

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**

**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CAUDAL DE AGUA PARA RIEGO EN ÉPOCAS DE ESTIAJE, EN LA QUEBRADA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SAN MIGUEL DE EL FAIQUE-HUANCABAMBA ENTRE LOS MESES DE AGOSTO A NOVIEMBRE DEL 2018”**

**EJECUTOR:**

**Bach. Cristhian Aníbal Minga Pongo**

**ASESOR:**

**Ing. Iván Joel Rivas Arica**

**CHULUCANAS – PERÚ**

**2019**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° ~~008~~ 2019-UCSS/FIA-DI

Siendo las 2.00 pm, del día 07 de agosto de 2019, en el Auditorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae de la Filial Morropón: Chulucanas, el Jurado de Tesis, integrado por:

- |                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Mg. Manuel Antonio Trelles Velasco | Presidente      |
| 2. Mg. Eriberto Ruiz Rosales          | Primer Miembro  |
| 3. Mg. Darwin Vilcherrez Vilela       | Segundo Miembro |
| 4. Ing. Iván Joel Rivas Arica         | Asesor          |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CAUDAL DE AGUA PARA RIEGO EN ÉPOCAS DE ESTIAJE, EN LA QUEBRADA SAN ANTONIO, DISTRITO DE SAN MIGUEL DE EL FAIQUE-HUANCABAMBA ENTRE LOS MESES DE AGOSTO A NOVIEMBRE DE 2018", que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, el Sr. **Cristhian Anibal Minga Pongo** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación, el Jurado luego de deliberar acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de *Buena* y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Firmado en Morropón, 07 de agosto de 2019.

Mg. Manuel Antonio Trelles Velasco  
PRESIDENTE

Mg. Eriberto Ruiz Rosales  
1° MIEMBRO

Mg. Darwin Vilcherrez Vilela  
2° MIEMBRO

Ing. Iván Joel Rivas Arica  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rufino Minga Calderón y Faustina Calderón Santa Cruz por su gran ejemplo, esfuerzo, dedicación, perseverancia e inculcarme buenos valores. Ellos son la motivación de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darme salud y fortaleza durante estos años de vida y darme una familia que me apoya y me brinda su amor incondicional.

Mi agradecimiento profundo a la Universidad Católica Sedes Sapientiae, y al personal administrativo, asimismo agradecer al Mons. Daniel Turley Murphy por el apoyo y facilidad que me brindó para poder formarme como profesional en dicha casa de estudios. Agradecer también a mis profesores y en especial al Ing. Iván Joel Rivas Arica por guiarme con una acertada dirección para el desarrollo de esta investigación.

Un especial reconocimiento a la consultora Environmental Quality Analytical Services S.A. (EQUAS S.A.) y al Ing. Cesar Ulises Sánchez Sánchez por la oportunidad, enseñanza y colaboración brindada.

Agradezco a mi querido tío el Tec. Bartolo Minga Calderón por su apoyo en la etapa de monitoreo, a mi tía Lic. Carmen Minga Calderón y a mis demás tíos y tías por el apoyo moral y económico que me brindaron.

Agradecer infinitamente al Sr. Cesar Aníbal Ibáñez Pongo, jefe de Unidad Local de Empadronamiento de la municipalidad distrital de San Miguel de El Faique, por la información que me brindó para este trabajo.

Un agradecimiento especial a mis amigos y compañeros de aula por el apoyo y su amistad, además, a las personas que me acogieron en su hogar durante la etapa de mi formación, por la confianza y ayuda prestada durante la realización de este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
Índice general.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de apéndices.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xiii
Introducción.....	xv
Capítulo I: Revisión de literatura.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco normativo.....	9
1.2.1. Normativa legal nacional.....	9
a. Constitución Política del Perú.....	9
b. Ley de Recursos Hídricos-Ley N° 29338.....	9
c. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.....	12
d. Ley General del Ambiente.....	14
e. Estándares de Calidad del Agua.....	16
f. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.....	17
g. Ley de Municipalidades.....	17
h. Ley General de Salud.....	17
i. Reglamento de calidad de agua para consumo humano.....	18
1.2.2. Estándares internacionales para la calidad de agua para consumo humano.....	18
1.3. Bases teóricas.....	18
1.3.1. Calidad y cantidad de agua en una cuenca hidrográ- fica.....	18
1.3.2. Servicios ecosistémicos.....	19
a. Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	19
b. Importancia de la conservación de los ecosistemas.....	20
c. Ecosistemas boscosos y disponibilidad del recurso hídrico.....	20
1.3.3. Cambio climático y escasez de agua.....	22
1.3.4. Contaminación del agua.....	23
a. Origen de la contaminación.....	23

b. Tipos de contaminación.....	24
1.3.5. El agua.....	24
a. Cuerpos de agua.....	25
b. Calidad de agua.....	25
c. Calidad de agua para uso agrícola o de riego.....	27
1.3.6. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.....	31
a. Parámetros físicos.....	31
b. Parámetros químicos.....	33
c. Parámetros microbiológicos.....	38
1.3.7. Disminución y medición del caudal hídrico.....	40
a. Hidrometría y métodos para medir el caudal.....	41
1.3.8. Toma de muestra.....	44
1.3.9. Índices de calidad de agua (ICA).....	45
a. Antecedentes de los ICA.....	45
b. ICA más empleado a lo largo del tiempo.....	46
Capítulo II: Materiales y métodos.....	50
2.1. Diseño de la investigación.....	50
2.1.1. Lugar y fecha de ejecución.....	50
2.1.2. Descripción de la zona de investigación.....	52
2.1.3. Tipo de investigación.....	53
2.1.4. Método de investigación.....	54
a. Metodología para recolección de muestras del agua.....	54
b. Métodos de análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.....	55
c. Método para determinar la calidad del agua.....	58
d. Método para calcular el caudal de la quebrada.....	59
2.2 Análisis de datos.....	60
2.2.1. Procesamiento de información y análisis estadístico de datos.....	60
Capítulo III: Resultados.....	63
3.1. Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.....	63
3.1.1. Resultados del pH.....	64
3.1.2. Resultados de la temperatura.....	65
3.1.3. Resultados de aceites y grasas.....	67
3.1.4. Resultados de conductividad eléctrica.....	68

3.1.5. Resultados de exámenes microbiológicos.....	70
3.1.6. Comparación con los ECA, categoría 3 y 1, para riego de vegetales de uso no restringido y de uso restringido y para bebida de animales.....	73
3.2. Resultados de la medición del caudal.....	77
Capítulo IV: Discusiones.....	79
4.1 Discusión sobre los parámetros físico-químico y microbiológicos.....	79
4.2. Discusión sobre el caudal en la quebrada de San Miguel de El Faique.....	81
Capítulo V: Conclusiones.....	82
Capítulo VI: Recomendaciones.....	83
Referencias bibliográficas.....	84
Terminología.....	94
Apéndices.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Límite máximos permisibles del agua para consumo humano según O.P.S.</i> .....	15
Tabla 2. <i>Clasificación de agua según contenido de sales por laboratorio de salinidad de E.U.</i> .....	27
Tabla 3. <i>Tipo de conductividad eléctrica a tomar en cuenta para riego</i> .....	28
Tabla 4. <i>Tolerancia de la salinidad de algunos cultivos</i> .....	29
Tabla 5. <i>Clasificación de las aguas de riego en función a la salinidad</i> .....	30
Tabla 6. <i>Sistema de riego y problemática con la salinidad del agua</i> .....	31
Tabla 7. <i>Categorización de los componentes químicos</i> .....	34
Tabla 8. <i>Parámetros seleccionados por Brown et al. 1970</i> .....	49
Tabla 9. <i>Ubicación de los puntos de muestreo</i> .....	52
Tabla 10. <i>Descripción de los puntos de muestreo</i> .....	53
Tabla 11. <i>Profundidad sugerida para medir velocidades</i> .....	60
Tabla 12. <i>Resultados de pH en la quebrada San Antonio</i> .....	64
Tabla 13. <i>Estadísticos de pH de la quebrada San Antonio</i> .....	64
Tabla 14. <i>Resultados de temperatura en la quebrada San Antonio</i> .....	65
Tabla 15. <i>Estadísticos de temperatura de la quebrada San Antonio</i> .....	65
Tabla 16. <i>Resultados de aceites y grasas en la quebrada San Antonio</i> .....	67
Tabla 17. <i>Estadísticos de aceites y grasas de la quebrada San Antonio</i> .....	67
Tabla 18. <i>Resultados de conductividad eléctrica en la quebrada San Antonio</i> .....	68
Tabla 19. <i>Estadísticos de conductividad eléctrica</i> .....	68
Tabla 20. <i>Resultados de coliformes totales y fecales de la quebrada San Antonio</i> .....	70
Tabla 21. <i>Estadísticos coliformes totales y fecales de la quebrada San Antonio</i> .....	70
Tabla 22. <i>Resultados de los parámetros monitoreados de la quebrada San Antonio</i> .....	72
Tabla 23. <i>Estadísticos los parámetros monitoreados en la quebrada San Antonio</i> .....	72
Tabla 24. <i>Promedio de los parámetros monitoreados y comparación con la categoría 3 del ECA para agua</i> .....	73
Tabla 25. <i>Promedio de los parámetros monitoreados y comparación con la categoría 1 del ECA para agua</i> .....	73
Tabla 26. <i>Datos de la velocidad promedio y área de sección donde discurre el agua</i> .....	76
Tabla 27. <i>Caudal promedio en los tres meses de aforo</i> .....	77



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Ecosistema boscoso de cabecera de cuenca de la quebrada San Antonio.....	22
<i>Figura 2.</i> Mapa de localización del distrito San Miguel de El Faique.....	51
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación de puntos de muestreo de la quebrada San Antonio.....	53
<i>Figura 4.</i> Correntómetro Global Water modelo FP11.....	59
<i>Figura 5.</i> Relación de figura geométrica de un canal en forma rectangular.....	60
<i>Figura 6.</i> Resultados de pH.....	64
<i>Figura 7.</i> Resultados de la temperatura.....	66
<i>Figura 8.</i> Relación entre temperatura y conductividad eléctrica.....	66
<i>Figura 9.</i> Comportamiento de la temperatura respecto al valor máximo y mínimo.....	67
<i>Figura 10.</i> Resultados de conductividad eléctrica.....	69
<i>Figura 11.</i> Comportamiento de la conductividad eléctrica respecto al valor máximo.....	69
<i>Figura 12.</i> Resultados de coliformes totales.....	71
<i>Figura 13.</i> Resultados de coliformes fecales.....	71
<i>Figura 14.</i> Comportamiento de coliformes totales y fecales durante el muestreo.....	72
<i>Figura 15.</i> Comparación del pH con el ECA.....	74
<i>Figura 16.</i> Compración de aceites y grasas con el ECA.....	74
<i>Figura 17.</i> Comparación de conductividad eléctrica con el ECA.....	75
<i>Figura 18.</i> Comparacion de coliformes totales con el ECA.....	74
<i>Figura 19.</i> Comparación de coliformes fecales con el ECA.....	75
<i>Figura 20.</i> Caudal durante los meses de aforo en la quebrada San Antonio.....	77

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice 1. Mapa del distrito San Miguel de El Faique.....	96
Apéndice 2. Fotografías.....	96
Apéndice 3. Formato de captura de datos de aforo, canales de riego de la quebrada San Antonio y metales monitoreados en la cuenca del río Piura.....	100

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad y caudal de agua para riego en épocas de estiaje, en la quebrada San Antonio, distrito de San Miguel de El Faique-Huancabamba entre los meses de agosto a noviembre del 2018. El trabajo incluyó la medición del caudal, que se hizo mediante un correntómetro Global Water modelo FP11.

La metodología para el desarrollo del trabajo tuvo enfoque descriptivo, por ello se recolectaron datos de diferentes fuentes como: la municipalidad distrital de San Miguel de El Faique y la Autoridad Nacional del Agua, entre otros. La recolección de muestras de agua se realizó de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por R.J. N° 010-2016-ANA, en el cual detalla la preparación de materiales, equipo y las precauciones para el muestreo, conservación y traslado de muestras.

Los parámetros físico-químicos pH, temperatura, se realizaron *in situ* y se utilizó el pHmetro Termo Cientific Orion. En toda la etapa de monitoreo se analizaron los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, aceites y grasas, coliformes totales y fecales. Una vez obtenido los datos del laboratorio de la consultora Equas S.A. se procedió a realizar un análisis estadístico en Excel 2013 y MiniTab 17.

Después de haber realizado el trabajo estadístico, se procedió a comparar los resultados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua D.S. N° 004-2017-MINAM. Los parámetros que sobrepasan la normativa ambiental son: el pH que cuyo valor fue 8.82, en el tercer punto del primer muestreo, los coliformes totales como valores promedio tuvieron 703 NMP/100 ml, 1 2646.66 NMP/100 ml y 370 NMP/100 ml, para los coliformes fecales los valores promedio fueron de 63.6 NMP/100ml, 2 016.67 NMP/100 ml y 76.7 NMP/100 ml respectivamente en los tres meses de muestreo. El caudal máximo fue de 0.059 m<sup>3</sup>/s en el último mes de muestreo y en el tercer punto.

