tener medidas de cuidado y control en el sistema de abastecimiento de agua (Torres & García, 2018).

### **3.5.4 Turbidez**

La turbidez es una propiedad óptica de la masa de agua, una medida de la cantidad de luz dispersada y absorbida por las partículas de la columna de agua. La turbidez puede inducir cambios en la estructura térmica vertical del lago, que a su vez juega un papel importante en la producción primaria autóctona y en la evolución de la temperatura de la superficie del agua, que es una variable clave en las transferencias agua-atmósfera. La turbidez se mide con frecuencia en muchos lagos y embalses, ya que se incluye en los programas de control de la calidad del agua. Sin embargo, las muestras que se recogen regularmente y se analizan en el laboratorio están limitadas espacial y temporalmente (Potes, Costa, & Salgado, 2012).

La turbidez es una medida de la capacidad del agua para dispersar la radiación solar debido a la presencia de partículas en suspensión, que pueden tener o no su propio color. Se expresa en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), entre otras unidades. En general, la turbidez surge de la erosión sedimentaria en la zona de drenaje de los afluentes del embalse, así como de la erosión laminar que se observa en toda la cuenca del río. Las algas, que se comportan como partículas suspendidas en el agua, también afectan el parámetro de turbidez (Guerra, 2019).

### **3.5.5 Temperatura**

La temperatura afecta los procesos físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua. Un aumento de temperatura aumenta el número de reacciones químicas, vaporización y vaporización de sustancias, y disminuye la solubilidad de gases como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y otros. El agua caliente aumenta la tasa de respiración, lo que conduce a un mayor consumo de oxígeno disuelto (OD) y descomposición de la materia orgánica. Un aumento de la temperatura promueve la tasa de crecimiento de bacterias y fitoplancton. El crecimiento de macrófitos y la proliferación de cianobacterias también pueden ocurrir cuando se dispone de suficientes nutrientes (Betancourt & Labaut, 2013).

La temperatura es importante porque afecta procesos como la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos y los cambios de viscosidad en los procesos de tratamiento, como la desinfección con cloro, la filtración, la floculación, la sedimentación y el ablandamiento (Raffo, 2013).

Un cambio en la temperatura del agua provoca un cambio en su densidad. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será el cambio en la densidad por unidad de temperatura. Las capas de agua en la superficie de los embalses absorben más calor que las capas más profundas, por lo que se vuelven menos densas que las capas posteriores y flotan sobre ellas. La diferencia de densidad entre las capas más profundas y las más superficiales no permite que se mezclen. Este fenómeno se conoce como estratificación térmica (Guerra, 2019).

### **3.5.6 Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales indican la presencia de sales disueltas, partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas. Con sólidos, es posible correlacionar con otros parámetros como DQO y DBO, lo que lleva a resultados más precisos (Gualdrón, 2016).

Consiste en la medida de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o de grano fino, contenidas en el agua. Contienen sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consta de partículas con un diámetro de  $10^{-3}$  a  $1 \mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos totales son moléculas e iones; se diluyen en agua. La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de gases, metales y compuestos químicos orgánicos provenientes de la descomposición de minerales, materia orgánica que le dan al agua olor, color, sabor y posiblemente toxicidad al agua en que se encuentran (Toasa, 2012).

Es necesario medir la cantidad de materia sólida contenida en un gran número de materiales líquidos y semilíquidos, desde el agua potable hasta las aguas residuales, pasando por los lodos producidos en los procesos de tratamiento y aguas residuales industriales. Los sólidos totales son aquellos sólidos que quedan como residuo después del secado a  $103^{\circ}\text{C}$ . Es igual a la suma de sólidos disueltos y suspendidos (

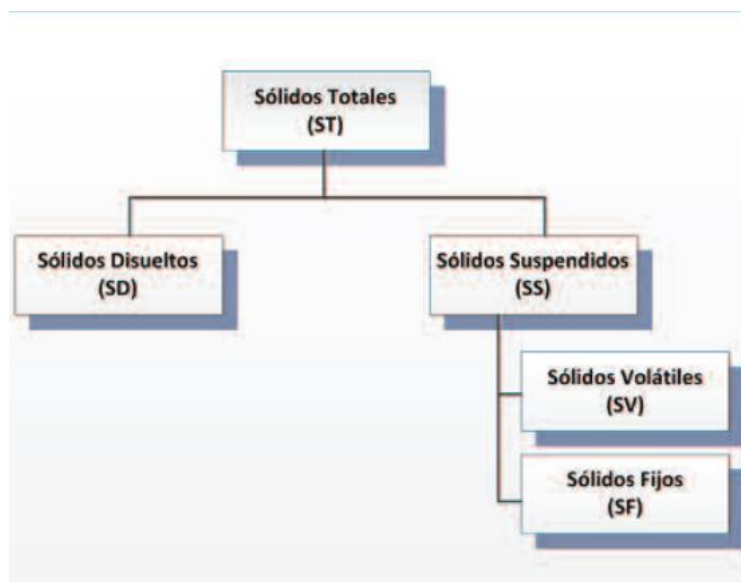
Figura 1

*Sólidos totales*

) (Raffo, 2013).

**Figura 1**

*Sólidos totales*



*Nota:* El gráfico representa el esquema de la suma total de sólidos disueltos y suspendidos.

Adaptado de Sólidos Totales, por Raffo, 2013.

### 3.5.7 Potencial de hidrogeno (pH)

A menudo se dice que la calidad del agua y el pH van de la mano. El pH es un indicador muy importante, ya que algunos procesos químicos solo pueden tener lugar a un determinado pH. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Con la prueba de pH, el

indicador de acidez de una sustancia se obtiene determinando el número de iones de hidrógeno libres ( $H^+$ ) en una sustancia (Raffo, 2013).

El pH es un indicador de la acidez, alcalinidad y grado de alcalinidad del agua. Además, este parámetro genera variaciones en la composición de la fauna y flora de los cuerpos de agua y afecta el grado de toxicidad de algunos compuestos, como el amoníaco, los metales pesados, el ácido sulfhídrico, entre otros (Gualdrón, 2016).

El pH indica la concentración de iones hidronio [ $H_3O^+$ ] presentes en ciertas sustancias. El resultado de la medida del pH viene determinado por la relación entre el número de protones (iones  $H^+$ ) y el número de iones hidroxilo ( $OH^-$ ). Cuando el número de protones es igual al número de iones hidroxilo, el agua es neutra, por lo que tiene un pH de 7;  $pH = 7$  indica la neutralidad de la solución (cuando el disolvente es agua). Una solución con un pH por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 es alcalina. El término fue acuñado por el químico danés S.P.L. Sorensen, quien lo definió en contraste con el logaritmo en base 10 de la actividad de los iones de hidrógeno (Raffo, 2013). Esto es:

$$pH = -\log [a_H]$$

### 3.5.8 Dureza

La dureza del agua es la concentración de compuestos minerales catiónicos alcalinotérreos en una determinada cantidad de agua, especialmente sales de magnesio y calcio. La dureza del agua (DA) o agua dura, lo opuesto al agua "blanda", es agua que contiene altos niveles de minerales, especialmente sales de calcio y magnesio. Suele expresarse como la cantidad de carbonato de calcio, y suele calcularse sumando las concentraciones de carbonato de calcio y carbonato de magnesio, en mg/L, (Mora, Portuguez, Alfaro, & Hernández, 2015).

El agua dura es agua que contiene altos niveles de diversos minerales y otros compuestos, generalmente sales de calcio y magnesio, que son los principales causantes de la dureza, siendo el grado de dureza directamente proporcional a la concentración de estas sales, conocido como carbonato de calcio,  $CaCO_3$ . La dureza puede ser temporal o permanente, dependiendo de los aniones unidos a los cationes responsables de la rigidez. La dureza

temporal o dureza de carbonatos se refiere al contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio que se pueden eliminar por ebullición del agua o por filtración; mientras que la dureza permanente o dureza no carbonatada se refiere a la dureza que permanece en el agua después de hervir, que incluye cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio (Guillen & Cañazaca, 2020).

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica el agua según su grado de dureza, con el fin de establecer rangos de referencia para el uso del agua y el consumo humano, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación del agua según el grado de dureza*

<b>Concentración de CaCO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	<b>Tipo de agua</b>
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
> 180	Muy dura

*Nota:* Se muestra el tipo de agua acorde a las concentraciones de carbonato de calcio que pueden presentar la misma. Tomado de Remoción de Dureza del Agua por Guillen y Cañazaca, 2020.

### **3.5.9 Alcalinidad**

La alcalinidad de una solución se define como la capacidad para neutralizar ácidos o aceptar protones. La alcalinidad del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos, debido

a la presencia de sales en las formas de bicarbonatos (también carbonatos e hidróxidos) y sales de ácidos débiles (como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos). El bicarbonato en la química acuática es la que mayor contribuye a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La alcalinidad en la mayor parte de las aguas naturales superficiales está determinada principalmente por la química del carbonato; es decir:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ , y  $\text{H}^+$  (Raffo, 2013).

### **3.5.10 Conductividad**

La conductividad eléctrica se define como la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica. Este potencial está relacionado con la presencia de iones en el agua, su movilidad, su carga y su concentración relativa, así como la temperatura. De los muchos factores que afectan el comportamiento de los iones en solución, la atracción y repulsión eléctrica y el movimiento térmico entre iones son quizás los más importantes (Riuz, 2018).

La conductividad eléctrica, o conductividad específica, es una expresión numérica de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Este parámetro tiene valores expresados en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), determinados por la presencia de sustancias iónicas (iones y cationes) disueltas en el agua que conducen la corriente eléctrica, pero el valor, además de depender de la temperatura, también varía para cada ion (Guerra, 2019).

### **3.5.11 DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

La cantidad de oxígeno disuelto que requieren los organismos biológicos aeróbicos en un cuerpo de agua para descomponer la materia orgánica presente en una muestra de agua y aguas residuales. El valor de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno en periodo de 5 días) a menudo se expresa en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra durante

cinco días de incubación a 20 °C y, a menudo, se utiliza como un fuerte indicador del grado de contaminación orgánica en el agua. La DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) se puede utilizar para medir la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Las fuentes típicas de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) son el carbono orgánico fácilmente biodegradable y el amoníaco. Estos compuestos son componentes comunes o subproductos metabólicos de desechos vegetales, desechos animales y actividades humanas (aguas residuales domésticas e industriales). La descarga de desechos con altos niveles de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) puede provocar problemas de calidad del agua, como una reducción drástica del oxígeno disuelto. A pesar de varios inconvenientes, los métodos estándar para cuantificar la DBO5 en aguas residuales se han mantenido prácticamente sin cambios durante décadas (Chacón & Ramos, 2019).

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

Es la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua, expresada en mg/L. El valor de DQO (Demanda Química de Oxígeno) es siempre superior al de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente, y su contenido está formado por materia orgánica: carbohidratos, proteínas, grasas e inorgánica (hierro ferroso); en otras palabras, si la DQO (Demanda Química de Oxígeno) está presente en exceso, indica un predominio de contaminantes orgánicos no biodegradables (Chacón & Ramos, 2019).

### **3.5.13 OD (Oxígeno Disuelto)**

El oxígeno disuelto (OD) indica la cantidad de oxígeno disuelto disponible en los cuerpos de agua. Este parámetro indica el grado de contaminación del agua y su capacidad para sustentar el crecimiento y la reproducción de plantas y animales. En general, niveles más altos de agua

indican mayores tasas de fotosíntesis, principalmente de plantas acuáticas. Factores como el aumento de la turbulencia de un cuerpo de agua junto con una mayor intensidad de la luz pueden aumentar el nivel de oxígeno disuelto (Gualdrón, 2016).

Además, el oxígeno disuelto juega un papel importante en los siguientes procesos: la fotosíntesis, redox, solubilidad mineral y descomposición de la materia orgánica. El nivel de oxígeno disuelto necesario para mantener los organismos acuáticos varía de especie a especie. Por otro lado, hay una amplia variedad de microorganismos (bacterias, hongos y protozoos) para la cual no se requiere oxígeno (anaeróbico opcional), otros no lo usan, por su presencia (aero-tolerante) e incluso para algunos el oxígeno es tóxico o debe ser inhibido (estricta anaeróbico) (Navarro, Padilla, & Prías, 2013).

#### **3.5.14 Grasas y Aceites (GyA)**

Los aceites y grasas se refieren a cualquier material obtenido como sustancia soluble en un solvente. Contiene otros materiales (como compuestos de azufre, algunos pigmentos orgánicos y clorofila) eliminados por el solvente y no es volátil durante la prueba. Los aceites y grasas se encuentran comúnmente en cuerpos de agua como emulsiones o saponificados por la acción de detergentes químicos. Estos contaminantes provienen principalmente de las actividades humanas de las industrias petroleras y refinerías, mataderos y plantas procesadoras de alimentos (Toro, 2022).

Las grasas y los aceites son compuestos que, debido a su baja solubilidad, tienden a formar una película muy delgada sobre la superficie del agua, lo que interfiere en el intercambio de oxígeno con la atmósfera, factor que afecta la cantidad medida de oxígeno disuelto (Caho & López, 2017).

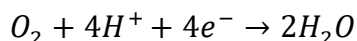
## 3.6 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA:

### 3.6.1 Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares microscópicos. Se encuentran solos o se desarrollan en colonias de hasta millones de células. Se pueden clasificar en bacterias beneficiosas para el ecosistema acuático, que favorecen la autodepuración de los cuerpos de agua y cambios orgánicos, y bacterias patógenas, que pueden provocar enfermedades graves en los organismos vivos. Las bacterias patógenas transmitidas por el agua provienen de humanos y animales de sangre caliente (mascotas, ganado, animales salvajes). La práctica de la defecación al aire libre en las zonas rurales es una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales (Raffo, 2013).

Estos patógenos oportunistas normalmente se pueden aislar de una amplia gama de muestras de agua ambiental, incluidas las aguas residuales. A menudo son miembros de poblaciones microbianas naturales y, en ocasiones, pueden ser miembros significativos de estas poblaciones. Muchos patógenos oportunistas, que forman parte de las poblaciones microbianas naturales, tienen la capacidad de aumentar rápidamente en número cuando se les proporcionan los nutrientes adecuados. Debido a que las aguas residuales a menudo contienen muchos nutrientes, pueden estar presentes grandes cantidades de estos patógenos oportunistas, lo que aumenta el riesgo de infección (Chacón & Ramos, 2019).

Las bacterias pueden ser aeróbicas porque requieren oxígeno como aceptor de electrones (Raffo, 2013):



También pueden ser anaeróbicos, viviendo solo en ausencia de oxígeno, ya que el oxígeno es tóxico para ellos. Para su existencia, obtienen sustancias que contienen oxígeno que aceptan electrones, como iones de nitrato o sulfato. Las bacterias alternativas usan oxígeno cuando está disponible, o no se usan sustancias que contienen oxígeno (Raffo, 2013).

### **3.6.2 Levadura y Mohos**

La levadura es un tipo de microorganismo eucariótico ampliamente distribuido. Ha atraído mucha atención debido a su rápido crecimiento y alta eficiencia metabólica. A principios de la década de 1990, el instituto de investigación japonés se dio cuenta de la aplicación de la tecnología de tratamiento de aguas residuales con levadura por primera vez en el mundo. Con la intensificación de la investigación, las nuevas tecnologías basadas en levaduras se han aplicado cada vez más al tratamiento del agua en los últimos años y han mostrado un gran potencial. En la actualidad, la levadura se ha aplicado en una variedad de tratamientos de aguas residuales industriales, purificación de aguas residuales domésticas y otros campos (Chacón & Ramos, 2019).

El moho es natural y está en todas partes. Hay pequeñas partículas de moho por dentro y por fuera. Los mohos son saprotróficos, lo que significa que obtienen su alimento de materia orgánica húmeda y muerta. Los mohos juegan un papel importante en el ecosistema, ya que digieren materia orgánica como hojas muertas y evitan la acumulación de desechos de la naturaleza. Sería imposible eliminar el moho del entorno (Chacón & Ramos, 2019).

### **3.6.3 Hongos**

Son microorganismos no fotosintéticos que generalmente tienen una estructura filamentosa. Teniendo en cuenta su dieta, son heterótrofos, ya que requieren materia orgánica como fuente de carbono. Son aeróbicos ya que requieren oxígeno para su metabolismo. Su función en el medio ambiente es la descomposición de la celulosa mediante la secreción de una enzima fúngica, que es un catalizador biológico que convierte la celulosa insoluble en carbohidratos solubles, que luego pueden ser absorbidos por la célula. Los hongos no crecen bien en el agua, sino que viven en el suelo, donde algunos se combinan con bacterias para producir humus (Raffo, 2013).

#### 3.6.4 Helmintos

Los helmintos (gusanos) son importantes porque algunos de ellos causan enfermedades y porque un grupo de ellos son muy tolerantes a la contaminación y la falta de oxígeno en el agua dulce. Todos los gusanos pertenecen a uno de los tres tipos: nematodos (gusanos redondos), cestodos (gusanos planos) y trematodos (gusanos). Muchos de ellos, especialmente los que son patógenos, tienen ciclos de vida complejos, a menudo dentro y fuera del cuerpo humano y, sin embargo, son parásitos humanos altamente dominantes: alrededor de un tercio de la población mundial (es decir, 2 mil millones de personas) está infectada con uno o más gusanos. Como resultado, la cantidad de huevos de helmintos en las aguas residuales de los países en desarrollo (donde ocurren casi todas las infestaciones de lombrices) es generalmente alta, hasta unos pocos miles en comunidades recién recolectadas, aunque con el tiempo (debido a que hay más y más comunidades) de reinfección se reducen al ser eliminados), el número disminuye a <1000 y, finalmente, a <100 o incluso a <10/L (Chacón & Ramos, 2019).

#### 3.6.5 Coliformes

Para evaluar con mayor precisión la calidad bacteriológica del agua, se determina la presencia o ausencia de organismos coliformes. Los organismos patógenos forman parte del grupo de los coliformes, pero no todos los coliformes son patógenos, por lo que la presencia de coliformes en una muestra de agua no siempre indica la presencia de organismos patógenos. Sin embargo, para ser considerada agua potable o para actividades en las que los humanos tienen contacto cercano con el agua su concentración debe tener un límite mínimo permisible acorde a las normas establecidas para la evaluación de la calidad del agua. Los coliformes fecales (termotolerantes) son microorganismos de estructura similar a una bacteria común, *Escherichia coli*, y se transmiten a través de las heces. Coli significa coliforme, en referencia a la principal bacteria del grupo, *Escherichia coli*, que fue descubierta en 1860 por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich (Raffo, 2013).

La evaluación de la calidad del agua se ha basado tradicionalmente en la detección de organismos indicadores fecales, incluidos coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales. Sin embargo, estos grupos de microorganismos no están necesariamente relacionados con la presencia de organismos patógenos. Algunos investigadores sugieren que el grupo de coliformes totales no es una fuente confiable de información, como los niveles de contaminantes o el estado de la fuente de agua. Mientras que otros investigadores concluyen que la dependencia del grupo coliforme plantea serios problemas para medir la calidad ambiental y calcular el riesgo para la salud pública (Baños, 2012).

### **3.7 MARCOLEGAL**

Esta investigación para el análisis de resultados se tomó en cuenta el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE en donde establecen normas básicas para el control de la calidad de agua de efluentes hídricos y también se basó en el marco legal acorde a la Constitución del Ecuador correspondiente al Código Orgánico del Ambiente en donde se estipulan los derechos, deberes y principios para el cuidado de la naturaleza, denominados en el séptimo capítulo del mismo en donde se nombran los siguientes derechos:

#### **Título I**

Art. 6.- Derechos de la naturaleza. Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 7.- Deberes comunes del Estado y las personas. Son de interés público y por lo tanto deberes del Estado y de todas las personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades y colectivos, los siguientes:

1. Respetar los derechos de la naturaleza y utilizar los recursos naturales, los bienes tangibles e intangibles asociados a ellos, de modo racional y sostenible;

2. Proteger, conservar y restaurar el patrimonio natural nacional, los ecosistemas y la biodiversidad.

Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental.

En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

1. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido.

Art. 38.- Objetivos. Las áreas naturales incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, cumplirán con los siguientes objetivos:

1. Mantener la dinámica hidrológica de las cuencas hidrográficas y proteger los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas

Art. 276.- uno de los objetivos del régimen de desarrollo será recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

## CAPÍTULO IV

### 4.1 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1.1 Ubicación

El Río Ambi se encuentra ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui, Otavalo y sector del Cantón Cotacachi. Las muestras de agua fueron tomadas en el mes de septiembre del 2021 en tres puntos distintos, una sola muestra por punto, los puntos de muestreo se establecieron aproximadamente a 100 metros a lo largo del río Ambi en el sector de San Vicente, se tomó una muestra en cada punto una vez a la semana. En la figura 2 se muestra el mapa de georreferenciación que presenta detalladamente la ubicación de los respectivos puntos de muestreo.

**Tabla 2**

*Coordenadas de los puntos de muestreo*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>Punto 1</b>	0,347062	-78,234218