De acuerdo a los resultados principales se concluye que el agua es apta para riego de vegetales en sus dos subcategorías. Sin embargo, durante el monitoreo también se observó que los pobladores utilizan esta agua para beber directamente, pero según los resultados obtenidos esta agua no es apta para este tipo de uso ya que contiene un elevado número de coliformes totales y fecales, es por ello que la población no puede consumirla sin antes realizar un tratamiento previo.

**Palabras clave:** *Calidad, cantidad, recurso hídrico, autodepuración, índice de calidad, regulación hídrica, ecosistema.*

## ABSTRACT

The present research work has as objective evaluate the quality and flow of water for irrigation during the dry season, in the San Antonio creek, San Miguel de El Faique-Huancabamba district between the months of august to november 2018, the work included the flow measurement, which was done using a Gobal Water FP11.

The methodology for present work had a descriptive approach, therefore data was collected from different sources such as: district municipality of the San Miguel of El Faique and the National Water Authority, among others. For the collection of water samples, was carried out according to the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources, approved by R.J. N° 010-2016-ANA, in which it details the preparation of materials, equipment and precautions for the sampling, conservation and transfer of samples.

The physical-chemical parameters pH, temperature were performed In Situ and the Orion thermoscientific pHmeter was used. Throughout the monitoring stage, the following parameters were analyzed: electrical conductivity, oils and fat, and total and fecal coliforms. Once obtained the data from the laboratory of the Equas consultancy, S.A, a statistical analysis was carried out in Excel 2013 y Minitab 17.

After carrying out the statistical work, the results were compared with the Environmental Quality Standar (ECA) for water D.S. N° 004-2017-MINAM. The parameters that exceed the environmental regulations are: the pH that whose value was 8.82 in the third point of the first sampling, the total coliforms as average values had 703 NMP/100 ml, 1 2646.66 NMP/100 ml and 370 NMP/100 ml in contrast to this, the fecal coliforms had average values of 63.6 NMP/100 ml, 2 016.67 NMP/100 ml and 76.7 NMP/100 ml respectively in the months of sampling. The maximum flow rate was 0.059 m<sup>3</sup>/s in the last month of sampling and in the third point.

According to the main results, it`s concluded that the water is suitable for irrigation of plants in its two subcategories. However during the monitoring it was also observed that the inhabitants use these water to drink directly, but according to the results obtained this water is not

suitable for this type of use since it contains a high number of total and fecal coliforms, that is why the population can't consume it without first doing a previous treatment.

**Key words:** *Quality, quantity, water resource, self-cleaning, quality index, water regulation, ecosystem.*

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso muy valioso y fundamental en la vida cotidiana, sin este recurso las actividades económicas no podrían desarrollarse de una manera adecuada ni sostenible y no existiría la vida tal y como se conoce. Desde tiempos inmemorables, los ríos y quebradas han sido utilizados como medios para deshacerse de todo tipo de contaminantes: como aguas residuales, sedimentos y basura, entre otros. Por esta razón, diversos organismos que habitan y se reproducen en dichos lugares son afectados por la contaminación. Por otra parte, la extracción del recurso hídrico se hace cada vez más extensiva por el incremento de la población y por las actividades económicas que se desarrollan en un espacio geográfico.

En los últimos veinticinco años se han organizado un sin número de grandes conferencias mundiales, algunas de ellas sobre el agua. La conferencia de Mar de Plata de 1977 marcó el comienzo de una serie de actividades globales en torno al agua. El Decenio Internacional de Agua Potable y Saneamiento (1981-1990) aportó una ampliación substancial del suministro de servicios básicos para las poblaciones pobres (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). La serie continúa en el año 2003 con el tercer Foro Mundial del Agua (en Japón) y con el Año Internacional del Agua Dulce. Estas conferencias, las que la precedieron y los debates subsiguientes han modificado la percepción sobre la crisis del agua y ampliado la comprensión sobre la importancia del manejo y cuidado del agua.

Según el informe realizado por la ONU (2015).

El reto para América Latina y el Caribe consiste en crear la capacidad institucional de manejar y llevar la integración sostenible de la gestión y el uso de los recursos hídricos, además, potenciar el desarrollo socioeconómico y la reducción de la pobreza. Otra de las prioridades consiste en garantizar la plena realización del derecho humano al agua y al saneamiento en el contexto de la agenda de desarrollo después de 2015.

El Perú es uno de los países a nivel mundial en donde existe una amplia variedad de ecosistemas que constituyen la base en materia de bienes y servicios. Esta riqueza de recursos

naturales, combinada con sus características socioeconómicas define oportunidades de desarrollo para el bienestar de su población. Sin embargo, para el uso de estos bienes y servicios, no siempre se ha considerado los criterios de sostenibilidad; y esto ha dado origen a una serie de problemas a nivel nacional, dentro del cual se enmarca el sistema hídrico nacional.

Según la Dirección de Estudios y Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, la historia de los recursos hídricos en el Perú se remonta a la época del imperio de los incas, donde el manejo del agua entre los incas era mucho más que una necesidad, ya que mediante este recurso buscaban el orden social y económico. En el período de la colonia española, el virrey Toledo en 1577 decretó mediante ordenanzas la forma del uso de las aguas para fines agrícolas. En 1969 la Dirección General de Aguas y Suelos promulgó la Ley General de Aguas estableciendo que el agua pertenecía a la nación, es decir a todos los peruanos, con mucha importancia al uso del agua para fines agrícolas. En el año 2011 se promulgó la Ley de Recursos Hídricos, otorgándole especial atención al uso multisectorial, a la planificación de la gestión del agua, al régimen económico para el uso del agua y a la calidad del recurso hídrico. En el contexto nacional es importante señalar los esfuerzos realizados para la preparación de estudios vinculados a los recursos hídricos, donde destaca el “Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa”, donde se propone programas de desarrollo integral de cada uno de los valles, destacando los recursos hídricos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

La región Piura tiene como único potencial hídrico los páramos que sirven como fuente principal de abastecimiento de agua, y benefician a la población del Bajo Piura ya que gracias a esta fuente se puede realizar actividades agrícolas. Sin embargo, por las actividades antropogénicas y por la población que se asienta en las fajas marginales de los ríos y quebradas dicho recurso se ve afectado alterando sus componentes físicos, químicos y biológicos.

La localidad de San Miguel de El Faique, que se encuentra en la margen izquierda de la quebrada San Antonio y que forma parte de la subcuenca del río Piura, cuenta una población aproximada de 9 468 habitantes según el último censo realizado por la Unidad Nacional de



Empadronamiento de la municipalidad del mencionado distrito (Unidad Nacional de Empadronamiento del Distrito de San Miguel de El Faique, 2018). La quebrada que abastece de agua a los usuarios ha sufrido situaciones que están poniendo en peligro la salud de las personas.

La intervención humana influye de forma negativa en el estado natural del agua, pero si le damos un manejo adecuado y tomamos acciones para prevenir la contaminación, el impacto sería mínimo.

Los principales problemas ambientales que afectan la quebrada San Antonio son: el estiércol del ganado que afecta la calidad del agua de la quebrada, la infiltración de agua no tratada de las lagunas de estabilización del distrito y mala distribución del agua por parte de los usuarios. De igual manera, las actividades de la población como la deforestación de la rivera de la quebrada, las mismas que todavía no están enmarcadas en planos de sostenibilidad, causan la alteración de los componentes ambientales y deterioro de las fuentes naturales de agua en este lugar. Por ello se ve la necesidad de aportar con este tema de investigación, dando la importancia que amerita a la conservación de la quebrada y sus bienes asociados, descartando las consecuencias o afectaciones que estas ocasionan en el presente y sin considerar que en el futuro se incremente dicha problemática.

Con la presente investigación se pudo levantar información relevante sobre la calidad a través de la medición de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua para determinar el estado en que se encuentra el recurso, además la disponibilidad hídrica en épocas de estiaje en los diferentes puntos de la quebrada a través de la medición del caudal. Al mismo tiempo brindamos la información obtenida a personas, profesionales, entidades e instituciones públicas y privadas, interesadas en elaborar proyectos ambientales y que sirva como un referente e instrumento para la toma de decisiones para futuros proyectos relacionados con la quebrada. Finalmente, la presente investigación brinda un aporte en el cual se propone realizar acciones de prevención para mitigar impactos. Asimismo, permitirá asegurar la provisión de agua para asegurar el futuro con el impulso de actividades sostenibles y compatibles con los ecosistemas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar la calidad y caudal de agua para riego en épocas de estiaje, en la quebrada San Antonio, distrito San Miguel de El Faique-Huancabamba, entre los meses de agosto a noviembre del 2018.

### **Objetivos específicos**

- Medir parámetros físico-químicos: pH, temperatura, aceites y grasas, conductividad eléctrica, para determinar la calidad del agua.
- Determinar la calidad microbiológica del agua a través de la medición de los coliformes totales y fecales existentes en dicha quebrada.
- Realizar la medición del caudal de la quebrada San Miguel de El Faique.
- Comparar los resultados con el ECA del agua para riego de vegetales.

## CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1. Antecedentes

Sabio (2000) realizó un estudio sobre la evaluación de la calidad y cantidad de agua durante el periodo seco y lluvioso en la microcuenca El Capiro, en la región de Yeguaré, Honduras, tomando nueve puntos de muestreo y los parámetros evaluados fueron: la turbidez, oxígeno disuelto, temperatura, nitritos, dureza, pH y coliformes totales y fecales. Los métodos de recolección de muestras se realizaron con envases de vidrio de 200 ml previamente esterilizados en una autoclave All American a una presión de 15 libras por pulgada. Para la medición de caudal se utilizaron tres métodos dependiendo del lugar de muestreo: el método de dilución, volumétrico y volumen por tiempo. Los resultados obtenidos de la investigación mostraron diferencias poco significativas respecto a la temperatura del agua de la microcuenca El Capiro: 19.2 °C y de 18.4 °C en la época lluviosa. El promedio de turbidez para la época seca y lluviosa expresado en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) fue de 6.1 y 6.7, respectivamente, ambas encima del mínimo permitido para agua potable. La dureza promedio del agua de la microcuenca fue de 120 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio) en la época seca y de 116.8 mg/l de CaCO<sub>3</sub> durante la época lluviosa. El pH durante la época seca fue de 6.67 y de 6.01 en la época lluviosa; el promedio de la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de coliformes totales durante la época seca fue de 13.42 y 15.16 para la época lluviosa y, por último, sobre los coliformes fecales en época seca, se encontró un promedio de 9.6 UFC durante la época seca y 12.7 durante la época húmeda. El oxígeno disuelto en el agua de la microcuenca fue de 10.4 mg/l en ambas épocas; con respecto a la cantidad de agua promedio producida por la microcuenca fue de 84.422 galones/mes.

Se concluyó del trabajo que los coliformes fecales, totales y turbidez se encontraron por encima del máximo permisible para consumo humano, además en la microcuenca en épocas de avenida existe un caudal que abastece a toda la población en cambio en épocas de avenida se tiene que racionalizar el agua.

Chamba y Guallasamin (2015) hicieron un estudio para saber la disponibilidad y calidad de agua de consumo humano por medio de monitoreo de caudales y análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la zona Pesillo, Imbabura, Ecuador. El propósito fue analizar la calidad, cantidad y disponibilidad de agua para consumo humano, con la finalidad de generar información a las juntas comunitarias de agua potable de Pesillo y obtener una gestión de calidad de agua para consumo humano eficiente y saludable. El diseño experimental constó de dos fases: En la fase de campo se realizó el monitoreo de caudales, muestreo de agua en época de verano (marzo y abril) e invierno (setiembre y octubre) donde se tomó tres muestras, uno en el punto de captación otro en el tanque de tratamiento y el último en la red domiciliaria, mientras que la última fase fue realizada en escritorio. Los resultados de las diez juntas de agua potable se compararon con la norma ecuatoriana INEN 1108, cuyos parámetros que no cumplieron con la normativa fueron: el cloro residual 0.38 mg/l, mesófilos 30 UFC/ml, coliformes totales y fecales con 11.00 NMP/100ml, turbidez y hierro. Se concluyó que ninguna de las juntas cumplió con los parámetros de la norma. La disponibilidad de agua en las diez juntas no sobrepasaron los 9 l/s en la época lluviosa y los 7 l/s en época seca, la junta con menor caudal fue El Angla con 0.4683 l/s ya que tiene una sola fuente de abastecimiento, en cambio la junta Carabuela tuvo un caudal de 6.2958 l/s debido a que cuatro vertientes lo abastecen.

Mencías (2015) realizó una investigación para determinar la infiltración en el suelo, estudio de la calidad del agua para regadío y manejo ambiental del sistema de riego en El Pisque, Pichincha, Ecuador. El trabajo estuvo basado en el análisis de la calidad química del agua, propiedades físicas del suelo y la velocidad de infiltración. La finalidad del estudio fue determinar las propiedades físicas del suelo y la velocidad de infiltración. Se realizaron cinco muestreos Para este estudio se realizaron análisis químicos: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sulfatos, cloruros, sodio, potasio, magnesio, calcio, nitratos, fosfatos, carbonatos, bicarbonatos y boro. La medición de parámetros de pH, conductividad eléctrica y temperatura se utilizó el multiparámetro Hach HQ 40D, GPS Magellan, cámara sony. La recolección de muestras se hizo en envases plásticos de dos litros de capacidad y las muestras de suelo se hizo en cilindros metálicos de 116.2 cm<sup>3</sup>. Los resultados de la temperatura ambiente se registró en tres estaciones cercanas al área estudiada: La Victoria, La Tola y Tumbaco, donde se obtuvo valores de 17.2 °C, 15.5 °C y 16.7 °C de temperatura promedio mensual, la temperatura máxima y mínima que se registró en las tres estaciones fue de 24.6 °C y

12.7 °C. La conductividad y el sodio en los puntos muestreo fueron bajos y oscilaron entre 0.09 dS/m y 0.17 dS/m. Por lo tanto, se concluyó que no tienen efecto en el crecimiento de las plantas debido a que El Pisque presentó características físico-químicas buenas para riego agrícola y no tuvo restricción en el uso para los cultivos y se consideraron de buena calidad, por lo que el autor propuso tomar medidas para que el agua se mantenga con la misma calidad en el futuro. El valor del pH en todos los casos fue menor que 8 mientras que en el primer muestreo el pH en el punto A2 fue de 8.68 considerado como el más básico del estudio. En el estudio también se dio a conocer que existió una acumulación media de fosfatos, lo cual pudo ocasionar problemas de eutrofización. La mayor parte del agua del sistema fue bicarbonatada lo que permitió que el calcio se precipite y se pierda anulándose las consecuencias adversas.

Pavón (2015) evaluó la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del río La Trinidad, Diriamba y Carazo, en el año hidrológico 2010-2011. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de agua superficial utilizando indicadores biológicos, fisicoquímicos y bacteriológicos para generar una línea base como toma de decisiones para el manejo integrado de cuencas. El método Biological Monitoring Working Party BMWP/col se utilizó para determinar la calidad de agua, para ello se realizaron cinco muestreos durante el estudio, también se recolectaron muestras de macro-invertebrados. Para determinar la presencia de coliformes totales y fecales, se recolectaron muestras de 100 ml en bolsas de plástico Pyrex, también se analizaron parámetros fisicoquímicos cuyas muestras se llevaron a los laboratorios Laquisay Cidea-UCA. Para la medición del caudal se hizo el aforo con un correntómetro, la sección de agua se dividió en varias secciones del mismo ancho, para encontrar el área de la sección transversal del cauce se utilizaron las fórmulas de triángulo y trapecio. Los resultados muestran que la familia de macro invertebrados son: 2,468 individuos pertenecientes a 11 órdenes y 27 familias. Tricorythidae fue la más abundante con 776 individuos, seguida de Leptophlebiidae: con 601, Hydropsychidae: 260, Physidae: 168, Thiaridae: 121, Gomphidae: 107, Baetidae: 103 y Chironomidae: con 100. Las 19 familias restantes presentaron entre 1 y 39 individuos, además los coliformes fecales y totales sobrepasaron los 1 200 NMP/100 ml, la relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO en la parte alta fue 0.01 mg/l, en la parte media fue 0.14 mg/l y en la baja fue 0.02 mg/l. El autor concluyó que los métodos biológicos y fisicoquímicos son métodos complementarios en los procesos

de evaluación de calidad de agua, la abundancia de algunas especies de peces está relacionada con variables fisicoquímicas, además el uso actual de la tierra está siendo utilizada para la ganadería extensiva lo cual presentó degradación del suelo ya que la mayor parte de tierras son de vocación forestal.

Zulimar (2015) evaluó la calidad y cantidad de agua para consumo humano y cantidad de agua de la microcuenca Huarmiyacu, en la parroquia San Blas, cantón San Miguel de Urcuquí, Ecuador y planteó una propuesta de manejo del recurso hídrico de la microcuenca. Se tomaron 13 muestras de agua en todo el estudio las muestras fueron tomadas en los meses de marzo, mayo y julio. Las muestras se colectaron en frascos de polietileno de un litro de capacidad, previamente homogenizado con el agua de muestra. Los parámetros analizados en campo se hizo con el equipo Ecolit de la Universidad Técnica del Norte y los análisis microbiológicos se hicieron en el laboratorio Ecuchen y el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica. Se realizó una comparación con las normas INEN 1108 y el TULSMA que brindan los límites permisibles de agua para consumo humano. El método para determinar el caudal se hizo mediante el método del molinete. Los resultados de la cantidad de agua que producía la microcuenca en época seca fue de 412.9 l/s y la cantidad de agua emitida en época lluviosa fue de 323.44 l/s. La calidad de agua para riego de las acequias Grande de Caciques y Mindaburlo fue excelente ya que contiene pH de 8.1 y 7.2, los sólidos disueltos fueron de 122.17 y 72.1 para época lluviosa y 142.3 y 77.9 en épocas de seca; la dureza total para época lluviosa fue: 107.68 y 83.21, para época seca fue: 87.24 y 42.6; con respecto a la conductividad eléctrica en épocas de lluvia se registraron 0.000244 y 0.000144 mhos/cm y en época seca se registraron 0.000264 y 0.000141 mhos/cm; el agua de riego tuvo una salinidad de 0.2 ppm, fue buena para riego en todos los casos, a excepción de suelos con baja permeabilidad. El caudal máximo que registró fue de 195.32 lts/s y el mínimo fue de 8.38 lts/s. El autor concluyó que el agua de riego tuvo poco contenido de sodio, es decir, era bueno para la mayoría de los cultivos a excepción de los cultivos sensibles al sodio; por otro lado, acerca del análisis del uso de suelo en la microcuenca y cobertura vegetal, se pudo observar que la microcuenca presentó buena conservación del ecosistema y por ende, produciría una excelente calidad y cantidad de agua, puesto que la mayor parte del área en cobertura vegetal era páramo y bosque nativo y hubo poca intervención antrópica en cultivos anuales. Respecto a la cantidad de agua en épocas seca no cubre la demanda total de la población ya que no hay un mantenimiento en las acequias.

Zumaeta (2005) hizo el estudio sobre las características de la oferta hídrica de la microcuenca Rumiayacu-Mishquiyacu para uso potable en la ciudad de Moyobamba. En este estudio, identificó los afluentes y determinó la calidad y cantidad de agua de la microcuenca. Los resultados de los caudales a partir de los aforos realizados en la quebrada Mishquiyacu fueron: el caudal mínimo  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$  que equivale a  $10 \text{ l/s}$  y el caudal máximo en un día de lluvia fue  $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$  que equivale a  $60 \text{ l/s}$ ; con respecto a la calidad del agua, el mes de noviembre presentó la mayor cantidad de coliformes totales que registró  $862 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$  y el mes de febrero presentó el valor mínimo de  $170 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ ; en los coliformes fecales, el mes de mayo presentó la mayor cantidad alcanzando los  $732 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$  y la mínima cantidad se presentó en el mes de febrero con  $51 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ . El estudio mostró los parámetros físico-químicos de los meses de noviembre y diciembre en donde presentó elevada turbiedad, alcanzando los  $46.9$  y  $55.5 \text{ UNT}$ , el valor mínimo durante todo el año presentado en el mes de agosto con  $4.69 \text{ UNT}$ , en los meses de agosto y octubre se presentaron los valores más altos de conductividad del agua que sobrepasaban las  $400 \text{ uS/cm}$  y el valor más bajo de conductividad lo presentaba el mes de junio con  $210 \text{ uS/cm}$ . En cuanto a los sólidos totales disueltos se mantuvieron en un rango de  $38$  y  $24 \text{ mg/l}$ , es decir, no presentó diferencias marcadas en cuanto a sólidos totales disueltos.

Colonia (2015) realizó un estudio sobre la calidad del agua para riego en la microcuenca de la quebrada Ampu de Maya, Carhuaz, Huaraz, Perú. El estudio tuvo como finalidad caracterizar la calidad del agua que discurre a través de la quebrada Ampu. Se utilizaron cuatro métodos de clasificación especialmente en las épocas de estiaje. Los puntos de muestreo fueron establecidos en función a las tomas de agua que son utilizadas para el riego de los cultivos, donde existieron 15 tomas a lo largo y ancho de la quebrada Ampu. Los resultados del pH estuvieron en el rango de  $7.15$  a  $8.03$ , la conductividad eléctrica registró valores entre  $0.376 \text{ dS/m}$  a  $0.720 \text{ dS/m}$  y los sólidos totales disueltos tuvieron valores que oscilaron entre  $173.06 \text{ mg/l}$  a  $263.95 \text{ mg/l}$ . La dureza total tuvo entre  $1.02 \text{ }^\circ\text{F}$  a  $15.30 \text{ }^\circ\text{F}$ , el calcio entre  $37.12 \text{ mg/l}$  a  $55.04 \text{ mg/l}$ , el magnesio con  $1.682 \text{ mg/l}$  y  $4.130 \text{ mg/l}$  y el sodio tuvo como resultados  $48.10 \text{ mg/l}$  y  $56.40 \text{ mg/l}$ . Para el potasio los valores estuvieron entre  $0.26 \text{ mg/l}$  y  $1.64 \text{ mg/l}$ . Para los cloruros los resultados fueron  $36.633 \text{ mg/l}$  y  $54528 \text{ mg/l}$ . Los sulfatos tuvieron como valores de  $19.50 \text{ mg/l}$  y  $70.00 \text{ mg/l}$ . Para los carbonatos  $2.88 \text{ mg/l}$  en los puntos M-02 y M-

03 y el valor máximo en el punto M-11 con 16.8 mg/l. Para los bicarbonatos el valor mínimo en los puntos M-01, M-03 y M-12 con 18.544 mg/l y el valor máximo el punto M-04 con 29.28 mg/l. Para el nitrato se registró que hay 1 mg/l en todos los puntos de monitoreo. Los resultados para el Boro fueron de 0.05 mg/l para todas las estaciones de monitoreo excepto para el punto M-05 que tuvo como resultado 0.069 mg/l. Para el DBO el valor máximo fue de 1 mg/l en algunas estaciones, en otras no se encontró valores y para el oxígeno disuelto encontramos un valor máximo de 7.75 mg/l y un valor mínimo de 8.24 mg/l. Los valores de arsénico y plomo en todas las estaciones fueron 0.01 mg/l y para el cobre 0.02 mg/l, el zinc registró valores entre 0.05 mg/l a 0.08 mg/l. Del estudio se concluyó que según los ECA, tanto el pH como la CE, se encuentran por debajo de los parámetros establecidos. Por lo tanto, el agua para riego es de buena calidad. A partir del punto de muestreo M-06 hasta el M-15, la concentración de carbonatos se incrementó significativamente, variando los valores entre 7.68 hasta 16.8 mg/l, lo que pudo incrementar la alcalinidad, la DBO se consideró poco significativa según el ECA, en tanto el As, Cu, Pb y Zn, se encontraron por debajo de los parámetros establecidos, así como la norma Chilena Oficial N° 1333, D.S. N° 867, 1978 que la calificó como excelente para riego agrícola.

Florián (2016) realizó un estudio sobre la calidad del agua superficial de la cuenca hidrográfica Amojú, Jaén basado en: análisis físicos, químicos y microbiológicos. Para la investigación se utilizó un diseño no experimental. En este estudio se seleccionaron seis puntos y se tomó una muestra por cada punto. Los parámetros analizados fueron: la turbidez, temperatura, conductividad, color, nitritos y nitratos, pH, dureza, zinc, magnesio, hierro, cromo, sulfatos, coliformes totales y fecales. Los resultados del color del agua superficial en punto N° 01 en el Centro Poblado Cascarilla tuvo un valor de 87.00 Pt Co, en el punto N° 02 en el Cerro La Pelota tuvo 28.00 Pt Co, en el punto N° 03 Puente Orellana 31.00 Pt Co, en el punto N° 06 sector San Camilo tuvo 36.00 Pt Co. Los valores de Zinc en el agua superficial fueron de 0.02 mg/l, 0.05 mg/l, 0.05 mg/l y el punto N° 06 tuvo 0.04 mg/l y en los puntos 03 y 04 no se encontró ningún valor. El cromo su máximo valor fue: 0.04 mg/l, y en el punto N° 01 no se presenció cromo, el valor máximo de la dureza total fue 288.40 mg/l, y el valor mínimo fue 117.00 mg/l. El manganeso en el punto N° 02 el valor fue de 0.60 mg/l, en el punto N° 04 fue de 0.80 mg/l y en el punto N° 06 fue de 1.20 mg/l (Florián, 2016).