---

<b>Punto 2</b>	0,348352	-78,233626
----------------	----------	------------

---

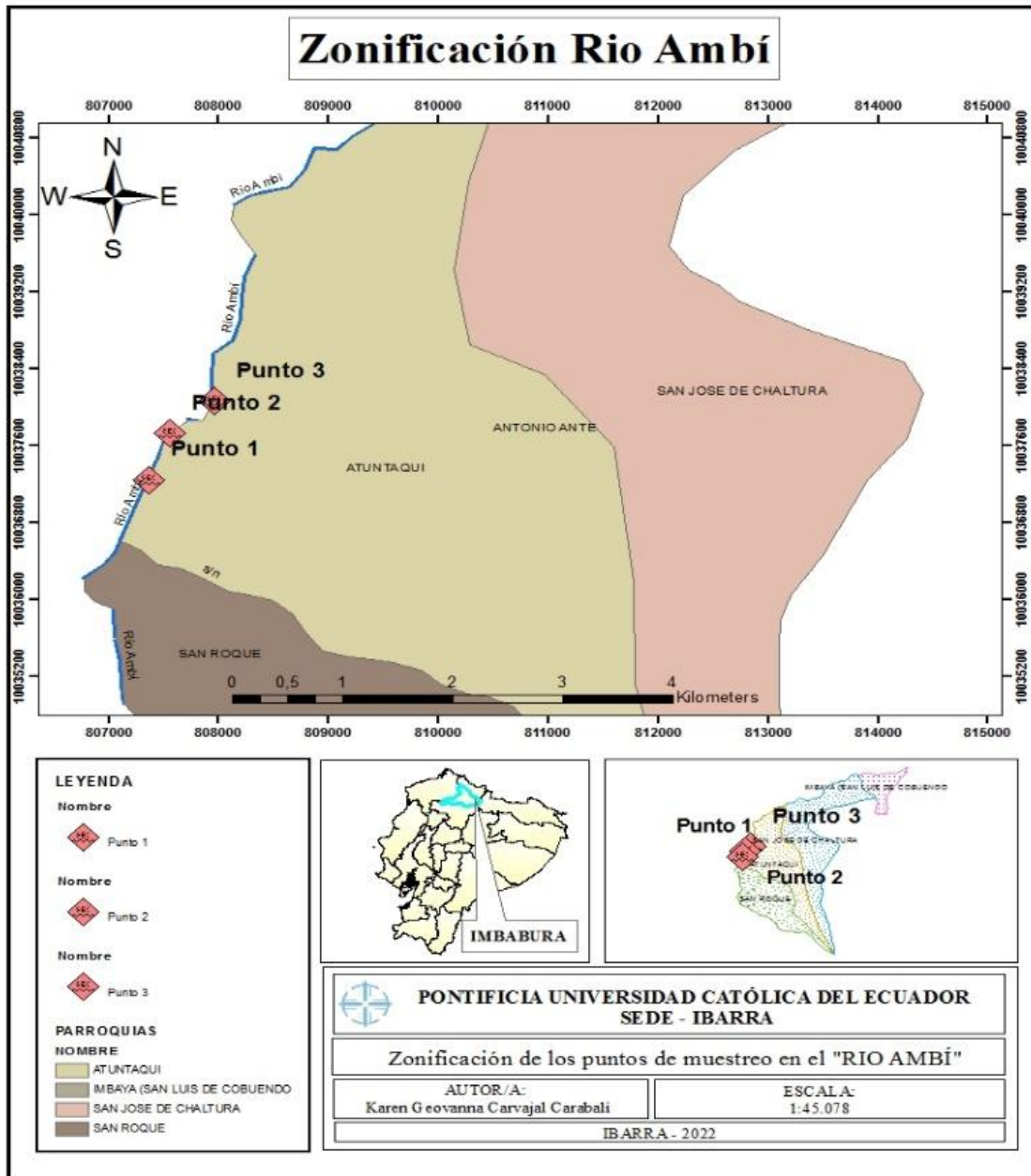
<b>Punto 3</b>	0,349232	-78,233490
----------------	----------	------------

---

*Nota:* Se muestran las coordenadas de los tres puntos de muestreo necesarias para la georreferenciación

## **Figura 2**

*Zonificación de los puntos de muestreo en el Río Ambi*



*Nota:* El gráfico representa el mapa de ubicación en donde se encuentran georreferenciados cada uno de los puntos de muestreo para sus respectivos análisis

## 4.2 MATERIALES

- Vasos de precipitación 100ml
- Tubos de ensayo 10ml

- Vidrio borosilicato
- Pipeta
- Probeta 50ml
- Cooler
- CO<sub>2</sub> sólido (Hielo seco)
- Crisoles
- Frascos de vidrio
- Etiquetas
- Guantes
- Vasos de polietileno

### **4.3 EQUIPOS**

- Potenciómetro (pH-metro), marca HORIBA, modelo pH 1100
- Conductímetro (LaMotte), modelo 5-0038-02
- Espectrofotómetro, Modelo MERCK NOVA 60
- Estereoscopio PREMIERE, modelo SMJ-04
- Turbidímetro, (LaMotte), modelo 2020WE

### **4.4 REACTIVOS**

- Kit para determinación de Potasio (K)
- Kit para determinación de Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)
- Kit para determinación de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- Kit para determinación de Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)
- Alcohol industrial 96%

## **4.5 MÉTODOS**

### **4.5.1 Análisis químico**

Para el análisis químico las muestras fueron tomadas en el Rio Ambi, cantón Antonio Ante, basándose en la normativa vigente del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE debido a que el agua del río es un agua corriente, en tres puntos distintos se tomó una sola muestra puntual (una muestra en cada punto de muestreo por día). Las muestras fueron colectadas de forma manual en frascos de polietileno a una profundidad de 60cm, después fueron colocadas en un cooler con hielo para mantener su temperatura y que sus propiedades químicas y biológicas no sean alteras hasta ser llevadas al laboratorio de Química en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Ibarra donde se realizaría su posterior análisis.

### **4.5.2 DBO - 1119804**

Para la medición de DBO<sub>5</sub>, fue necesario agregar 43,5 ml a cada una de las muestras de agua colectadas de los tres puntos, así como un mililitro de solución A, solución B, solución C y solución D o tampones a una botella de vidrio de color ámbar.

Las soluciones A, B, C y D contienen lo siguiente:

- Solución A: 1 ml de cloruro férrico hexahidratado
- Solución B: 1 ml de cloruro de calcio
- Solución C: 1 ml de magnesio sulfato heptahidratado
- Solución D: 1 ml de buffer

Después se llenó el cartucho con NaOH, se colocó un agitador magnético, posteriormente se colocó el sensor de DBO en el frasco Ambar, y se inició la medida durante cinco días en la refrigeradora termostática VELP: HOX.101 en el laboratorio de Química de la

Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (VELP Científica, 2015).

#### **4.5.3 DQO - 8000**

Para la medición de la Demanda Química de Oxígeno se homogeneizaron cada muestra de los tres puntos de colección, previamente se precalentó el bloque del calentador a 150 °C, después se tomaron los tubos viales de DQO y en un ángulo de 45° con una pipeta se agregó cuidadosamente 0.2 ml de las tres muestras tapándolas y mezclándolas muy bien. Posteriormente se colocaron los viales en el calentador de bloque de DQO precalentado a la misma temperatura de los 150 °C durante dos horas. Transcurrido el tiempo se procedió a apagar el calentador y se esperó aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos viales se enfriaran. Luego se encendió el colorímetro de la marca LaMotte el cual ayuda a determinar la concentración de DQO de las muestras (NOLLET, 2007).

#### **4.5.4 Sólidos totales disueltos - 56955**

Para la medición de sólidos disueltos totales, fue necesario tallar y esterilizar un crisol, luego se agregaron 20 ml de cada una de las muestras tomadas en los tres puntos y se midió la masa neta del material, luego se introdujeron las muestras en la estufa aproximadamente a 103 °C hasta que se complete la evaporación. Finalmente se enfriaron los crisoles con las tres muestras en un desecador con gel de sílice activado, se pesó nuevamente y se restó el peso del crisol con estrella, luego se calculó la cantidad de sólidos disueltos totales que se encontraron en la muestra restando el peso final del peso inicial (Rice et al., 2017).

#### **4.5.5 Potencial de Hidrogeno pH - 5006**

Para medir este parámetro se utilizó el Potenciómetro o también denominado pH-metro de la marca HORIBA, Serie: INV119, el cual posee un electrodo que fue introducido en cada una de las muestras de agua colectadas en los tres puntos seleccionados, se obtuvo de esta manera el pH de las muestras (LaMotte, 2014).

#### **4.5.6 Turbidez - 180**

Para este parámetro se utilizó un instrumento denominado turbidímetro modelo LaMotte, Serie: 1979-EPA, el cual para la obtención de la muestra se calibró utilizando un blanco, luego se homogenizó el tubo de vidrio con cada una de las muestras de agua colectadas en cada punto, en estos recipientes se introdujo la muestra de 10 ml, luego fueron introducidos cada uno en el aparato de muestreo junto con el tubo, se esperó el tiempo correspondiente y se obtuvieron los datos de las concentraciones de turbidez correspondientes en NTU (LaMotte, 2014).

#### **4.5.7 Nitratos - 1147730001**

Para la medición de nitratos se utilizaron los diferentes reactivos Hach así como también el espectrofotómetro NOVA 60, el procedimiento constó en colocar una microcuchara de  $\text{NO}_3$  en un tubo de ensayo seco, posteriormente se agregaron 5 ml de  $\text{NO}_3$  y se agitó vigorosamente hasta que el  $\text{NO}_3$  esté disuelto completamente, luego se agregó 1,5 ml de la muestra de agua sosteniendo el tubo de manera inclinada, por la parte superior y haciendo que la muestra se vierta por las paredes del mismo mezclando todo el contenido, se dejó reposar por 10 minutos y tomó la medida en el espectrofotómetro utilizando una cubeta de vidrio de 1mm de luz, el mismo procedimiento se realizó con cada una de las muestras de agua tomadas en los tres puntos de muestreo (LaMotte, 2014).

#### **4.5.8 Fosfatos - 1007980001**

El procedimiento a seguir para la medición de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) fue colocar 8 ml de agua destilada en un tubo de ensayo, luego se agregó con una pipeta 0,5 ml de la muestra de agua y una vez lista se mezcló agregar 0,5 ml. Usando una pipeta y mezclando, una vez terminado este proceso, se agregó una dosis de  $\text{PO}_4$  y se agitó enérgicamente hasta que se disuelva por completo, finalmente se esperó cinco minutos para que los ingredientes usados reaccionen y medirlo en el espectrofotómetro NOVA 60 utilizando una cubeta de vidrio (LaMotte, 2014).

#### **4.5.9 Índice de biodegradabilidad de materia orgánica en el agua**

Para la determinación del índice de biodegradabilidad del agua del río Ambi se tomó en cuenta la relación de los resultados obtenidos tanto de la demanda química de oxígeno como en la demanda bioquímica de oxígeno (Osorio & Peña , 2000).

Mostrando la siguiente fórmula: índice de biodegradabilidad  $\text{DQO} / \text{DBO}_5$

Los valores que se acercan a cero indican que el agua es muy biodegradable mientras que si los resultados sobrepasan el valor de cinco significa que el material orgánico que se encuentra en el agua es muy poco degradable.

#### **4.6 Análisis biológico**

Para el análisis biológico con macroinvertebrados se recurrió a una técnica no convencional que consistió en colocar tarrinas de plástico al ras del suelo en las orillas del río con poca cantidad de agua y de la misma manera con un poco de jabón líquido previamente mezclado, con el objetivo de que los insectos caigan dentro de las trampas y gracias al efecto del jabón queden atrapados. Se colocaron un total de 6 trampas en distintos puntos a orillas del río Ambi durante tres días, luego los insectos atrapados fueron trasvasados a frascos de vidrio

con alcohol para posteriormente ser llevados al laboratorio de biología de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales en la PUCE-SI para su posterior identificación.

Luego de haber identificado a los macroinvertebrados encontrados fueron evaluados como bioindicadores acorde al Índice que posee el BMWP (Biological Monitoring Working Party) el cual consiste en un método muy sencillo en donde se asignó una calificación a los macroinvertebrados que se encontraron a nivel de familia. Este puntaje se otorga de acuerdo a la tolerancia es un ambiente contaminado que varía de 1 a 10, es decir que los macroinvertebrados más vulnerables poseen una calificación de 10 y las menos vulnerables poseen una calificación de 1. Entonces a los macroinvertebrados encontrados e identificados se le otorgó la debida puntuación acorde al índice encontrado en el BMWP (Biological Monitoring Working Party).

## CAPÍTULO V

### 5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.2 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE AGUA

En el presente apartado se detallan los resultados obtenidos a partir del análisis del agua de tres puntos de muestreo del Río Ambi ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura. Los valores obtenidos se comparan con el criterio de calidad admisibles en aguas dulces acorde al ACUERDO MINISTERIAL 097-A, ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA.