Los nitritos del agua superficial fueron 10.00 mg/l, 0.60 mg/l, 120.00 mg/l y 150.00 mg/l. El nitrato del agua en el punto N° 01 y 04 su valor fue de 0.004 mg/l, en el punto N° 02 y 03 no hubo presencia, en los demás puntos fue 0.05 mg/l y 0.036 mg/l. El pH del agua superficial en el punto N° 01 su valor fue de 7.97, en los otros puntos se encontraron en el rango de 8.00 a 8.35. Para sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el punto N° 01 no se encontraron sulfatos, en los demás puntos fueron 18.00 mg/l, 13.00 mg/l, 4.00 mg/l, 6.00 mg/l y 12.00 mg/l. La temperatura del agua en el punto N° 06 el valor fue de 25 °C, en el punto N° 01, 02 y 05 los valores fueron de 23 °C, en el punto N° 03 y 04 los valores fueron de 24 °C. La conductividad eléctrica en todos los puntos de muestreo estuvo en el rango de 200 uS/cm a 270 uS/cm. El valor máximo de turbidez fue 6.10 NTU y el mínimo fue 5.94 NTU. Los coliformes totales los valores fueron 1 600 NMP/100 ml, 350 NMP/100 ml, 1 600 NMP/100 ml y en el punto N° 06 el valor fue de 1 600 NMP/100 ml. Del trabajo se concluyó que los puntos de muestreo 01, 03 y 06 correspondientes a los cauces de agua del alto, medio y bajo del río Amojú respectivamente, están altamente contaminados con coliformes totales y termoestables, por lo tanto, no son aptas para consumo humano de manera directa. En el punto de muestreo 04 y 05 que correspondió a muestras domiciliarias no presentó contaminación microbiológica ni por agentes físicos y químicos y son aptas para el consumo humano directo (Florián, 2016).

Fajardo (2018) realizó un estudio sobre la evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao, Perú. Los muestreos se realizaron entre los meses de febrero y agosto del año 2015, en 15 estaciones de agua superficial y dos estaciones subterráneas, se analizaron 3 parámetros microbiológicos y 44 parámetros fisicoquímicos. Los parámetros monitoreados fueron: la conductividad, color,  $\text{DBO}_5$ , fosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, OD, pH, turbiedad, temperatura, STD, metales totales, metaloides y no metales, coliformes totales y fecales. Para el muestreo de metales totales, color, turbiedad y nitrógeno amoniacal se utilizó envases de 500 ml y sus respectivos preservantes, para  $\text{DBO}_5$  y se utilizó envase plástico de un litro y para coliformes totales envases de 250 ml los resultados se compararon con los ECA del 2008, ECA 2015 y ECA 2017. Las estaciones que cumplen el parámetro de  $\text{DBO}_5$  fueron: M-1, M-2, M-3, M-8 con valores  $<5$  mg/l. Para los fosfatos  $\text{PO}_4^{3-}$ , la estación M-6 sobrepasó el valor de 0.4 mg/l como establece el ECA 2008. Para los nitratos las estaciones M-3, M-4, M-5, M-9, M-11 y M-12 superaron el ECA con 37.36 mg/l. Se detectó nitrógeno amoniacal en las 17 estaciones de muestreo con valores de 3.64 mg/l. El oxígeno disuelto  $\text{O}_2$  en las

estaciones M-4, M-6, M-7, M8, M-10, M-11 (agua superficial) y M-16 y M-17 (agua subterránea) superaron el estándar. El valor del pH las estaciones M-5, M-9, M-10, M-13 su valor fue 9.98. La temperatura se encontró entre los 19.1 °C y 34.9 °C aproximadamente. El arsénico cuyo valor fue 0.01 mg/l en el ECA 2008 las estaciones M-1, M-2, M-3, M-14, M-15, no superaron el ECA y la estación M-4 (Cañaverál) como la más crítica, siendo la única estación que superó el ECA 2015 y 2017 (Fajardo, 2018).

Las concentraciones de bario no superaron ninguno de los tres ECA en todas las estaciones de muestreo. Los coliformes totales y coliformes fecales tuvieron valores de 13 000 NMP/100 ml y 7 900 NMP/100 ml que sobrepasaron los ECA. Se llegó a la conclusión que en la estación M-12, es el cuerpo de agua más grande del ACR por ello se le denominó “espejo de agua”, la existencia de *Escherichia coli* en este punto se debe a que en este lugar anidan el mayor números de aves. Los parámetros fisicoquímicos en la mayoría de las estaciones de muestreo se encontraron dentro de los estándares calidad ambiental. Las estaciones de monitoreo se dividieron en tres zonas de riesgo. La zona de mayor riesgo microbiológico se encontró en las estaciones cercanas al asentamiento humano Valle Verde, asociación Los Chancas donde la contaminación es más intensa. La zona de riesgo moderado se encontró en la estación de muestreo establecida en el canal tres donde la contaminación fue menor y casi exclusiva por coliformes totales, estas dos zonas sufrieron constantemente impactos de las aguas residuales de dichos asentamientos humanos. Las zonas de menor riesgo fueron las alejadas de los asentamientos humanos (Fajardo, 2018).

Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2015) realizó una evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura, Piura, Perú, tuvo como objetivo el estudio de recursos hídricos superficiales y subterráneos para mejorar la gestión y planificación integrada de manera sostenible en el tiempo. La metodología estuvo basado en actividades preliminares, trabajo de campo y trabajos de gabinete. En la primera actividad se recopilaron estudios e información hidrometeorológica de instituciones científicas (SENAMHI, ALAs, etc), en la segunda actividad se realizó: reconocimiento de campo, identificación e inventario de fuentes superficiales y afluentes en las cuencas y subcuencas y en la última actividad se revisó antecedentes, también se procesó y sistematizó la información, se describió y caracterizó la geomorfología de la cuenca. Los diversos sondeos permitió conocer el incremento de pozos

en el año 2014 se tuvo un total de 398, lo que refleja la demanda de agua en mayor cantidad en la cuenca de valle medio y bajo Piura. Los distritos con mayor cantidad de pozos subterráneos fueron: Catacaos (29), Sechura (25), Castilla (23) y Piura (22). La mayor explotación de agua es por uso doméstico y asciende a 44.13 m<sup>3</sup>/año mientras los usos industriales ascienden 2 042 470 m<sup>3</sup>/año y por último agua utilizado para riego 2 745 503 m<sup>3</sup>/año. En cuanto al caudal máximo registrado en el río Piura en los últimos 25 años en Tambo Grande fue 2 614 m<sup>3</sup>/s. Según los datos obtenidos se llegó a la conclusión que la demanda agrícola mensual de la cuenca solo puede ser atendida en los meses de enero, febrero, marzo y abril que coinciden con época lluviosa y los demás meses presentando un gran déficit.

## **1.2. Marco normativo**

### **1.2.1. Normativa legal nacional**

#### **a. Constitución Política del Perú**

Según el Congreso Constituyente Democrático (1993) en la Constitución Política del Perú, en el artículo 66, del capítulo II, del ambiente y los recursos naturales establece que:

Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

Artículo 67° menciona que: “el estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”.

#### **b. Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338**

La Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Ministerio de Agricultura [MINAGRI], 2009) en el artículo 3, menciona los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos:

- **Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua:** El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.
- **Principio de prioridad en el acceso al agua:** El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.
- **Principio de participación de la población y cultura del agua:** El Estado crea mecanismos para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso. Fomenta el fortalecimiento institucional y el desarrollo técnico de las organizaciones de usuarios de agua. Promueve programas de educación, difusión y sensibilización, mediante las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil, sobre la importancia del agua para la humanidad y los sistemas ecológicos, generando conciencia y actitudes que propicien su buen uso y valoración.
- **Principio de seguridad jurídica:** El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación.
- **Principio de respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas:** El Estado respeta los usos y costumbres de las comunidades campesinas y comunidades nativas, así como su derecho de utilizar las aguas que discurren por sus tierras, en tanto no se oponga a la Ley. Promueve el conocimiento y tecnología ancestral del agua.
- **Principio de sostenibilidad:** El Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del

ecosistema donde se encuentran. El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

- **Principio de descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad única:** Para una efectiva gestión pública del agua, la conducción del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es de responsabilidad de una autoridad única y desconcentrada. La gestión pública del agua comprende también la de sus bienes asociados, naturales o artificiales.
- **Principio precautorio:** La ausencia de certeza absoluta sobre el peligro de daño grave o irreversible que amenace las fuentes de agua no constituye impedimento para adoptar medidas que impidan su degradación o extinción.
- **Principio de eficiencia:** La gestión integrada de los recursos hídricos se sustenta en el aprovechamiento eficiente y su conservación, incentivando el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre los usuarios y operadores.
- **Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica:** El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.
- **Principio de tutela jurídica:** El Estado protege, supervisa y fiscaliza el agua en sus fuentes naturales o artificiales y en el estado en que se encuentre: líquido, sólido o gaseoso, y en cualquier etapa del ciclo hidrológico.

El artículo 121, menciona que “las infracciones en materia de agua son calificadas como leves, graves y muy graves, teniendo en cuenta los siguientes criterios”:

- Afectación o riesgo a la salud de la población;

- Beneficios económicos obtenidos por el infractor;
- Gravedad de los daños generados;
- Circunstancias de la comisión de la infracción;
- Impactos ambientales negativos, de acuerdo con la legislación vigente;
- Reincidencia; y
- Costos en que incurra el estado para atender los daños generados.

El artículo 122, menciona que “la autoridad de aguas competente puede imponer, según la gravedad de la infracción cometida y las correspondientes escalas que se fijen en el reglamento”, las sanciones administrativas son las siguientes:

- Trabajo comunitario en la cuenca en materia de agua
- Multa no menor de cero coma cinco (0.5) Unidades Impositivas Tributarias (UIT) ni mayor de diez mil (10 000) UIT.

Artículo 34, menciona que:

Las condiciones generales para el uso de los recursos hídrico están de acuerdo condicionado a su disponibilidad. El uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, de acuerdo con lo establecido en la Ley, promoviendo que se mantengan o mejoren las características físico-químicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional.

**c. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - D.S. N° 001-2010-AG modificado por D.S. N° 006-2017-AG**

Según el Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], (2010) a través del reglamento modificado de la Ley de Recursos Hídricos, en el artículo 2, inc. 2 indica que:

El agua es patrimonio de la nación y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada sobre el agua, solo se otorga en uso a personas naturales o jurídicas. Según el artículo 55° menciona que cualquier ciudadano tiene como prioridad el acceso al agua para satisfacer las necesidades primarias, sobre cualquier otra clase o tipo de uso.

El artículo 56 determina que:

El uso primario a que se refiere la Ley es libre y gratuito; no requiere de licencia, permiso o autorización de uso de agua. Se limita a la utilización manual de las aguas superficiales y subterráneas que afloran naturalmente, mientras se encuentren en sus fuentes naturales o artificiales, con el fin exclusivo de satisfacer las necesidades humanas primarias siguientes: preparación de alimentos, consumo directo, aseo personal, así como usos en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

Ministerio de Agricultura y Riego (2010) a través del reglamento modificado de la Ley de Recursos Hídricos, en el artículo 127 define que:

Las zonas de protección del agua son áreas específicas de las cuencas hidrográficas o acuíferos cuyas características naturales requieren ser preservadas, así como también las fuentes donde nace el agua y los bienes asociados que conforman este ecosistema deben ser conservados o reparados. La Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con la autoridad ambiental y las autoridades sectoriales correspondientes, podrá declarar zonas de protección de los recursos hídricos en las que se prohíba, limite o restrinja cualquier actividad que afecte la calidad del agua o sus bienes asociados. Dicha medida podrá adoptarse en aplicación del principio precautorio. Cuando exista grave riesgo de afectación a la salud de la población, podrá declararse zona de protección, para lo que deberá contarse con la opinión sustentada y favorable de la autoridad de salud.

Ministerio de Agricultura y Riego (2010) a través del reglamento modificado de la Ley de Recursos Hídricos en el artículo 133, manifiesta que la Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP.
- No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, ECA - Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- No se afecte la conservación del ambiente acuático.

El artículo 277 tipifica que son infracciones en materia de recursos hídricos las siguientes:

- Usar, represar o desviar las aguas sin el correspondiente derecho de uso de agua o autorización de la Autoridad Nacional del Agua.
- Construir o modificar, sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua, obras de cualquier tipo, permanentes o transitorias, en las fuentes naturales de agua, los bienes naturales asociados a esta o en la infraestructura hidráulica mayor pública.
- Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas, cualquiera fuese la situación o circunstancia que lo genere.
- Efectuar vertimiento de aguas residuales en los cuerpos de agua o efectuar reutilización de aguas, sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua.
- Arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua natural o artificial.

**d. Ley General del Ambiente - Ley N° 28611**

Según la Ley General del Ambiente N° 28611 (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2005), en el título preliminar, artículo 1 del derecho y deber fundamental, indica que:

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

El artículo 4 del derecho de acceso a la justicia ambiental sostiene que:

Toda persona tiene el derecho a una acción rápida, sencilla y efectiva, ante las entidades administrativas y jurisdiccionales, en defensa del ambiente y de sus componentes, velando por la debida protección de la diversidad biológica, aprovechamiento sostenible de recursos naturales y lo más fundamental el cuidado de la salud en forma individual y colectiva de los ciudadanos, así como la conservación del patrimonio cultural vinculado a aquellos. Se puede interponer acciones legales aun en los casos en que no se afecte el interés económico del accionante. El interés moral legitima la acción aun cuando no se refiera directamente al accionante o a su familia (Ley general del ambiente N° 28611, 2005).