##### 5.2.1 pH

Los valores de pH obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 3**

*Valores de pH obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	8,30	6,5 – 9
<b>Punto 2</b>	8,00	6,5 – 9
<b>Punto 3</b>	8,20	6,5 – 9

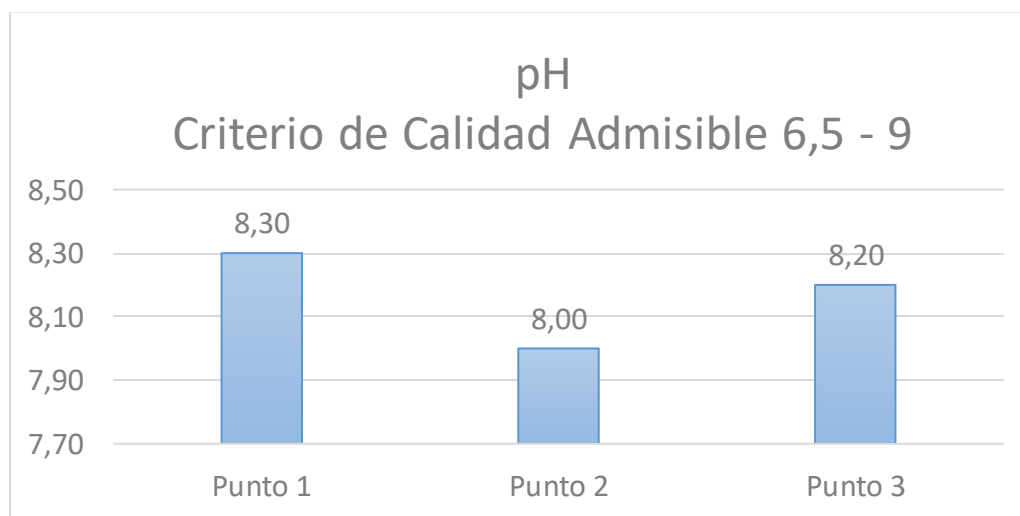
**Tabla 4**

*Análisis estadístico del pH*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	8,17
<b>Desviación estándar</b>	0,15
<b>Mínimo</b>	8,00
<b>Máximo</b>	8,30

**Figura 3**

*Valores de pH*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de pH obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor mínimo de pH encontrado en las muestras es de 8, el máximo es de 8.30, a lo cual, la media de los tres valores es de 8.17. En todos los puntos de muestreo, el agua posee un pH alcalino. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad del pH en el agua es de 6,5 – 9, lo cual indica que los valores obtenidos en base al análisis realizado se encuentran dentro del criterio de calidad admisible.

### 5.2.2 Potasio

Los valores de concentración de potasio obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 5**

*Valores de concentración de potasio obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	2,00	0.1 mg/L
<b>Punto 2</b>	2,03	0.1 mg/L
<b>Punto 3</b>	2,10	0.1 mg/L

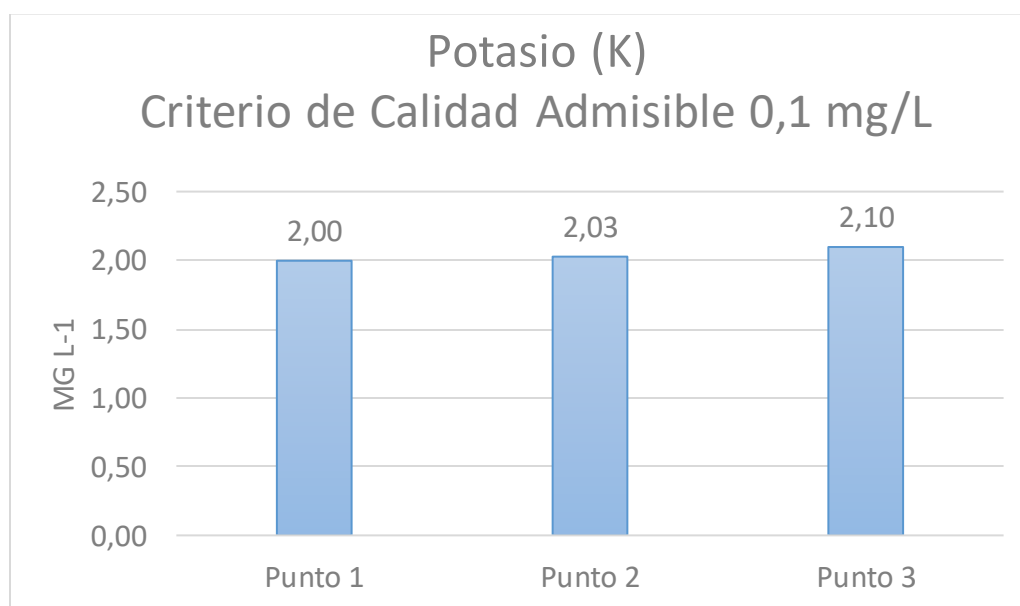
**Tabla 6**

*Análisis estadístico del potasio*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	2,04
<b>Desviación estándar</b>	0,05
<b>Mínimo</b>	2,00
<b>Máximo</b>	2,10

**Figura 4**

*Valores de Potasio (K)*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de potasio obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor mínimo de concentración de potasio es de 2 mg/L, el máximo es de 2.10 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 2.04 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de potasio en el agua es de 0,1 mg/L, lo cual indica que los valores obtenidos en base al análisis realizado se encuentran dentro del criterio de calidad admisible.

### 5.2.3 Nitritos

Los valores de concentración de nitritos obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 7**

*Valores de concentración de nitritos obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	0,19	0.2 mg/L
<b>Punto 2</b>	0,21	0.2 mg/L
<b>Punto 3</b>	0,20	0.2 mg/L

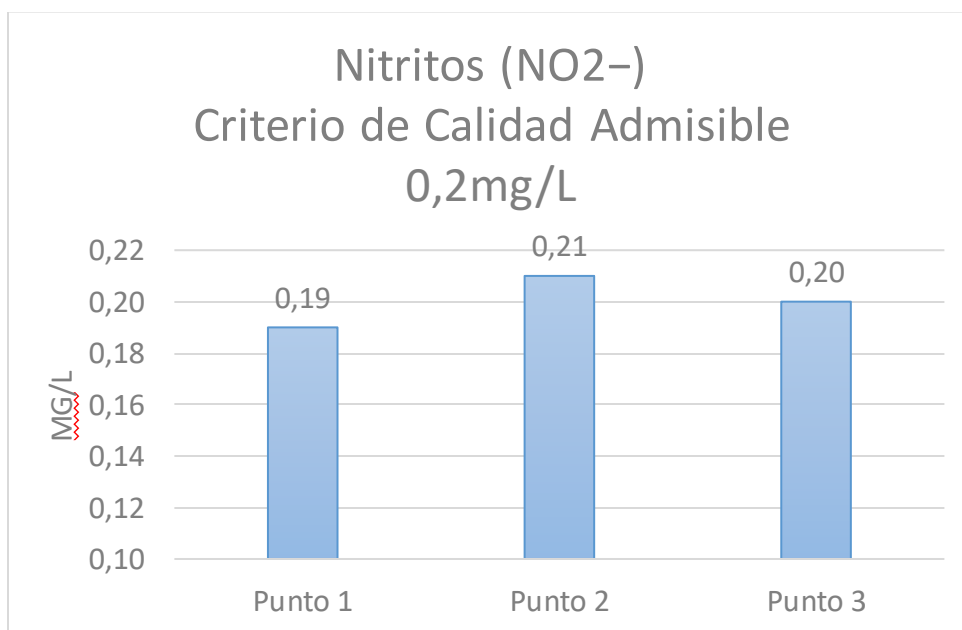
**Tabla 8**

*Análisis estadístico de los nitritos*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	0,20
<b>Desviación estándar</b>	0,01
<b>Mínimo</b>	0,19
<b>Máximo</b>	0,21

**Figura 5**

*Valores de Nitritos*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de nitritos obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de concentración mínimo de nitritos encontrado en las muestras es de 0.19 mg/L, el máximo es de 0.21 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 0.20 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de nitritos en el agua es de 0.2 mg/L, lo cual indica que los valores obtenidos se encuentran dentro del criterio de calidad admisible.

#### 5.2.4 Nitratos

Los valores de concentración de nitratos obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 9**

*Valores de concentración de nitratos obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	2,20	13 mg/L
<b>Punto 2</b>	2,50	13 mg/L
<b>Punto 3</b>	2,30	13 mg/L

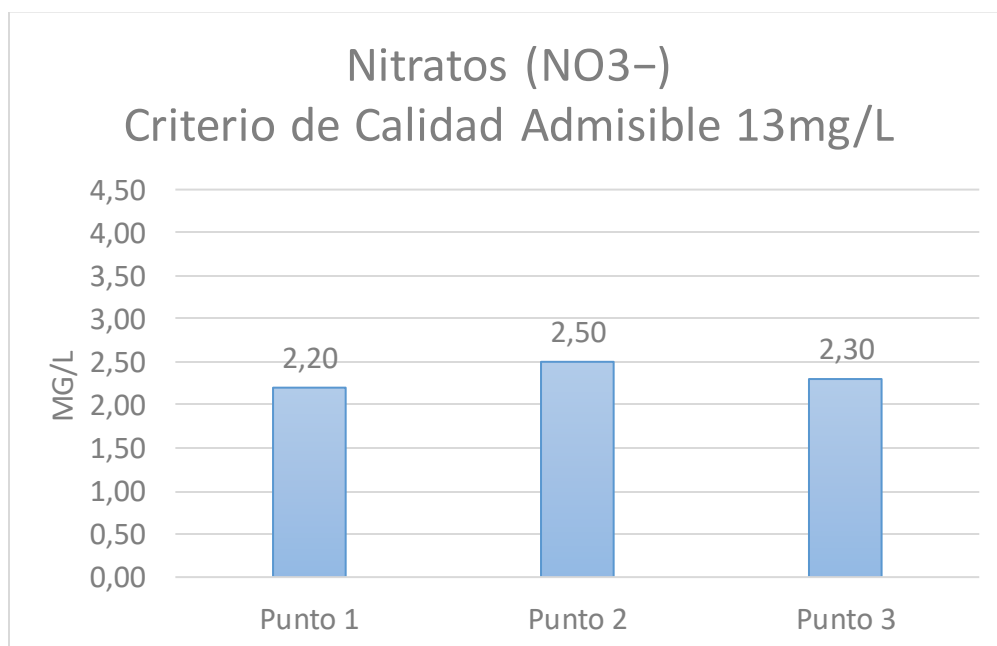
**Tabla 10**

*Análisis estadístico de los nitratos*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	2,33
<b>Desviación estándar</b>	0,15
<b>Mínimo</b>	2,20
<b>Máximo</b>	2,50

**Figura 6**

*Valores de Nitratos*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de nitratos obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de concentración mínimo de nitratos encontrado en las muestras es de 2.20 mg/L, el máximo es de 2.50 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 2.33 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de nitratos en el agua es de 13 mg/L, lo cual indica que el río Ambi posee bajas concentraciones de nitratos y los valores obtenidos se encuentran dentro del criterio de calidad admisible.