El artículo 32 de la presente legislación sostiene que Límite Máximo Permisible (LMP):

Es la medida de la cantidad o acumulación de elementos o sustancias, así como también de parámetros físicos, químicos y biológicos de un efluente o una emisión, que puede causar daños la salud, al bienestar humano y al ambiente al ser excedida. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. La acumulación o la cantidad podrán ser expresadas en rangos máximos y mínimos, según el parámetro particular que se quiera evaluar. El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia (Ley general del ambiente N° 28611, 2005).

El agua para consumo humano debe cumplir parámetros de la normativa nacional, pero a falta de esto se toma en cuenta normas internacionales como se puede apreciar en la Tabla 1 los límites máximos permisibles del agua, tomados de la OPS.

Tabla 1

*Límites Máximos Permisibles del agua para consumo humano*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Coliformes totales	UFC/100 ml a 35 °	0
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml a 44.5 °	0
Coliformes fecales	UFC/100 ml a 44.5 °	0
pH	unidades de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	umho/cm	1 500
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000

*Fuente:* Investigación sobre la calidad de manantiales utilizadas para consumo humano y plan de prevención de la contaminación por uso doméstico y agroquímicos (Organización Panamericana de la Salud, 2016).

Finalmente, el artículo 33 de la elaboración de ECA y LMP indica que:

La Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y LMP y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga, las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo (Ley general del ambiente N° 28611, 2005).

La Ley General del Ambiente N° 28611 (2005), menciona que la Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de elaboración de los ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental debe tomar en cuenta los parámetros establecidos por la OMS o de las entidades de nivel internacional especializadas en

cada uno de los temas ambientales. La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con los sectores correspondientes, dispondrá la aprobación y registrará la aplicación de estándares internacionales o de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.

**e. Estándares de Calidad Ambiental para Agua - D.S. N° 004-2017-MINAM**

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua: “Apruébese los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo”.

En el capítulo I, artículo 31 de la Ley General del Ambiente N° 28611 (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2005) define que:

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

**f. Ley Orgánica de Gobiernos Regionales - Ley N° 27867**

Según la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales N° 27867 (Congreso de la República, 2002) en el título I, artículo 10 asigna una competencia compartida entre los gobiernos regionales con el gobierno central en lo que respecta a la “Gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental”.

**g. Ley Orgánica de Municipalidades - Ley N° 27972**

La Ley Orgánica de Municipalidades N° 27972 (Congresos de la República, 2003), en el título V, capítulo II, en el artículo 80, Saneamiento, Salubridad y Salud establece que: “una

de las funciones específicas exclusiva de las municipalidades provinciales, que es la de regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial”.

#### **h. Ley General de Salud - Ley N° 26842**

Según la Ley General de Salud N° 26842 (Ministerio de Salud [MINSAL], 1997), en el artículo 103 indica que: “la protección del ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares que, para preservar la salud de las personas, establece la autoridad de salud competente”.

El artículo 104, señala que:

Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente” (Ley general de salud N° 26842, 1997).

Finalmente, el artículo 107 sostiene que: “El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reutilización de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilará su cumplimiento” (Ley general de salud N° 26842, 1997).

#### **i. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano-D.S. N° 031-2010-S.A.**

La presente normativa decreta instrucciones ordinarias vinculadas a la administración y manejo de las condiciones del agua que es utilizado por las personas para su consumo, con el propósito de asegurar su calidad, predecir los factores de inseguridad sanitaria, al igual que salvaguardar e impulsar el confort y salud de la población.

### **1.2.2. Estándares internacionales para la calidad de agua para consumo humano**

Todos los países que establecen este tipo de normas nacionales que utilizan como parámetro principal de comparación.

- **Guías de la OMS para la calidad del agua potable**, estas guías son documentos que se publican aproximadamente cada 12 años, donde se acopia la última información disponible en el mundo sobre el tema.
- **Reglamento nacional secundario de agua potable de la EPA**, es una guía para informar sobre los contaminantes que pueden producir efectos estéticos, como decoloración en la piel, o dentadura o dificultades de sabor olor y color en el agua potable.
- **Acuerdo europeo sobre limitación del empleo de ciertos detergentes en los productos de lavado y limpieza**, hecho en Estrasburgo el 16 de setiembre de 1968.
- **Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes**, hecho en Estocolmo el 22 de mayo del 2001.

### **1.3. Bases teóricas**

#### **1.3.1. Calidad y cantidad de agua en una cuenca hidrográfica**

La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. Además, la cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología (Breña y Jacobo, 2006). Los ecosistemas terrestres como: bosques, herbazales, praderas, manglares, entre otros, y ecosistemas acuáticos: quebradas, ríos, lagos, humedales, entre otros, forman parte de una cuenca cuyos límites se definen por la divisoria de las aguas, desde donde el agua de la precipitación discurre hacia lugares de menor pendiente, hasta encontrar un lugar de salida (Ordoñez, 2011).

En el mundo contemporáneo los expertos en la gestión del agua, no coordinan su planificación y sus operaciones en colaboración con los sectores económicos y la comunidad teniendo en cuenta el valor ambiental que tiene dentro de los límites de las cuencas y los vínculos entre aguas subterráneas (Foro Peruano para el Agua, 2011).

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial compleja en donde interactúan varios ecosistemas, en donde diversos cursos naturales de agua llegan a un curso principal definido por la pendiente y el relieve terrestre, para discurrir el agua hacia un río, lago o mar (Ordoñez, 2011).

Algunos factores que incrementan el deterioro del recurso hídrico son: “La expansión de las redes de abastecimiento, el crecimiento de las zonas urbanas y rurales, el incremento de la superficie de riego, el aumento en la producción agropecuaria, la expansión industrial, la mala gestión pública y los bajos costos del agua” (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011).

### **1.3.2. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son los múltiples beneficios que la naturaleza aporta a la población, nos puede proporcionar agua limpia, alimentos nutritivos, regulación de clima, polinización de cultivos y beneficios espirituales y culturales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019).

Bustamante y Ochoa (2014) señalan que todos dependemos de los ecosistemas y los servicios que nos brindan, es por esto que el uso no sostenible de los recursos representa un problema para la población mundial y contribuye a la pobreza y conflicto social entre personas. Los servicios naturales o también conocidos como externalidades ambientales positivas son beneficios o atributos de la biocenosis y agro-ecosistemas, que de alguna forma suministran un beneficio o utilidad a los habitantes (Encalada, 2006).

### a. **Clasificación de los servicios ecosistémicos**

Según Bustamante y Ochoa (2014), “los servicios ecosistémicos son beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” y se clasifican en:

- **De apoyo:** Ciclo de nutrientes, formación de suelo, dispersión de semillas, polinización de cultivos y control de la erosión.
- **Aprovisionamiento:** Alimento y oxígeno, agua dulce, madera y fibra y combustible.
- **Regulación:** Regulación del clima, a través de la captura y almacenamiento de carbono, regulación de flujo de agua, regulación de enfermedades y purificación del agua.
- **Culturales:** Estéticos, espirituales, educativos y recreativos.

Según Quintero y Pareja (2015) los servicios ecosistémicos hidrológicos hacen referencia a los beneficios que los ecosistemas de la cuenca hidrográfica proporcionan a los usuarios de agua. Estos beneficios incluyen la regulación hidrológica en una cuenca (que permite que se garantice el flujo de agua en época seca o que en época de lluvias se suavicen los caudales extremos); la disponibilidad de agua en ríos para diferentes usos; el control de erosión y sedimentos, entre otros.

### b. **Importancia de la conservación de los ecosistemas**

Uribe (2015) señala que la importancia de conservar los ecosistemas radica en los efectos positivos tanto en lo económico, social y ambiental que nos proveen, a través de los diversos bienes y servicios, que pueden contribuir a la reducción de la pobreza para las personas que dependen de ellos y son medios de subsistencia seguros.

### c. **Ecosistemas boscosos y disponibilidad del recurso hídrico**

Encalada (2006) señala que los bosques son ecosistemas que juegan un papel fundamental en la regulación de muchos procesos, como la regulación de la calidad y cantidad del agua. Esto sucede generalmente cuando los ecosistemas boscosos reciben gran cantidad de lluvia

y se comparte el uso entre la vegetación, una parte se almacena en los suelos por medio de la infiltración y otra parte se escurre libremente.

Chong (2010) indica que la sobreexplotación de los recursos hídricos es un problema que ha contribuido al deterioro de la calidad del agua. La gestión y el manejo eficiente del agua es una de las mayores preocupaciones de la agricultura actual, así como también en otras actividades económicas que utilizan una mayor cantidad de agua para la producción de bienes y servicios (Fernández, Molina, Pagan y Ruiz, 2011).

Según Aguirre, Alvarado y Granda (2018) el tipo de vegetación y su estructura también determina la abundancia de agua en un ecosistema, puesto que es absorbida por el suelo y utilizada por la planta. Al fin y al cabo, el aspecto de la vegetación es un componente que determina el microclima dentro de un bosque, por esta razón incide directamente en la disponibilidad de agua que se disipa por evaporación.

La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie del suelo y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces, reduciendo la erosión del suelo y evitando que los sedimentos puedan alterar las propiedades físicas y químicas del agua (Suarez, 1998). La disminución de la cobertura boscosa en una cuenca o cualquier fuente natural de agua puede llegar a generar una reducción de la precipitación tanto a escala regional y local (Uribe, 2015). En la Figura 1 se puede observar ecosistema boscoso en la cabecera de la quebrada de San Miguel de El Faique, que contribuye a la purificación y a la baja erosión de los suelos.

Según la OMS (2011), la protección de los recursos y de la fuente constituye la primera barrera de protección de la calidad del agua de consumo humano. Si la gestión de la cuenca de captación no es competencia del proveedor de agua de consumo humano, la planificación e implementación de las medidas de control deberán coordinarse con otros organismos. Asimismo, la OMS refiere que al disminuir la contaminación en la fuente de agua, se reduciría

el nivel y complejidad de tratamiento requerido, lo que disminuiría la generación de subproductos del tratamiento y minimizar los costos operativos, para ello se deben conocer los dos tipos de factores importantes que se deben conocer para conservar el recurso hídrico. Los factores naturales incluyen la vida silvestre, el clima, la topografía, la geología y la vegetación y los factores derivados del uso humano incluyen fuentes puntuales y fuentes no puntuales.



*Figura 1.* Ecosistema boscoso en cabecera de la quebrada de San Antonio. *Fuente:* Elaboración propia.

### **1.3.3. Cambio climático y escasez de agua**

Los escenarios climáticos previstos suponen largos periodos de sequías, fuertes precipitaciones e inundaciones en diversas partes del mundo, pero parece que su frecuencia está aumentando cada vez más, el aumento de la temperatura daría lugar a una disminución de la escorrentía total de un cuerpo natural de agua. El clima llega a niveles extremos que el ser humano no está preparado para afrontar estos cambios tan radicales (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [MAPA], 1998). El impacto ambiental por la variación del clima hacia los ecosistemas podría llevar a una disminución del 20 % en la precipitación y a un incremento de 2 °C en la temperatura de la superficie terrestre (Uribe, 2015).

Según la OMS (2011) menciona que con los cambios en la cantidad de agua vienen los cambios en la calidad del agua: la mayor o menor escorrentía afecta la carga de sedimentos, la composición química, el contenido de carbono orgánico total y la calidad microbiológica.



#### **1.3.4. Contaminación del agua**

Menéndez (2010), argumenta que la contaminación es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía por el hombre o la naturaleza en el ambiente, o inducir condiciones en el agua que, y es responsable de causar enfermedades y peligros a la salud humana, daño a los recursos vivientes, sistemas ecológicos y servicios productivos o interferencia con el sistema ecológico con el ambiente. Es importante observar la extensión y la diversidad de la contaminación, cualquier parte del ambiente es vulnerable a ser afectada y casi todo lo que hay en nuestro alrededor es contaminante (Téllez, 2016).

Rivera y Suárez (2014) mencionan que la contaminación es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, aguas residuales, sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, y productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos. Según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2018), se debe considerar que el agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones de utilización a la que se hubiera destinado en su estado natural.

##### **a. Origen de la contaminación**

Según Bustamante y Ochoa (2014) mencionan que en muchas partes del mundo, la degradación de ecosistemas está acompañada por la pérdida del conocimiento y visión de la naturaleza propia de las comunidades locales, conocimiento que podría ayudar a garantizar el uso sostenible de los ecosistemas.

Según Cáceres, Gruttner y Contreras (1992) el estado natural de la calidad del agua puede ser afectado por procesos naturales, por ejemplo los suelos, las rocas, algunos insectos y excrementos de animales. La otra forma con la que se puede cambiar su estado natural, es, artificialmente o por causas humanas (actividades antropogénicas), por ejemplo, sustancias que cambien el pH y la salinidad del agua, originadas por actividades mineras.

Organización Mundial de la Salud [OMS] y Foro de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF] (2017) mencionan que “tres cuartas partes de las aguas residuales procedentes de redes de alcantarillados (73%) a nivel mundial, reciben al menos un tratamiento secundario”. Además la OMS y UNICEF mencionan que un total de 711 millones de personas, más del 90 % de las cuales viven en zonas urbanas, tienen conexiones de alcantarillado que no reciben el nivel mínimo de tratamiento especificado anteriormente. Muchas más están conectadas a plantas de tratamiento de aguas residuales que no proporcionan tratamiento efectivo ni cumplen con los requerimientos de efluentes.

## **b. Tipos de contaminación**

Según Espíritu (2010), se tiene dos tipos de contaminación:

- **Puntual:** es producida por un foco emisor determinado que afecta a una zona concreta e identificada por sus orígenes con las actividades antropogénicas lo que permite una mejor difusión del vertido. Su detección y control son sencillos.
- **Difusa:** su origen no está claramente definido aparecen en áreas más extensas en las que coexisten varios focos de emisión, lo que dificulta el estudio de los contaminantes y su control individual.

### **1.3.5. El agua**

Valcárcel, Alberro y Frías (2009) indican que el agua es un recurso que se renueva a través del ciclo hidrológico. El consumo de este recurso aumenta rápidamente y sus fuentes de suministro están muy amenazadas por los contaminantes generados por el hombre. El agua disuelve más sustancias que cualquier disolvente común, sirve como medio efectivo para el transporte de nutrientes disueltos a los tejidos y órganos de los seres vivos (Masters y Ela, 2008).

Según Estudios de Proyectos Ambientales y Mecánicos [EPAM] (2011) refiere que el agua en su recorrido por los diversos compartimentos del ciclo hidrológico, puede contaminarse, ya sea debido a procesos naturales como el volcanismo, movimientos en masa del suelo u otros; o bien por procesos de origen antrópico, como la agricultura, la ganadería, la minería,

la industria, la generación de energía y las descargas de aguas residuales de asentamientos humanos, entre otros. Esta contaminación puede limitar seriamente las posibilidades de utilización del agua para distintos fines, así como la vida acuática que se desarrolla en los cursos y cuerpos de agua. El manejo preventivo es el sistema conveniente para asegurar el agua para el consumo y debe considerar las características de la red de aprovisionamiento de agua, desde la captación hasta que llegue a los usuarios para su utilización (Rojas, 2014).

#### a. Cuerpos de agua

Sierra (2011), menciona que los cuerpos de agua que componen la tierra son los siguientes:

- **Ríos:** Los ríos también son llamados corrientes, en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante y se caracterizan porque fluyen en una sola dirección, con velocidades promedio relativas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo de los ríos depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje.
- **Lagos:** Se denomina lago a un gran depósito de natural de agua en una depresión de terreno que recoge aguas pluviales, subterráneas de uno o varios ríos.
- **Aguas subterráneas:** Son denominadas aguas subterráneas a la masa de agua presente por debajo de la superficie terrestre que ocupa los poros y las fisuras de las rocas y juegan un papel importante en el ciclo hidrológico.
- **Embalses:** El embalse también denominado en otras ciudades como pantano, se refiere a toda acumulación de agua por una construcción que impide el paso del agua de un río o de las lluvias de manera total o parcial. La calidad de agua depende de las reglas de operación.
- **Ciénagas:** Son llamados ciénagas a la gran masa de agua estancada poco profunda, se forma cuando hay un lago o laguna cerca.
- **Estuarios:** El estuario es la desembocadura de un río en el mar donde existe una mezcla entre agua dulce y agua salada.

#### b. Calidad de agua

La calidad del agua se establece por las cualidades fisicoquímicas, biológicas y estéticas (aspecto y olor). Es fundamental para la preservación de vida acuática, la vegetación y procesos ecológicos. De igual manera muchos de los usos dependen de la calidad del agua que

debiera ser adecuada para el riego, el almacenamiento de agua, el consumo humano, la pesca, entre otros (Yáñez, 2018). La naturaleza del agua es el producto de contrastar cualidades físicoquímicas y microbiológicas detectados en el agua, comprendido en las normas que regularizan el asunto (Subdirección Red Nacional de Laboratorios [SNL], 2011)

La conservación y recuperación de fuentes de agua dulce implica conservar el balance de sus condiciones físicas, químicas y biológicas como un todo. Determinar el estado en que se encuentra un río o quebrada es un proceso necesario para protegerlo o restaurarlo, por lo que es fundamental conocer su estado actual, particularmente cuando no se conocen las condiciones a las que ha estado expuesto o si ha estado sujeto por perturbaciones antropogénicas a lo largo del tiempo (Villa, 2011).

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físicoquímicos tales como: sólidos totales, turbiedad, pH, color, conductividad, entre otros. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores. Ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y contaminantes que no están presentes de forma natural (Samboni, Carbajal y Escobar, 2007).

La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2013) indica que “la particularidad de cualquier cuerpo de agua, superficial o subterránea está sujeto a factores naturales y antrópicos”. Actualmente no se le confiere mayor relevancia a la calidad del agua para riego, ya que es uno de los principales factores para incrementar la productividad en nuestros cultivos. El estudio de la calidad de agua proporciona información a la población que utiliza el agua para riego y así permitir alcanzar una buena producción agrícola. Por ejemplo, si el agua posee sales disueltas en exceso afecta al crecimiento de las plantas dificultando la absorción del agua (Baccaro *et al.*, 2006).

En la Tabla 2 se muestra la clasificación del agua respecto a la cantidad de sales que contiene y el peligro que pueden traer para las plantas sensibles a la salinidad.

Tabla 2

*Clasificación del agua según el contenido de sales por el Laboratorio de Salinidad de EE.UU. N.A.*

<b>Contenido de Sales</b>	<b>Tipos de Cultivos</b>
Salinidad baja (0.00-0.25 mmhos)	Buenas para riego de diferentes cultivos. Solo peligro de salinización de suelos muy permeables de difícil drenaje interno.
Salinidad moderada (0.25-0.75 mmhos)	Para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal. Peligro para las plantas muy sensibles y suelos impermeables.
Salinidad entre media y alta (0.75-2.25 mmhos)	El suelo debe tener buena permeabilidad, el cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal
Salinidad alta (2.25-4.00 mmhos)	Solo para plantas tolerantes y suelos permeables donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover las sales.
Salinidad muy alta (4.00-6.00 mmhos)	Solo para plantas muy tolerables, suelos muy permeables y donde se pueden aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
Salinidad excesiva ( más de mmhos)	Nunca debe utilizarse para el riego.

*Fuente:* Inventario y evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa- cuenca del río Ica (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN], 1997).

### **c. Calidad de agua para uso agrícola o de riego**

Según el MAPA (1998) el regadío es un elemento fundamental de la estructuración del paisaje y una de las variables territoriales que configuran decisivamente la demanda total de los recursos hídricos. Es el sector más relevante, tanto en términos de ocupación de superficie, como de utilización y consumo de agua. La calidad y disponibilidad en las fuentes de suministro de agua, deben ser considerados para un manejo integrado de sistemas hidrográficos (Fernández y Volpedo, 2016).

Según Miranda, Carranza y Fischer (2008), mencionan que todas las formas de salinidad en el agua afecta la producción en los cultivos, esto significaría una pérdida económica para los usuarios que exportan productos agrícolas. El agua de uso agrícola es la que se utiliza en la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que los organismos competentes establezcan, el objetivo primario del riego es proporcionar agua a los cultivos en cantidad adecuada y en momento oportuno, para evitar pérdidas de cultivos por los periodos de sequía durante la temporada del año.

Un agua será de buena calidad para el riego agrícola cuando, cumpliendo con sus funciones básicas hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo, no produzca efectos perjudiciales al suelo (Aragüés, 2011). La mayoría de agua para riego tiene una CE menores a 0.1 S/m, aunque las aguas subterráneas presentan valores mayores. Conviene tener presente que antes de establecerse el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad que se usaba por laboratorios y técnicos era el  $\text{umho.cm}^{-1}$  equivalente a  $\text{uS.cm}^{-1}$  (García, 2012).

Las normas sobre calidad del agua estaban definidas deficientemente, en algunos casos no eran coherentes. Esta problemática se presentó entre los años 1990 al 2000, ya que algunos organismos aplicaban metas de tipo medioambiental y otros aplicaban metas de protección de la salud, para el mismo sistema. En algunos casos, se aplicaban las directrices sanitarias de la OMS sin adaptarlas a las condiciones y limitaciones locales, de modo que las normas no eran realistas y por tanto, tenían poco valor. No había en ningún caso programas activos de cumplimiento (OMS y UNICEF, 2017).

#### **d. Respuesta de los cultivos a la calidad de agua para riego**

En la Tabla 3 se presenta los tipos de conductividad eléctrica a tomar en cuenta para el riego, importante recordar que la concentración salina del agua del suelo varía en función de la textura, porosidad y contenido hídrico del suelo.

Tabla 3

*Tipos de CE a tomar en cuenta para riego*

<b>Tipos</b>	<b>Descripción</b>
3CEa=CEas	CE en la zona radicular (CEas) es 3 veces superior a CE del agua de riego (CEa)
1.5CEa=CEe	CE del extracto de saturación del suelo (CEas) es 1.5 veces superior a CE del agua de riego (CEa)
2CEe=CEas	CE en la zona radicular (CEas) es 2 veces superior a CE de extracto de saturación de suelo (CEe)

*Fuente:* El agua de riego: Criterios de interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción (Heredia, 2001).

Según Heredia (2001) menciona que “las sales disueltas en el agua es la variable que abarca mayor consecuencia sobre los cultivos”.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (1985) establece que:

La conductividad eléctrica menor 0,3 dS/m en el agua no dispone de ningún impedimento para utilizarlo en el riego, las aguas que tienen conductividad mayor a 7,0 dS/m tienen una escala de impedimento severo y aguas que estén por encima de estos valores tienen un grado de restricción moderado dependiendo de la tolerancia de las plantas, el clima y la técnica de riego. La conductividad eléctrica es el parámetro más extendido y utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina (Miranda, Carranza y Fischer, 2008).

García (2012) manifiesta que el riego continuado con aguas que tienen sales en solución puede traer como consecuencia la salinización de los suelos reduciendo la disponibilidad de agua para la planta. Las sales incrementan el esfuerzo que la planta debe ejercer para extraer el agua: esta fuerza proporcional es la que se conoce como efecto osmótico o potencial osmótico.

En la Tabla 4 se presentan algunos cultivos que son tolerantes a la salinidad y que debemos tomar en cuenta para su posterior cultivo.

Tabla 4

*Tolerancia a la salinidad de algunos cultivos*

<b>Cultivos</b>	<b>CE dS/m</b>	<b>Grado de tolerancia</b>
Alfalfa	2.0	Moderadamente sensible
Arroz	3.0	Moderadamente sensible
Cebada	8.0	Tolerante
Espárrago	4.1	Tolerante
Frutales	1.5	Sensible
Girasol	7.1	Moderadamente tolerante
Hortícolas	1.5	Sensible
Maíz	1.7	Moderadamente sensible
Olivo	4.0	Moderadamente tolerante
Soya o soja	5.0	Tolerante
Tomate	2.5	Moderadamente sensible
Trigo	6.0	Moderadamente tolerante

*Fuente:* Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua (OMS, 2009).

La presencia de sedimentos, plaguicidas o microorganismos patógenos en el agua de irrigación, que puede no influir específicamente sobre el crecimiento de la planta, pero puede afectar la aceptabilidad de los productos que son destinados al comercio exterior. Otro aspecto a considerar es la presencia de sustancias en el agua de irrigación aunque no se consideren adversas para los cultivos pueden acumularse en ellos en niveles peligrosos para los animales o el hombre (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2003).

En la Tabla 5 se observa la clasificación de las aguas según su salinidad, que pueden ser perjudiciales para los cultivos.

Tabla 5

*Calificación de las aguas de riego en función a la salinidad*

<b>Tipos de aguas</b>	<b>CE (mmhos/cm)</b>
Agua sin efectos detrimentales	0.75
Aguas que pueden ser perjudiciales para cultivos sensibles	0.75-1.50
Aguas que pueden ser perjudiciales para muchos cultivos y que requieren prácticas de manejo cuidadoso	1.50-3.00
Aguas que pueden aplicarse en cultivos resistentes en suelos permeables con prácticas de manejo cuidadosas	3.00-7.50

*Fuente:* Instituto Nacional del Agua [INA] (2013).

#### **e. Respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego**

El agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja ( $<0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y especialmente cuando es menor a  $0.2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  porque es corrosiva y tiende a lavar la superficie dejándolo libre de minerales solubles y sales, especialmente de Ca reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando su dispersión y oclusión de los poros más finos (Aragüés, 2011).

Según la calidad que tenga el agua de riego modificará de manera relevante a la firmeza estructural de la superficie terrestre y a su cualidad para conducir agua. Los motivos fundamentales de alterar la firmeza del suelo son físicas (fractura mecánica de los agregados o



“*slaking*”) y químicas (disociación e hinchamiento del sistema coloidal del suelo). La disociación característica de los coloides presentes en suelo que pueden desplazarse y obstruir o total o parcialmente sus poros, por otro lado el abultamiento disminuye el grosor de los poros conductores del suelo (García, 2012).