### 5.2.5 Sólidos totales disueltos

Los valores de concentración de sólidos totales disueltos obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 11**

*Valores de concentración de sólidos totales disueltos obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	65,00	max incremento de 10% de la condición natural
<b>Punto 2</b>	70,00	max incremento de 10% de la condición natural
<b>Punto 3</b>	60,00	max incremento de 10% de la condición natural

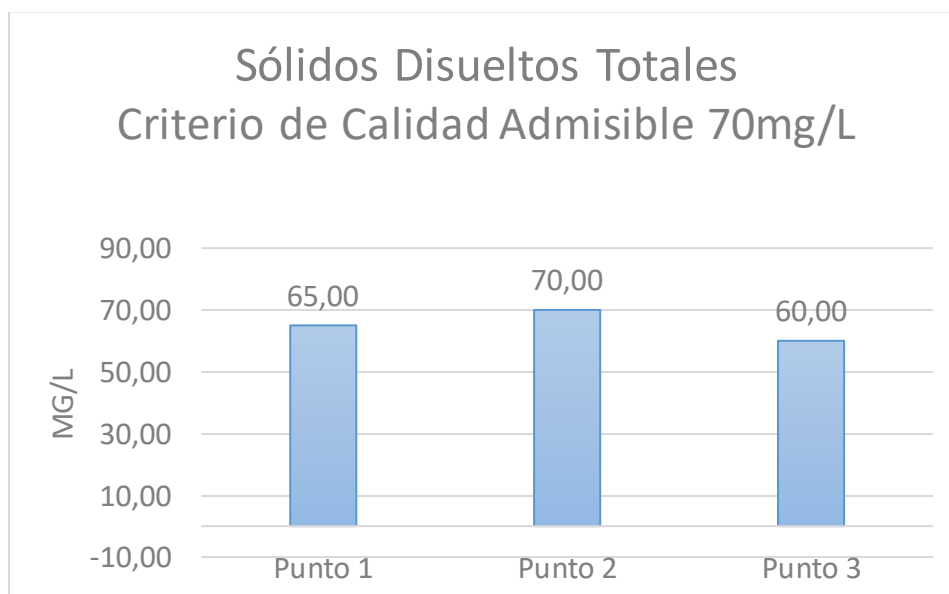
**Tabla 12**

*Análisis estadístico de los sólidos totales disueltos*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	65,00
<b>Desviación estándar</b>	5,00
<b>Mínimo</b>	60,00
<b>Máximo</b>	70,00

**Figura 7**

*Valores de Sólidos Disueltos Totales*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de los sólidos disueltos totales obtenidos en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de concentración mínimo de sólidos disueltos totales encontrado en las muestras es de 60 mg/L, el máximo es de 70 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 65 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de sólidos disueltos totales en el agua es el máximo incremento de 10% de la condición natural, lo cual indica que los valores obtenidos son concentraciones bajas y se encuentran dentro del criterio de calidad admisible

### 5.2.6 Demanda Química de Oxígeno

Los valores de DQO obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 13**

*Valores de DQO obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	60,00	40 mg/L
<b>Punto 2</b>	62,00	40 mg/L
<b>Punto 3</b>	61,04	40 mg/L

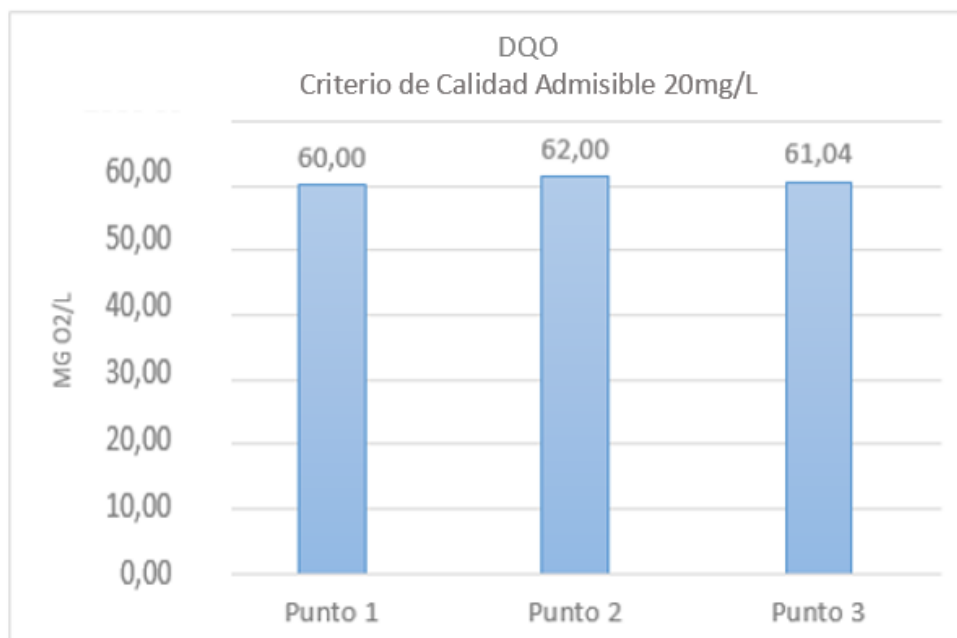
**Tabla 14**

*Análisis estadístico de la DQO*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	61,01
<b>Desviación estándar</b>	4,21
<b>Mínimo</b>	60,00
<b>Máximo</b>	62,00

**Figura 8**

*Valores de la Demanda Química de Oxígeno*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de la demanda química de oxígeno obtenida en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de DQO mínimo encontrado en las muestras es de 60 mg/L, el máximo es de 62 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 61,01 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de la demanda química de oxígeno en el agua es de 40 mg/L, lo cual indica que los valores obtenidos se encuentran por encima del valor del criterio de calidad admisible, lo que quiere decir que existe un exceso de oxidación de materia orgánica, y en cuanto exista más DQO más contaminada el agua.

### 5.2.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los valores de DBO<sub>5</sub> obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 15**

*Valores de DBO<sub>5</sub> obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	18,00	20 mg/L
<b>Punto 2</b>	33,80	20 mg/L
<b>Punto 3</b>	36,60	20 mg/L

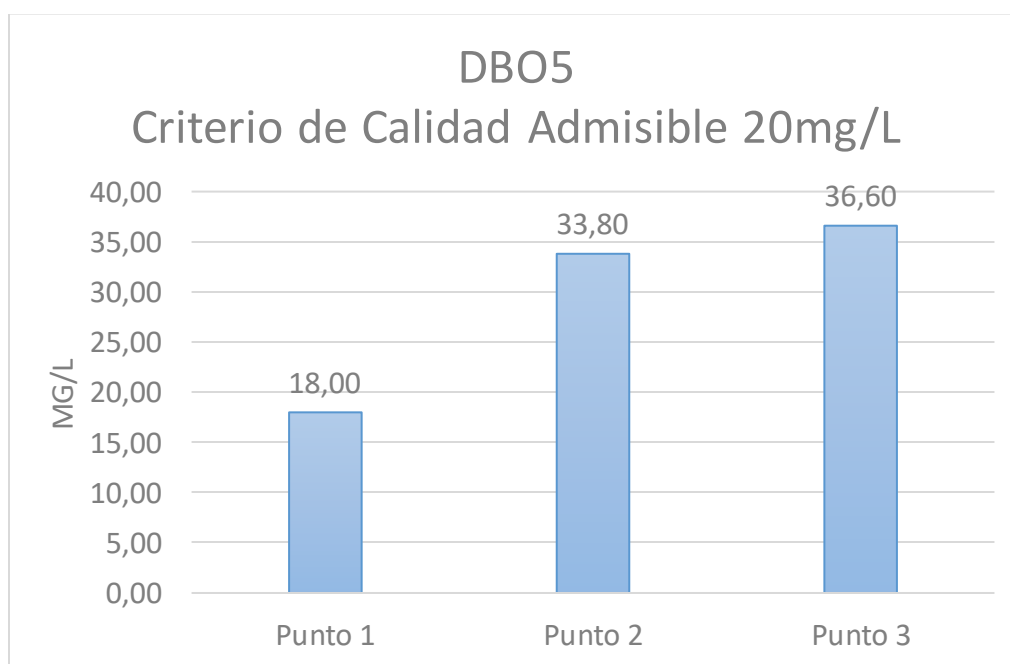
**Tabla 16**

*Análisis estadístico de la DBO<sub>5</sub>*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	29,47
<b>Desviación estándar</b>	10,03
<b>Mínimo</b>	18,00
<b>Máximo</b>	36,60

**Figura 9**

*Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno obtenida en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de DBO<sub>5</sub> mínimo encontrado en las muestras es de 18 mg/L, el máximo es de 36.60 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 29.47 mg/L. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de la demanda biológica de oxígeno en el agua es de 20 mg/L, lo cual indica que los valores obtenidos se encuentran por encima del valor del criterio de calidad admisible, lo cual indica que existe una biodegradación excesiva de materia orgánica provocando así una alta contaminación del agua.

Acorde a los resultados obtenidos en base a los parámetros de DQO y DBO se estableció el índice de biodegradabilidad utilizando la siguiente fórmula:  $DQO / DBO_5$ , dando como resultado en el primer punto de muestreo 3.3, en el segundo punto de muestreo 1.83 y en el punto tres 1.66, los resultados indican que el contenido de materia orgánica presente en el agua del río Ambi en el sector de San Vicente es biodegradable.

### **5.2.8 Turbidez**

Los valores de turbidez obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 17**

*Valores de turbidez obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (NTU)</b>	<b>Criterio de calidad admisible(Acuerdo Ministerial 097-A)</b>
<b>Punto 1</b>	2,64	0 – 50 NTU
<b>Punto 2</b>	2,13	0 – 50 NTU
<b>Punto 3</b>	2,80	0 – 50 NTU

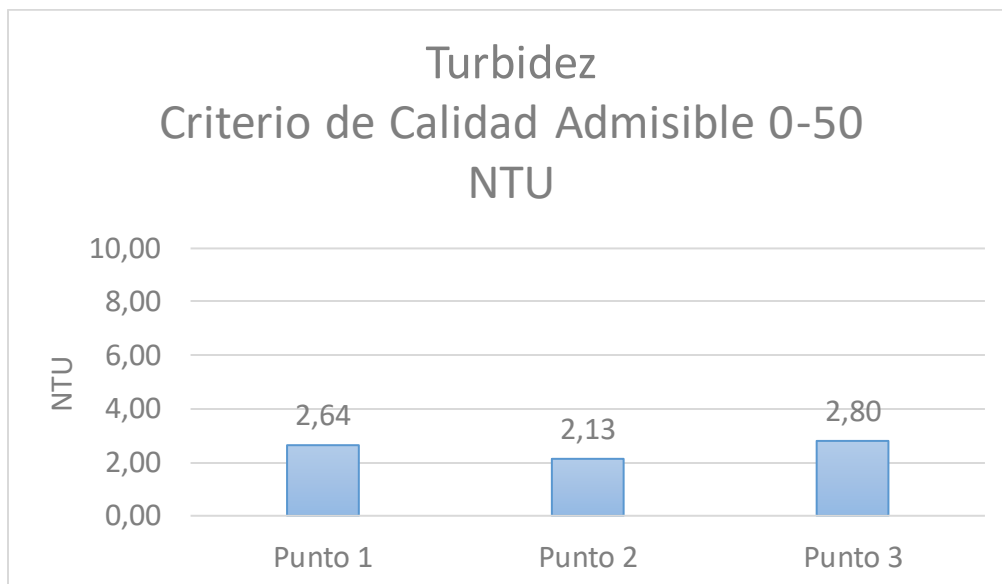
**Tabla 18**

*Análisis estadístico de la turbidez*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	2,52
<b>Desviación estándar</b>	0,35
<b>Mínimo</b>	2,13
<b>Máximo</b>	2,80

## Figura 10

### Valores de Turbidez



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de turbidez obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de turbidez mínimo encontrado en las muestras es de 2.13 NTU, el máximo es de 2.80 NTU, a lo cual, la media de los tres valores es de 2.52 NTU. Respecto al Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el criterio de calidad de turbidez en el agua es de 0 – 50 NTU, lo cual indica que los valores obtenidos se encuentran dentro del criterio de calidad admisible.

### 5.2.9 Fosfatos

Los valores de concentración de fosfatos obtenidos en los tres puntos de muestreo y su respectivo análisis estadístico se exponen a continuación:

**Tabla 19**

*Valores de concentración de fosfatos obtenidos en los tres puntos de muestreo*

<b>Localización</b>	<b>Valor (mg/L)</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>máximo Acuerdo CE-CCA-001/89</b>
<b>Punto 1</b>	2,30	0.1 mg/L	
<b>Punto 2</b>	1,90	0.1 mg/L	
<b>Punto 3</b>	2,10	0.1 mg/L	

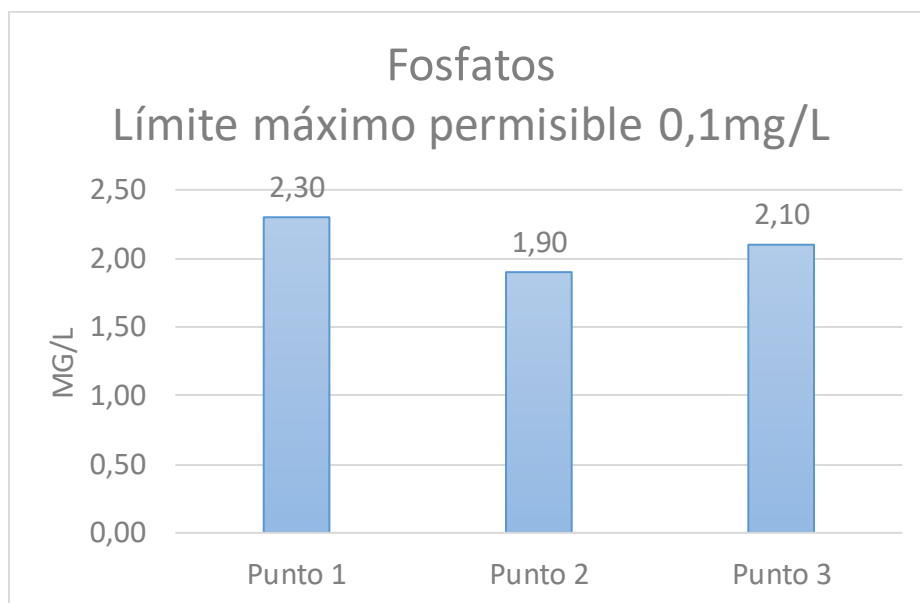
**Tabla 20**

*Análisis estadístico de los fosfatos*

<b>Análisis estadístico</b>	
<b>Media</b>	2,10
<b>Desviación estándar</b>	0,20
<b>Mínimo</b>	1,90
<b>Máximo</b>	2,30

**Figura 11**

*Valores de Fosfatos*



*Nota:* El gráfico representa los valores de la concentración de pH obtenido en los análisis en los tres puntos de muestreo

Los datos obtenidos muestran que, el valor de concentración mínimo de fosfatos encontrado en las muestras es de 1.90 mg/L, el máximo es de 2.30 mg/L, a lo cual, la media de los tres valores es de 2.10 mg/L. Respecto al Acuerdo CE-CCA-001/89, el límite permisible de fosfatos es de 0.1 mg/L, a lo cual se puede observar que todos los valores obtenidos se encuentran fuera de este límite. Por otro lado, es oportuno mencionar que la concentración de potasio en el agua no se encuentra regulada por el Acuerdo Ministerial 097-A del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

### 5.3 ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL AGUA

A continuación, se detallan las especies encontradas en el río analizado. Estas especies serán evaluadas como bioindicadores basados en el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual, es un método simple que asigna una puntuación a todos los grupos de macroinvertebrados identificados a nivel de familia junto con los datos cualitativos requeridos sobre presencia o ausencia. Un puntaje asignado basado en la tolerancia a la contaminación varía de 1 a 10. Las familias más vulnerables tienen una puntuación de 10 y las familias menos vulnerables tienen una puntuación de 1 (Leaño & Pérez, 2020).

La siguiente tabla muestra los rangos que determinan en el método utilizado acorde al índice de Biological Monitoring Working Party (BMWP) propuesto y las clases de calidad del agua establecidas para la representación de cada color.

**Tabla 21**

*Clases de calidad y los valores asignados al BMWP*




<b>Clase</b>	<b>Calidad</b>	<b>BMWP</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
<b>I</b>	Buena	101 – 120	Aguas muy limpias. No contaminadas	<b>Azul</b>
<b>II</b>	Aceptable	61 – 100	Se evidencia algún efecto de contaminación	<b>Verde</b>
<b>III</b>	Dudosa	36 – 60	Aguas contaminadas	<b>Amarillo</b>
<b>IV</b>	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas	<b>Naranja</b>
<b>V</b>	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	<b>Rojo</b>




*Nota:* Esta tabla muestra los rangos de determinación de la calidad del agua acorde a la puntuación obtenida del índice del Biological Monitoring Working Party. Tomado de Evaluación de la calidad del agua, por Ochieng, 2020.




La tabla 21 mostrada a continuación detalla los macroinvertebrados encontrados, el número de especies de cada uno y la puntuación de Biological Monitoring Working Party BMWP otorgada a cada familia acorde a su índice, usados como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua del río Ambi.




**Tabla 22**



*Macroinvertebrados encontrados en el sitio de estudio y su puntuación acorde al índice BMWP*




<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMWP</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Amphipoda</b>	Talitridae	44	7	
<b>Hymenoptera</b>	Vespidae	2	-	
<b>Araneae</b>	Lycosidae	5	-	




<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Diptera</b>	Calliphoridae	38	-	
<b>Hemiptera</b>	Nepomorpha corixidae	11	4	
<b>Hemiptera</b>	Corixidae	7	4	



<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Scolopendrida</b>	Scolopendridae	8	-	
<b>Araneae</b>	Loxoscelidae	5	-	
<b>Araneae</b>	Lycosidae	2	-	

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Diptera</b>	Muscidae	27	4	
<b>Diptera</b>	Asilidae	18	-	
<b>Odonata</b>	Coenagrionidae	1	5	

ORDEN	FAMILIA	TOTAL ESPECI ES	BMW P	FOTOGRAFÍA
<b>Thysanopter</b> <b>a</b>	Jezzinothripid ae	15	-	
<b>Hymenopter</b> <b>a</b>	Crabronidae	4	-	

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Escorpionida</b> e	Buthidae	3	-	
<b>Colembolla</b>	Neanuridae	64	-	
<b>Orthoptera</b>	Gryllidae	1	-	

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Coleoptera</b>	Chrysomelidae e	8	5	
<b>Díptera</b>	Ceratopogoni dae	22	4	
<b>Ephemeropte ra</b>	Baetidae	7	4	

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIA</b>	<b>TOTAL ESPECIES</b>	<b>BMW P</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>Hemiptera</b>	Dactylopiidae	16	-	
<b>Hemiptera</b>	Aphididae	19	-	

*Nota:* Esta tabla muestra los macroinvertebrados identificados obtenidos en los puntos de muestreo, conjuntamente con la puntuación asignada a cada una de las familias que han sido evaluadas acorde al índice del Biological Monitoring Working Part

Se identificaron un total de 13 órdenes y 21 familias de macroinvertebrados en el río Ambi. El puntaje obtenido para el índice de Biological Monitoring Working Party BMWP para el río Ambi es de 37, lo cual, lo categoriza en una Clase III, con una calidad de agua no apta para el consumo humano ya que posee un color amarillo, lo que significa que las aguas se encuentran contaminadas.

#### **5.4 SOCIALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La socialización de la investigación se llevó a cabo en la PUCE-SI el 06 de junio del 2022 con la presencia estudiantes y docentes de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales pertenecientes a la materia de Trabajo de Titulación y el asesor con el objetivo de valorar la importancia de la investigación realizada.

La investigación tuvo un nivel alto de aprobación por los estudiantes que asistieron, obteniendo de esta manera que un 81% de personas consideran que el tema de investigación posee relevancia para la sociedad, que el 88% piensa que es de suma importancia que se realicen investigaciones posteriores acerca del mismo tema en el mismo lugar, el 90% piensa que el tema de investigación presentado puede poseer beneficios tanto para entidades públicas como privadas así como también para algunas comunidades y el 93,3% consideran que han sido cumplidos los objetivos de esta investigación.

## CAPÍTULO VI

### 6.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que el agua del río Ambi no es apta para consumo humano, lo cual, es producto no únicamente de las condiciones geomorfológicas del sector generadas por los procesos naturales, sino que principalmente esta contaminación es causada por actividades antropogénicas como el vertido de aguas residuales industriales y/o urbanos al río sin un tratamiento previo alterando de esta manera el ecosistema y la biota acuática.
- En los resultados obtenidos de acuerdo al análisis químico, la Demanda Química de Oxígeno como la Demanda Bioquímica de Oxígeno mostraron valores muy por encima del criterio de calidad permisible de acuerdo a la normativa vigente, por lo que se concluye que la calidad del agua de los ríos es crítica y no presenta las condiciones óptimas para el crecimiento y reproducción de muchos organismos acuáticos.
- A pesar de la presencia de contaminantes en el río, el pH mostró un valor promedio normal, lo que indica un alto potencial de resiliencia, lo que contribuye a la mayor resistencia de la biota acuática a ciertos componentes tóxicos. Además, un valor de pH suficiente es fundamental, ya que contribuye al mantenimiento de la fauna y flora de las masas de agua y reduce el potencial tóxico de determinadas sustancias.
- Mediante el método BMWP se concluye que la calidad del agua del río Ambi es dudosa y se encuentra contaminada. Por lo tanto, también se concluye que, este método representa una herramienta muy útil para la bioindicación de la calidad de cuerpos de agua de media y baja densidad, especialmente apto para los ecosistemas de la región andina ecuatoriana y es aplicable en diferentes regiones del país, para el análisis de distintos cuerpos de agua mientras se tenga en cuenta sus características.
- La socialización del tema de investigación realizada fue de gran importancia y obtuvo una buena acogida por parte de los asistentes, ya que de acuerdo con la encuesta realizada dio como resultado que se cumplieron con los objetivos que se plantearon

en la investigación y que de la misma manera posee gran relevancia para posteriores estudios del sitio.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar la presente investigación como una guía para la ejecución de investigaciones similares. Además, este estudio debe realizarse durante al menos los próximos veinte años, para ver si los indicadores químicos y biológicos varían con el tiempo, analizar los indicadores utilizados y definir puntos de muestreo, confirmarlos o mejorarlos.
- Teniendo en cuenta que las aguas residuales sin tratar tienen un impacto negativo en el medio ambiente del río, para reducir este impacto, se recomienda utilizar plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua.
- En ese sentido, se recomienda a los funcionarios seccionales gestionar el mejoramiento de la calidad del río Ambi, considerando que el agua inocua es un derecho de todo poblador, así como también se debe mantener un ecosistema sano.
- También es necesario sensibilizar a la población que vive cerca de los canales de derivación de agua para evitar la contaminación del agua con desechos orgánicos e inorgánicos.

### 6.3 BIBLIOGRAFÍA

- Alba, T. J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *In IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería, 2, 203-213.
- Arboleda, V. J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Vol. 3). Bogotá, Colombia : Mc Graw Hill.
- Baños, L. G. (2012). *Distribución y concentración de Coliformes totales, Coliformes fecales, Escherichia coli Y Enterococos en el agua y sedimento en el estero salado (tramos B, D, EYG) (Master's thesis)*. Guayaquil: Universidad de GUayaquil.
- Betancourt, C., & Labaut, Y. (2013). La calidad físicoquímica del agua en embalses, principales variables a considerar. *Revista Científica Agroecosistemas*. Obtenido de <https://ceema.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/65/65>
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*. doi:10.22507/pml.v12n2a3
- Cárdenas , D., & Patiño , F. (2019). “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE TUTUCÁN, CANTÓN PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY. Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/725/1/ti853.pdf>
- Chacón, I., & Ramos, C. (2019). *Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA UNION.
- Domínguez , R., León , M., Samaniego , J., & Sunkel , O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad* . Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf)
- Escobar, I. (2010). Agua sostenible para el futuro. *Elsevier*, 94.

- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.
- Forero, C. A., Reinoso, F. G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río opia (tolima-colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos: water quality assessment of the Opia River (Tolima-Colombia), using macroinvertebrates and physicochemical parameters. *Caldasia*, 35(2), 371-387.
- García, G. (2012). La contaminación del agua. *GlobalPrint*, 24.
- Gualdrón, L. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE COLOMBIA USANDO PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS*. Socorro: Universidad Libre Colombia.
- Guerra, C. (2019). *Implementación de obras de toma de agua flotantes en los embalses de la ciudad de Santa Clara. Estudio técnico económico*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Guillen, M., & Cañazaca, M. (2020). *Remoción de dureza del agua mediante resinas catiónicas para el uso industrial y consumo humano. Una revisión*. Juliaca: UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN.
- Lara, G. (2021). *Manejo y Conservación del Agua*. Obtenido de [http://instipp.edu.ec/instipp/assets/pdf/guias/manuel/s3\\_manejodelagua.pdf](http://instipp.edu.ec/instipp/assets/pdf/guias/manuel/s3_manejodelagua.pdf)
- Leaño, J., & Pérez, D. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Rio Trancas, Municipio de Entre Ríos - Tarija. *Acta Nova*. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892020000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892020000100007&script=sci_arttext)
- López, M. (2002). Manual de muestreo . *EMAAP-Q*.
- Mancheno, G., & Ramos, C. (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*. Escuela Politécnica Nacional , Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental., Quito.

Mora, D., Portuguez, C., Alfaro, N., & Hernández, M. (2015). Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la Península de Nicoya y los otros distritos de Guanacaste. *Revista Tecnología en Marcha*. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822015000300003](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000300003)

Navarro, Á. A., Padilla, J. B., & Prías, J. J. (2013). Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura bajo Condiciones de Estanque Artificial. *Scientia Et Technica*, 401-408. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84929153017.pdf>

NOLLET, L. (2007). Manual de análisis de agua: Análisis Bacteriológico del Agua.

Ochieng, H., Odong, R., & Okot-Okumu, J. (2020). Comparison of temperate and tropical versions of Biological Monitoring Working Party (BMWP) index for assessing water quality of River Aturukuku in Eastern Uganda. *Global Ecology and Conservation*, e0118.

ONU. (2015). *Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida"*. Obtenido de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Organización Mundial de la Salud. (2013). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)

Potes, M., Costa, M. J., & Salgado, R. (2012). Satellite remote sensing of water turbidity in Alqueva reservoir and implications on lake modelling. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 1623-1633. Obtenido de <https://hess.copernicus.org/articles/16/1623/2012/hess-16-1623-2012.pdf>

Raffo, E. (2013). TRATADO DEL AGUA Y LA LEGISLACIÓN PERUANA. *Industrial Data*, 106-117. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81632390013.pdf>

- Ramos, P. (2015). Calidad de agua en ríos. *Castilla – España*, 54 – 60.
- Riuz, K. (2018). *Validación de Métodos de ensayo para determinación de pH, Conductividad, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos y Sólidos Disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Rosado, M. (2019). *INCIDENCIA DEL AGUA DE SERVICIO PÚBLICO EN LA SALUD DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA VINCES PROVINCIA DE LOS RÍOS*. Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7234/P-UTB-FCJSE-CNATURALES-000003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 151-198.
- Toasa, F. (2012). *VALIDACION DE LOS METODOS DE ENSAYO PARA FENOLES, TENSOACTIVOS, SOLIDOS SUSPENDIDOS Y TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS (TDS)*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Toro, C. (2022). *Propuesta de un método alternativo para la determinación de grasas y/o aceites en matriz de agua residual doméstica y no doméstica para la empresa HidroQuímica Laboratorio Ambiental S.A.S*. Medellín: Universidad de Antioquía.
- Torres, E., & García, M. (2018). *Diseño del sistema de agua potable con planta de filtración rápida en las localidades de Atahualpa, Alto Sol y Ricardo Palma, Provincia de Mariscal*. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Tarapoto. Obtenido de [file:///C:/Users/CIR.%20BOL%C3%8DVAR%20I7/Downloads/Torres\\_DE-Garc%C3%ADa\\_TM.pdf](file:///C:/Users/CIR.%20BOL%C3%8DVAR%20I7/Downloads/Torres_DE-Garc%C3%ADa_TM.pdf)
- VELP Científica. (2015). Demanda Bioquímica de Oxígeno. Milano Italia. *VELP*.
- Villanueva, M., & Ávila, J. (2019). *ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA (TURBIEDAD Y COLOR) DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE FLUJO ASCENDENTE*

*CONSTRUIDO CON MATERIALES GRANULARES PARA BAJANTES DE AGUA LLUVIA* . Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24923/1/AN%C3%81LISIS%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20FILTRACI%C3%93N%20DE%20FLUJO%20ASCENDENTE%20PARA%20BAJANTES%20DE%20AGU.pdf>

## ANEXOS

**Figura 12**

*Colección de muestras*



*Nota:* Colección de muestras del agua del Río Ambi para su posterior análisis

**Figura 13**

*Análisis químico*



*Nota:* Análisis químico de las muestras en el laboratorio de Química de la PUCE-SI

**Figura 14**

*Análisis químico de las muestras*



*Nota:* Análisis de las muestras de agua colectadas

## Figura 15

*Análisis químico de las muestras*



*Nota:* Análisis de las concentraciones de las muestras de agua

## Figura 16

*Análisis biológico*



*Nota:* Colocación de trampas para la colección de macroinvertebrados

**Figura 17**

*Análisis biológico*



*Nota:* Muestras de macroinvertebrados colectados e identificados

**Figura 18**

*Análisis biológico*



Nota: Identificación de macroinvertebrados

Figura 19

Presentación de diapositivas para la socialización de los resultados

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
Determinación de la calidad del agua mediante medios químicos y biológicos de contaminación en el río Ambi, ciudad de Atuntaqui en la provincia de Imbabura.  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo  
AUTOR: KAREN GEOVÁNNA CARVAJAL CARABALL  
ASESOR: Dr. Rubén del Toro Déniz

**INTRODUCCIÓN**

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra**  
El agua es un recurso abundante en Imbabura, constituye una fuente de abastecimiento convencional. Uno de los grandes problemas es la descarga de grandes volúmenes de aguas residuales no tratadas, que pueden disminuir la capacidad de dilución y autodepuración.  
La mejor decisión **ser más**

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra**  
**QUÍMICOS**  
**BIOLÓGICOS**  
La mejor decisión **ser más**

**OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL**  
Determinar la calidad del agua del Río Ambi ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura mediante medios químicos y biológicos para el análisis de contaminación en el mismo.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Análisis la calidad del agua mediante medios químicos y biológicos en los sitios de muestreo para la evaluación de la situación actual del río.
- Identificar los principales componentes químicos y los macroinvertebrados encontrados en el Río Ambi para que posteriormente puedan ser analizados de acuerdo con las normativas correspondientes del agua.
- Socializar los resultados a los usuarios del agua del Río Ambi, para que se tomen medidas correctivas para la conservación de la calidad del agua.

La mejor decisión **ser más**

**ESTADO DEL ARTE**

**Situación geográfica de la población**  
El Río Ambi se encuentra ubicado en la ciudad de Atuntaqui, provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui, Otavalo y sector del Cantón Cotacachi.

**El agua**  
El agua es un recurso natural que posee características específicas, de gran significado para todos los seres vivos, este como el más abundante de los recursos en el planeta Tierra, que es dominante en procesos físicos, químicos y biológicos que suceden en la naturaleza.

**Agua de los ríos**  
Los ríos en su estado natural cumplen con funciones que son de gran ayuda para el ecosistema, sirve para el uso de todos los seres humanos, se auto purifica, controla sequías e inundaciones, es el hábitat de una infinidad de especies silvestres, también mantiene los flujos de nutrientes y sedimentos que son dirigidos hasta la desembocadura.

La mejor decisión **ser más**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

**Calidad del agua**

- La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra respecto a sus características físico, químicas y biológicas, sea en su estado natural o después de haber sido tratada, alterada bajo cualquier sistema por acciones antrópicas.

**Contaminación del agua**

- La contaminación del agua se puede dar debido al derrame de fluidos que son portadores de sustancias tóxicas, así como la acumulación de las mismas en un sistema hídrico como puede ser en ríos, cascadas, mares, entre otros alterando de esta manera la calidad del agua

**Aspectos fisicoquímicos del agua**

- Turbidez
- Temperatura
- Sólidos disueltos totales
- pH
- Dureza
- Alcalinidad
- Conductividad
- DBO5
- DO
- Oxígeno disuelto

La mejor decisión **ser más**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

**Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Agua**

El análisis con macroinvertebrados permite realizar un estudio de manera muy integral, estos reaccionan a perturbaciones que se generan dentro del hábitat en el que viven, cambiando la estructura de la población, su presencia o abundancia

La mejor decisión **ser más**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

**Materiales**

**Equipos**

**Reactivos**

La mejor decisión **ser más**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

**Procedimiento**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

La mejor decisión **ser más**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

**Resultados obtenidos de parámetros químicos**  
Capítulo 4 del CPE ENEN 5.

**pH**  
Valor Máximo Permisible: 8,5

Punto	pH
Punto 1	8,30
Punto 2	8,00
Punto 3	8,20

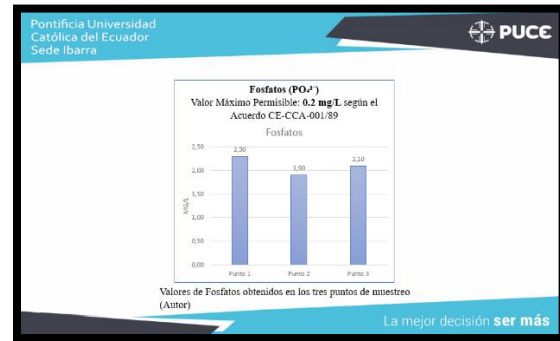
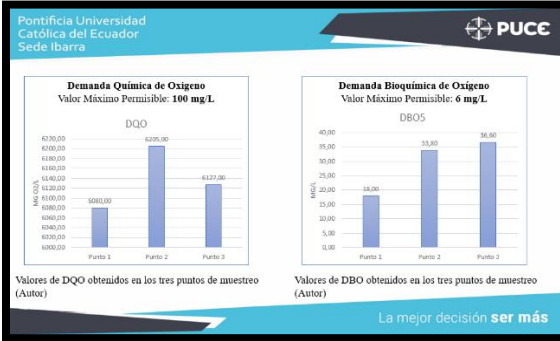
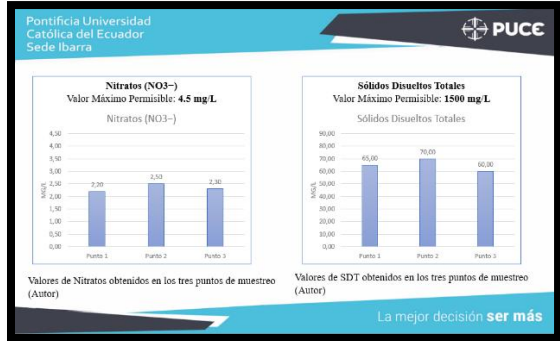
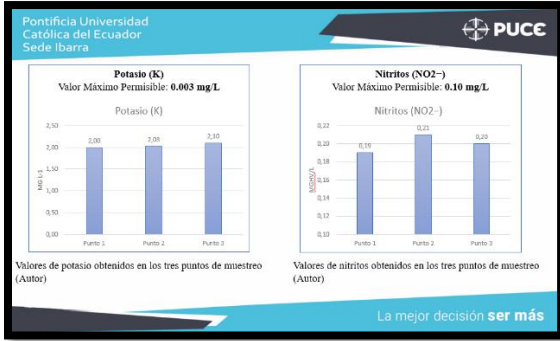
Valores de pH obtenidos en los tres puntos de muestreo (Autor)