En expresión global, si el agua utilizada para riego contiene partículas de sales disueltas no es conveniente el riego por aspersión debido a la absorción iónica foliar, es más recomendable el riego por goteo superficial con mayor regularidad debido a que la cercanía de los goteros (área que las plantas escogen para la sustracción de agua del suelo), la sección de lavado es elevada y la sales del suelo es parecido al agua de riego (García y Causapé, 2012).

En la Tabla 6 se muestra el sistema de riego en los cultivos y la problemática que puede tener en las plantas por la acumulación de salinidad, que se debe tomar en cuenta al momento de escoger cada sistema de riego de acuerdo a la situación o localidad donde estén situados.

Tabla 6

*Sistema de riego y problemática con la salinidad del agua*

<b>Sistema de Riego</b>	<b>Problema Potencial</b>
Gravedad	Baja uniformidad en la distribución del agua.
Surcos	Evaporación del agua y acumulación de sales en la parte superior de los camellones.
Aspersión	Mojado de hojas y absorción iónica foliar (Toxicidad iónica foliar).
Goteo	Acumulación de sales en los bordes del bulbo húmedo; obstrucción de goteos. Goteos subterráneos: Acumulación de sales entre la superficie del suelo y las líneas de goteo.

*Fuente:* Instituto Nacional del Agua [INA] (2013).

### 1.3.6. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua

#### a. Parámetros físicos

Según Arellano (2011), menciona que los parámetros físicos “son los determinantes de las cualidades del agua, que reaccionan a los sentidos (vista, tacto, gusto y olfato) como los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura”.

- **Conductividad eléctrica:** Se llama conductividad o conductancia específica. Es una propiedad característica de la solución entre los electrodos (American Public Health Association [APHA], 2017). Se define como conductividad a la expresión numérica de la capacidad que posee un líquido para conducir electricidad. Esta cualidad está condicionado a la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición (APHA, 2012). Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos para realizar una comparación, observación, ni registro, ni unidades de medida.

Es el nivel de capacidad que tiene el agua para transmitir la electricidad. La molécula de agua, como tal, no tiene carga que permita conducir la electricidad, pero los elementos o sales que se encuentran disueltas en un medio de agua sí lo permiten. Mientras más sales estén presentes, mayor es la conductividad (León, 2013). La conductividad de un agua natural está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto de agua (Marín, 2003).

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente [EPA] (2018), la presencia de sólidos disueltos inorgánicos tales como cloruro, nitrato, sulfato y aniones fosfato (iones que llevan una carga negativa) o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio (iones que llevan una carga positiva) afectan a la conductividad.

- **Sabor y Olor:** Tienen un interés muy evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano y podemos establecer ciertas “reglas”. Las aguas adquieren un sabor

salado a partir de 300 ppm de cloro y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de  $\text{SO}_4^{2-}$ . El  $\text{CO}_2$  libre en agua le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables. El sabor y el olor son muy sensibles a las apreciaciones personales y por lo tanto no muy fiables en la determinación de la calidad del agua (Téllez, 2016).

- **Color:** El color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta, se le denomina "Color aparente", una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como "Color verdadero" siendo este último el que se mide en la determinación. Las aguas que contienen elementos contaminantes disponen de diferentes colores, por lo general, no se pueden definir relaciones precisas entre el color y el tipo de elemento contaminante (Truque, 2012). Truque también menciona que el color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Existen muchas causas y por ello no podemos atribuirlo a un constituyente en exclusiva, aunque algunos colores específicos dan una idea de la causa que los provoca, sobre todo en las aguas naturales. El agua pura es bastante incolora, solo aparece como azulada en grandes espesores. En general, presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales:
  - a. Color amarillento debido a los ácidos húmicos.
  - b. Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.
  - c. Color negro indica la presencia de manganeso.

El color, por sí mismo, no descalifica a un agua como potable pero la puede hacer rechazable por estética.

- **Turbidez:** Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales. En general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. Se indica la cantidad de materia sólida suspendida en el agua se mide por la luz que se refleja a través de esta materia. A mayor intensidad de luz dispersa, mayor nivel de turbidez (Téllez, 2016).

## b. Parámetros químicos

El agua es llamado el solvente universal debido a sus componentes químicos que tienen la capacidad de disolver una infinidad de sustancias como: los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materias orgánicas y nutrientes (Arellano, 2011).

La mayoría de los productos químicos que pueden estar presentes en el agua de consumo sólo constituyen un peligro si se produce una exposición prolongada; sin embargo, algunos pueden producir efectos peligrosos tras múltiples exposiciones en un periodo corto (CARE internacional y Fundación Avina, 2012).

En la Tabla 7 se muestra la clasificación de los componentes químicos desde el origen natural hasta los introducidos por las actividades antrópicas.

Tabla 7

### *Categorización de los componentes químicos*

<b>Componentes químicos</b>	<b>Ejemplos de fuentes</b>
Origen natural	Rocas, suelos, efectos geológicos y clima, masas de aguas eutróficas.
Fuentes industriales y núcleos habitados.	Minería (industrias extractivas) e industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales, residuos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustible.
Actividades Agropecuarias	Estiércol, fertilizante, prácticas de ganadería intensiva y plaguicidas.
Tratamiento de agua y materiales en contacto con el agua de consumo humano.	Coagulantes, SPD, materiales de tuberías.
Plaguicidas añadidos al agua por motivos de Salud	Larvicidas utilizados en el control de insectos.

*Fuente:* OMS y UNICEF (2017).

- **Potencial de hidrógeno:** El potencial hidrógeno (pH) es una medida de los iones hidrógeno en la muestra, se determina mediante una escala que varía entre 1 y 14,

reflejando así la alcalinidad o acidez de una muestra. El pH influye en la acidez, basicidad o neutralidad. El agua con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de siete se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (Carrera, Guevara, Tamayo y Guallichico, 2011).

Marín (2003), expresa que “las funciones vitales de microorganismos acuáticos y el equilibrio carbónico son factores que inciden en el pH del agua, cuyo intervalo para las aguas superficiales se encuentra entre 6 a 8.5”. Asimismo, el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrógeno presentes (Fajardo, 2018). La ecuación del pH se define por medio de un logaritmo negativo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

- **Temperatura:** Según Torres, Cruz y Patiño (2009) la temperatura es un parámetro que nos informa energía térmica de las partículas o átomos en una sustancia. Este parámetro también modifica a otros indicadores de la calidad de agua como el pH, la ausencia de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras características fisicoquímicas. En cambio Breña y Jacobo (2006), mencionan que la temperatura es una medida del movimiento de traslación medio de las moléculas de un sistema.

La temperatura presente en el agua es a causa de la absorción de la radiación en las capas superiores del líquido, las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades tanto químicas como su comportamiento microbiológico (Marín, 2003). El agua de riego actúa sobre la temperatura del suelo y las plantas, modificando su régimen térmico, en función del sistema de riego, la época de aplicación y del origen del agua utilizada (Urbano, 2010).

Según Heredia (2001) argumenta que si el riego es de superficie, puede provocarse enfriamiento del suelo y del sistema radicular de la planta generando un desequilibrio

entre las partes aéreas calientes y las radicales, más frías. El enfriamiento de las raíces reduce su capacidad para absorber el agua y elementos nutritivos del suelo, originando trastornos en la planta. Se considera fría a aquellas aguas cuyas temperaturas son:

$T < 10$  °C, en zonas de alta montaña

$10 < T < 15$  °C en zonas septentrionales

$15 < T < 20$  °C en zonas meridionales

Si el agua procede de pozos profundos, es frecuente que en verano resulten frías para utilizarlas en riego, por lo que en muchos casos sea necesario almacenarlas superficialmente para adecuar su temperatura a la temperatura ambiente.

- **Sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos:** Según León (2013) los sólidos disueltos pueden ser calcio, bicarbonato, nitrógeno, fósforo, hierro, azufre, entre otros iones. Los sólidos suspendidos son variados, desde partículas de arcilla, limo, coloides y plancton, hasta desperdicios industriales y de aguas servidas. Estos pueden ingresar al agua por el lavado de suelos durante las lluvias, fertilizantes, materiales de construcción, etc. Altas concentraciones pueden reducir la claridad del agua, bloquear los órganos de respiración de los seres acuáticos, enterrar huevos, reducir el oxígeno, disminuir la fotosíntesis, aumentar la temperatura, producir problemas gastrointestinales en los seres humanos y dar mal sabor al agua.

Los elementos sólidos contenidos en el agua también se define como la expresión que se atribuye a los restos de material que permanecen en un depósito posteriormente a la evaporación y su posterior secado de una muestra en estufa a temperatura precisa (APHA, 2012). El material sólido suspendido son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles (Ecofluidos ingenieros, 2012).

Por lo general los sólidos totales abarcan sólidos orgánicos o volátiles y los inorgánicos o puntuales. Se pueden encontrar como: sólidos que no sedimentan (sólidos disueltos), cuando

permanecen en estado iónico o molecular, sólidos que pueden ser sedimentables (sólidos suspensión) que por acción de la gravedad se sedimentan de forma sencilla en un período de tiempo, y sólidos que no se pueden sedimentar, debido a que el peso específico del material es cercano al del líquido o por estar en condiciones coloidales (Menéndez, 2010).

- **Nitratos, nitritos y fosfatos:** Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) generalmente se convierte a nitrato fácilmente ( $\text{NO}_3^-$ ), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón, su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades (Bolaños, Cordero y Segura, 2017). El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato (APHA, 2012). La presencia de nitritos en un agua suele indicar una contaminación de carácter fecal reciente, en aguas superficiales bien oxigenadas, la concentración de nitritos no suele superar los 0,100 mg/l (Marín, 2003).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la medida de oxígeno ingerido en la degradación de material orgánico a través de procesos biológicos aeróbicos (Elías, 2012).
- **Demanda biológica de oxígeno (DBO):** Es la materia orgánica biodegradable que contiene el agua o las aguas residuales se puede medir en forma directa, pero no se tiene un dato preciso si las sustancias orgánicas en términos biológicos, son degradables o no (Glynn y Gary, 1999). Asimismo, el DBO indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica presente en un litro de agua. Es una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica (Ecofluidos ingenieros, 2012).

La relación entre DBO y DQO es diferente para cada tipo de agua, sin embargo en aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DBO/DQO. La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, en la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente

oxidado. Para una muestra de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO, las unidades de medida para este parámetro son mg/l o también mg O<sub>2</sub>/l.

- **Oxígeno disuelto (OD):** Es el total de oxígeno que está presente en el agua y que es fundamental para existencia de cualquier organismo acuático, asimismo, el nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua. La gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno presente en el aire y también es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Ecofluidos ingenieros, 2012). Si el OD disminuye, empeoran las condiciones de vida en el medio acuático. Además, a medida que los niveles de oxígeno disminuyen, los olores indeseables, el gusto y coloración impiden la utilización de esa agua para uso doméstico y merma su atractivo para usos referentes al ocio (Masters y Ela, 2008).

El OD es uno de los indicadores de calidad de agua más utilizados para el medio fluvial porque ofrece una medida global del estado del ecosistema. Este parámetro depende de la temperatura, a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve (Téllez, 2016). El valor de oxígeno disuelto puede indicar la cantidad de elementos contaminantes que tiene el agua e información sobre de vida vegetal y animal (Casas, 2012).

### c. **Parámetros microbiológicos**

La contaminación microbiana representa el riesgo más común y extendido para la salud, relativo al consumo de agua, por eso su control debe ser siempre un objetivo de vital importancia. Los virus y protozoos entéricos son más resistentes a la desinfección; por tanto, la ausencia de *Escherichia coli* no implica necesariamente que no haya presencia de estos organismos (CARE internacional y Fundación Avina, 2012).

Según Arellano (2011) refiere que el agua es un medio donde literalmente miles de especies biológicas habitan y llevan a cabo su ciclo vital. El rango de los organismos acuáticos en tamaño y complejidad va desde el muy pequeño o unicelular hasta el pez de mayor tamaño y estos miembros de la comunidad biológica son en algún sentido parámetros de la calidad del agua, puesto que su carencia o presencia pueden señalar la circunstancia como se encuentra un cuerpo de agua. Es posible que algunos organismos se utilicen para indicar la



presencia de determinados contaminantes. Dentro estos organismos podemos mencionar: la *Escherichia coli*, enterobacter, como indicadores de contaminación fecal.

Los microorganismos de origen intestinal y sólidos suspendidos pueden utilizarse para evaluar la inocuidad de los alimentos, aguas destinadas al consumo humano, la agricultura, la industria y la recreación. Los indicadores de contaminación fecal más utilizados son los coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos (Larrea, Rojas, Romeu, Rojas y Heydrich, 2012)

Marchand (2002) menciona que las personas que utilicen el agua con elevado número de microorganismos ya sea para recreación o bebidas, puede causar diversas infecciones cutáneas y mucosas como oído nariz y garganta. Los microorganismos heterotróficos se encuentran en la totalidad de los cuerpos de agua y forman un equipo de bacterias que están presentes en el ambiente con una extensa distribución y señalan lo efectivo de las técnicas de tratamiento.