**Turbidez**  
Valor Máximo Permisible: 10 NTU

Punto	Turbidez (NTU)
Punto 1	2,64
Punto 2	7,33
Punto 3	2,80

Valores de turbidez obtenidos en los tres puntos de muestreo (Autor)

La mejor decisión **ser más**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

Estas especies fueron evaluadas como bioindicadores basados en el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Nº	FAMILIA	TOTAL ESPECIES	BMWP	FOTOGRAFÍA
1	Amblyptera Tábidos	41	1	
2	Blattariptera Vespúlidos	2	1	
3	Ameletos Coleópteros	3	1	
4	Blattariptera Tenebrionídeos	11	4	
5	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
6	Trichoptera Trichoptéridos	8	1	

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

Nº	FAMILIA	TOTAL ESPECIES	BMWP	FOTOGRAFÍA
7	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
8	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
9	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
10	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
11	Blattariptera Curculiónidos	1	4	

La mejor decisión **ser más**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

Nº	FAMILIA	TOTAL ESPECIES	BMWP	FOTOGRAFÍA
12	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
13	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
14	Blattariptera Curculiónidos	1	4	
15	Blattariptera Curculiónidos	1	4	

La mejor decisión **ser más**


Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra

El puntaje obtenido acorde al índice de Biological Monitoring Working Party BMWP para el río Ambi es de 37, lo cual, lo categoriza en una Clase III, con una calidad de agua no apta para el consumo humano.

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
I	Buena	101-120	Agua muy limpia. No contaminada	Azul
II	Aceptable	61-100	Se evidencia algún efecto de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Agua contaminada	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Agua muy contaminada	Naranja
V	Muy crítica	<15	Agua fuertemente contaminada	Rojo

La mejor decisión **ser más**




Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra 

### Conclusiones

- En general, se concluye que el agua del río Ambi no es apta para consumo humano, lo cual, es producto no únicamente de las condiciones geomorfológicas del sector generadas por los procesos naturales.
- Tanto la DQO como la DBO5 mostraron valores muy por encima de los niveles aceptables, por lo que se concluye que la calidad del agua del río es crítica.
- A pesar de la presencia de contaminantes en el río, el pH mostró un valor promedio normal, lo que indica un alto potencial de resiliencia, lo que contribuye a la mayor resistencia de la biota acuática a ciertos componentes tóxicos.
- Mediante el método BMWP se concluye que la calidad del agua del río Ambi es dudosa y se encuentra contaminada.

La mejor decisión **ser más**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra 

### Recomendaciones

- Se recomienda utilizar la presente investigación como una guía para la ejecución de investigaciones similares. Además, este estudio debe realizarse durante al menos los próximos veinte años, para ver si los indicadores químicos y biológicos varían con el tiempo, analizar los indicadores utilizados y definir puntos de muestreo, confirmarlos o mejorarlos.
- Teniendo en cuenta que las aguas residuales sin tratar tienen un impacto negativo en el medio ambiente del río, para reducir este impacto, se recomienda utilizar plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua.
- En ese sentido, se recomienda a los funcionarios seccionales gestionar el mejoramiento de la calidad del río Ambi, considerando que el agua inocua es un derecho de todo poblador.
- También es necesario sensibilizar a la población que vive cerca de los canales de derivación de agua para evitar la contaminación del agua con desechos orgánicos e inorgánicos.


La mejor decisión **ser más**



*Nota:* Presentación de diapositivas para la socialización de los resultados

**Figura 20**

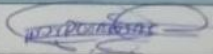


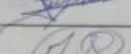
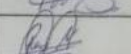
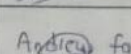
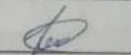
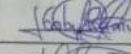
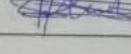
*Lista de asistencia*



Pontificia Universidad Católica del Ecuador | Sede Ibarra

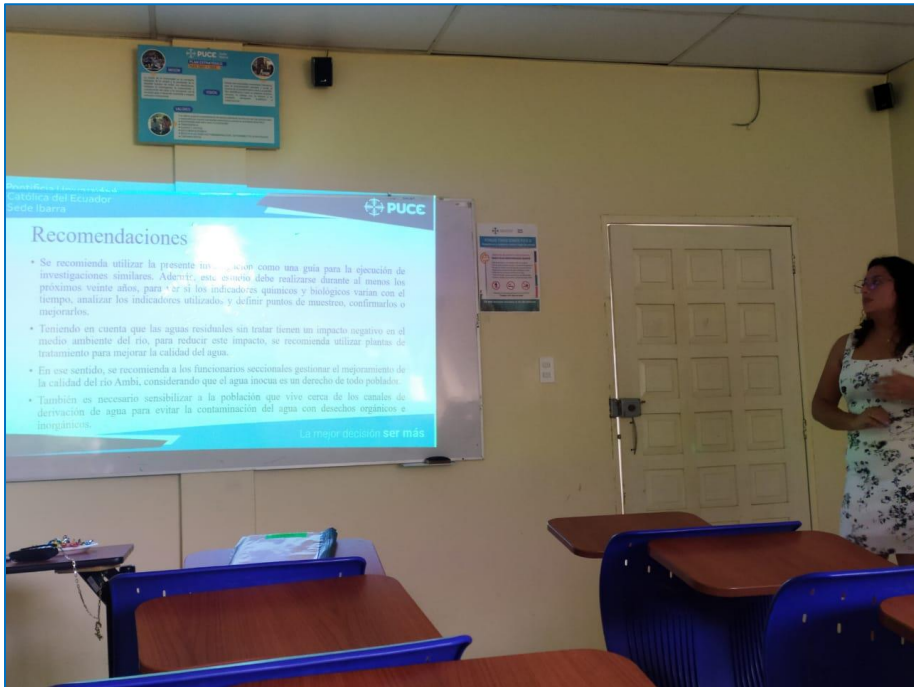
**LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

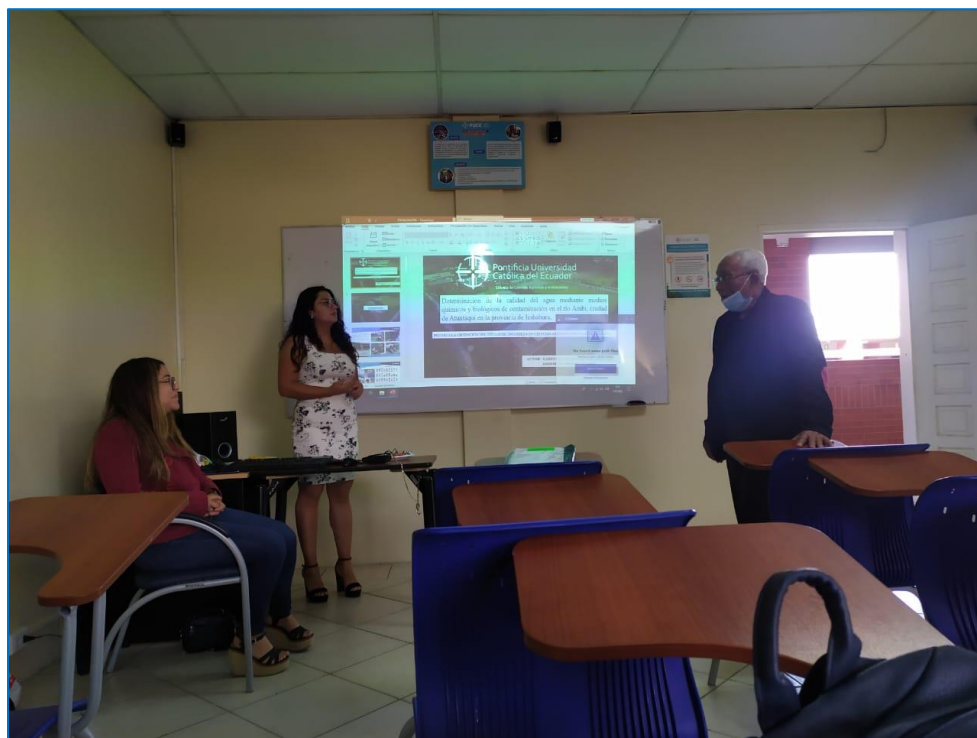
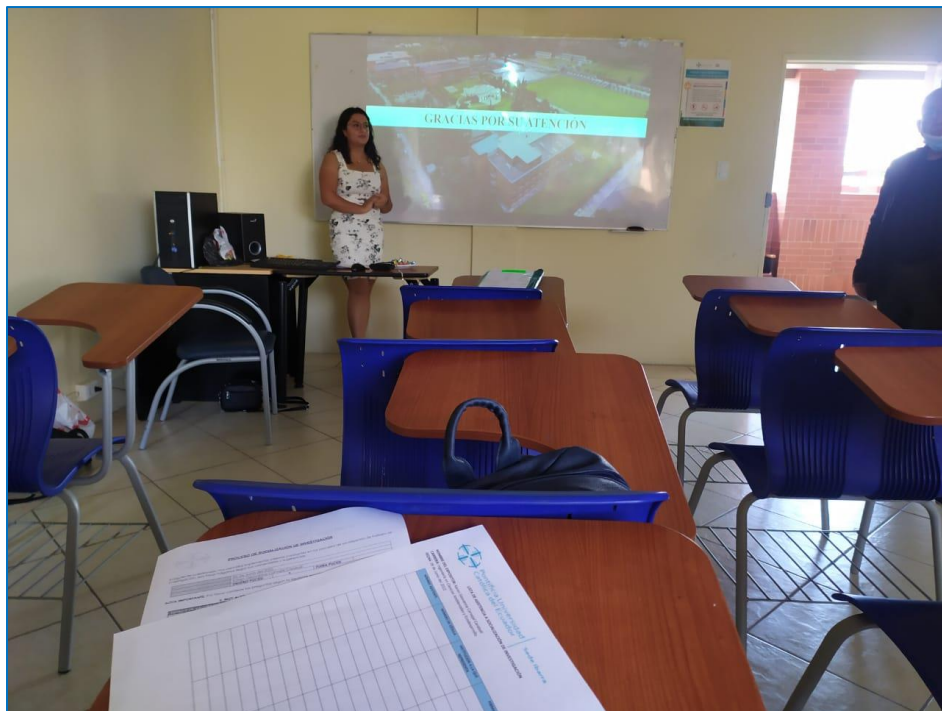
**NOMBRE DEL EXPOSITOR:** Karen Geovanna Carvajal Carabali  
**CARRERA:** Ingeniería en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo  
**FECHA:** 06 de Junio del 2022

NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Indira Margareta Unesta Castilla	040175517-8	ECAA	
Ingrid Hernandez Fernando Bonillo	1003926761	ECAA	
Danny Olivier Suñedo Alvarez	090187455-7	ECAA	
Josue Quisla	092364803-4	ECAA	
Matteo Patiño	172178592-6	ECAA	
Renny Horváez	150125400-5	ECAA	
Andrew Fandiño	7777970358	ECAA	Andrew Fandiño
Pamela Chamorro	0902116040	ECAA	
Gabriela Ramirez	0401633854	ECAA	
Joselyn Izurieta	1004487029	ECAA	

*Nota:* Lista de asistencia de socialización de la investigación







*Nota:* Socialización de la investigación