- **Coliformes totales:** Los coliformes totales son un grupo de bacterias habitantes de la región intestinal de los mamíferos y aves. Este grupo de microorganismos pertenecen a la familia de las enterobacteriáceas, se caracteriza por su capacidad de fermentación de la lactosa a 31 a 37 °C. Los géneros que componen el grupo de los coliformes son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, y además, algunas especies de *Serratia* Bizio, *Citrobacter* Werkman & Gillen y *Edwardsiella* Ewing & McWhorter. Todos los microorganismos intestinales pueden encontrarse como saprófitos de forma independiente, a excepción del género *Escherichia*, que básicamente tiene origen fecal (Reascos y Yar, 2010).

Dentro de los coliformes totales (CT), se distinguen dos tipos: coliformes fecales que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y coliformes residentes naturales en el suelo y agua. Además los coliformes están presentes en aguas servidas (Perdomo, Casanova y Ciganda, 2001).

- **Coliformes fecales:** Según Casas *et al.* (2017) mencionan que no todos los coliformes son de origen fecal, también pueden encontrarse en el ambiente (tierra, polvo y vegetales) por lo tanto su procedencia puede ser fecal y no fecal. Los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal. Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Según Larrea *et al.* (2012) son coliformes termotolerantes cuya denominación se debe a que resisten a temperaturas hasta de 45 °C, alcanza una cifra muy reducida de microorganismos, los cuales señalan la calidad de higiene en alimentos y agua. Son aquellos coliformes capaces de desarrollarse entre 44 – 46 °C, y producir ácido y gas a partir de la lactosa. El 95 % del grupo de coliformes fecales presentes en heces son *Escherichia coli* y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter* (Casas *et al.* 2017).

### **1.3.7. Disminución y medición del caudal hídrico**

A diferencia de los últimos años, la sequía ha traído tensiones sociales, territoriales y políticas, la deficiente normatividad actual, donde le falta involucrar a diferentes actores y darle un enfoque global a la distribución del agua y no nos lleve a una penuria hídrica (MAPA, 1998). La sobreexplotación de recursos hídricos es un problema que cada día viene incrementando los niveles de contaminación y ha conducido en los últimos tiempos a generar una demanda que no llega a cubrir todas las necesidades.

En promedio, más del 70 % de los recursos mundiales de agua, incluida las extracciones de cuerpos superficiales y subterráneos, son utilizados para riego; un 20 % para la industria, y un 10 % se destina a uso doméstico (Delgado, 2015). La población satisface sus necesidades de agua, a través de los ríos, los lagos y los humedales ya que es primordial para beber, la producción de alimentos, la industria, la pesca, navegación, recreación y las actividades culturales (Sachs, 2011).

O’Koeffe y Quesne (2009) señalan que el aumento de explotación de los recursos hídricos ha conducido a una disminución significativa de la diversidad biológica y los beneficios que proporcionan los ríos y otros sistemas dulceacuícolas. En diferentes sitios, los ríos ya no fluyen de manera constante o han dejado fluir, esto debido a las actividades socioeconómicas y la destrucción de los sistemas de agua dulce. Las poblaciones que habitan a las riveras de los ríos se benefician directamente de los servicios ribereños, esto se hace más evidente cuando la corriente disminuye su caudal.

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], (2017) en la región de Piura el costo aproximado para mitigar el déficit hídrico en el año 2016 tuvo un costo de S/ 685 299 en el sector agricultura, por la entrega de insumos para la actividad agrícola (abono foliar, semillas y herramientas) y entrega de insumos para la actividad pecuaria (kits veterinarios y alimento suplementario).

Otra de las causas que producen la disminución del recurso hídrico han sido, los efectos del cambio climático, que en los últimos 40 años ya han causado la pérdida de más del 20 % de la superficie de los glaciares y una disminución del 20 % del caudal del río Amazonas, así como la sedimentación de los territorios y los trasvases de agua (Ibáñez, 2012).

A menudo el ahorro de agua se considera como una medida de emergencia frente a una situación de sequía, en los últimos años se ha convertido en un conjunto de medidas económicas y ambientalmente atractivas para equilibrar los balances entre demandas y suministros urbanos. El ahorro de agua se englobaría en el concepto más amplio de conservación del agua, término surgido no hace muchos años para hacer frente a un ilimitado crecimiento de la demanda, con sus consecuencias de exigencia de mayores suministros, degradación de la calidad del agua y deterioro ambiental (MAPA, 1998).

#### **a. Hidrometría y métodos para medir el caudal**

La hidrometría o medición de caudales permite medir, calcular y analizar los volúmenes de agua que pasa por una sección transversal de un río, canal o tubería, durante una unidad de

tiempo. Su importancia radica ya que provee datos oportunos y veraces una vez procesados para lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del agua en un sistema (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2013).

Dussaubat y Vargas (2005) mencionan que el ser humano ha medido el comportamiento del agua, sea este en movimiento o en reposo siendo el más importante el caudal, puesto que a través de este se cuantifican consumos, se evalúa la disponibilidad del recurso hídrico y se planifica la respectiva gestión de la cuenca. Además, presentan algunos métodos para medir el caudal de un río:

- **Método de los puntos:** Se deben realizar diversas observaciones de velocidad en cada área de la sección vertical dependiendo de la profundidad del curso del agua. Para secciones de escasa profundidad se realizan observaciones colocando el molinete a 60 cm de la profundidad total por debajo de la superficie libre. Para profundidades superiores, generalmente, se mide la velocidad a 20 cm y luego a 80 cm de la profundidad de la superficie libre y se usa el promedio de las dos medidas como la velocidad media en la vertical.
- **Método superficial:** Implica medir la velocidad cerca de la superficie libre y después multiplicarla por un coeficiente que va desde 0.85 a 0.95, dependiendo de la profundidad del agua, de la velocidad, y de la naturaleza del río o canal. La dificultad de determinar el coeficiente exacto limita la utilidad y la exactitud de este método.
- **Método de integración:** En este método el molinete es sumergido y elevado a lo largo de toda la vertical a una velocidad uniforme. La velocidad de ascenso o descenso del molinete no deberá ser superior al 5 % de la velocidad media del flujo en toda la sección transversal. Este método determina el número de revoluciones por segundo. En cada vertical se realizan dos ciclos completos y, si los resultados difieren de más de 10 %, se repite la medición.
- **Método de la Canaleta Parshall:** Los aforadores Parshall son instrumentos calibrados para la medida del caudal en cauces abiertos. El medidor consiste en una

sección convergente con el fondo a nivel, una sección de garganta con el fondo con pendiente descendente y una sección divergente con el fondo con pendiente ascendente, la altura piezométrica de aguas abajo se mide en la sección de la garganta.

Escuela de Organización Industrial [EOI] (2015) en su documento de Instrumentos de Medida y Redes, muestra la medición de los diferentes aforos utilizando distintos aparatos que permiten realizar la medición del caudal circulante por una sección de un río o canal, entre los principales están:

- **Flotador:** En este método se utiliza un flotador visible incorporado a la corriente, que discurre por un tramo de longitud conocida con circulación uniforme, durante un tiempo medido con un cronómetro, permite el cálculo de la velocidad del agua.
- **Neumático:** Este método consiste en hacer burbujear un gas, generalmente nitrógeno o aire, por el extremo de un tubo sumergido en el agua.
- **Ultrasónico:** Este tipo de sensor emite un tren de ondas que al reflejarse en una superficie y retornar es detectado por un receptor; la electrónica del sensor calcula el espacio recorrido por las ondas, midiendo el tiempo de tránsito, y en función de otros datos fijos relacionados con el punto de colocación, calcula el nivel de la superficie del agua.
- **Tubo de Pitot, Tubo de Darcy:** Pitot ideó un procedimiento de medida de la velocidad del agua en un punto mediante la utilización de dos tubos doblados en ángulo recto, colocados verticales, uno con el doblado a favor de la corriente y el otro en contra, de manera que el agua fluya en su interior. La diferencia de niveles proporciona el dato de velocidad.
- **Molinete permanente:** Una hélice o una rueda de cazoletas unida a un pequeño dínamo, proporciona una señal eléctrica. Contando el número de impulsos que se producen en un tiempo determinado por un cronómetro, se pudo conocer la velocidad del agua en el punto de medición.

- **Electromagnético:** La velocidad en un punto se mide con un sensor de aspecto externo similar a los modelos de efecto Doppler. En su interior hay un microprocesador y una bobina eléctrica generadora de un campo magnético que produce una corriente eléctrica proporcional a la velocidad del agua en el entorno. Esta corriente se recoge mediante dos electrodos instalados en los laterales y con ella se calcula la velocidad.
- **Registrador sobre papel, Limnógrafo:** El eje está unido a una polea que es accionada por el ascenso o descenso de la boya, produciendo el desplazamiento del cursor que dibuja sobre un gráfico, además un reloj arrastra el gráfico a una velocidad constante en el tiempo. Estos dos movimientos realizan el limnograma, que representa la evolución del nivel en el tiempo.

### 1.3.8. Toma de muestra

Las técnicas de muestreo varían de acuerdo con la situación específica y según los objetivos previstos; algunos estudios requieren solamente muestras instantáneas o simples, mientras que en otros se necesita disponer de muestras compuestas o aún más elaboradas en tiempo y espacio (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras [INVEMAR], 2003). La confianza en los resultados de un análisis de aguas, depende en gran parte de los cuidados en el momento de la toma de la muestra y de la forma de conservación para cada uno de los parámetros que se quieran determinar (Londoño, Giraldo y Gutiérrez, 2010).

Según el Instituto Mexicano del Agua [IMA] (2004), menciona que el objetivo general de un programa de muestreo es coleccionar una porción de material que represente la composición verdadera de la muestra; por tanto, la calidad de los datos dependerá de las siguientes actividades:

- Formular los objetivos particulares del programa de muestreo.
- Colectar muestras representativas.
- Desarrollar un adecuado manejo y preservación de las muestras.
- Llevar a cabo un adecuado programa de análisis.

### **1.3.9. Índices de calidad del agua (ICA)**

El ICA se ha convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general. El ICA es un indicador compuesto que integra información de varios parámetros de calidad del agua y presenta diferentes metodologías según su autor. Este índice es una herramienta matemática para la calidad y puede ser utilizado para transformar grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única (Gonzales, Caicedo y Aguirre, 2013). Los índices de calidad de agua así como otros índices podrían constituirse en indicadores ambientales en programas de manejo de cuencas (Vergara, 2002).

Un índice de calidad del agua puede ser descrito como “la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o variación climática con las cualidades fisicoquímicas y microbiológicas del líquido, sin omitir la belleza paisajística” (Sierra, 2011). Agencias gubernamentales, ambientales, universidades y diversas organizaciones, se han preocupado por evaluar el impacto antrópico sobre los recursos hídricos a través del estudio de la naturaleza química, física y biológica del agua, mediante programas de monitoreo (Samboni, Carbajal y Escobar, 2007).

García (2012) menciona que un índice de calidad es una cantidad que representa la calidad del agua a través de diferentes cálculos a ciertos parámetros de calidad, su utilización permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo. Es una herramienta que permite reducir información sobre un gran número de parámetros físico-químicos y microbiológicos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible. Índice de calidad de agua es un número acotado de parámetros que sean representativos del sistema. El índice puede ser representado por un número, un rango, un símbolo, o un color (Fernández y Hidalgo, 2012).

#### **a. Antecedentes de los ICA**

Los pioneros en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad (ICA) fueron Horton (1965) y Liebman (1969), sin embargo, estos solo fueron utilizados y

aceptados por las agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta, cuando los ICA tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico (Samboni *et al.* 2007). El índice de calidad de agua “Water Quality Index” (WQI), fue desarrollado en el año 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de multiparámetro (Ball y Church, 1980). El ICA-NSF es un índice público, ya que ignora tanto el tipo de uso que se le dará al agua, como el o los métodos utilizados para determinar las características físicas, químicas y biológicas (Poonam, Tanushree y Sukalyan, 2013).

## **b. ICA más empleados a lo largo del tiempo**

### **• ICA según Horton**

Horton es pionero en la generación de una metodología unificada y planteó el usar de ICA para calcular patrones o circunstancias de contaminación de medios acuáticos. El índice de calidad del agua de Horton utiliza diez variables, incluyendo las comúnmente monitoreadas, tales como oxígeno disuelto, recuento de coliformes, pH, conductancia específica, alcalinidad, contenido de cloruro y la temperatura (Horton,1965).

### **• El INSF**

La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) creó una variable del ICA años más tarde, teniendo como base en el trabajo de Horton.

Gonzales, Caicedo y Aguirre (2013), refiere que el NSF es el indicador que es utilizado con más frecuencia en la estimación de los atributos de aguas superficiales para consumo humano a nivel mundial. Cabe resaltar que los índices Dinus y NSF se pueden adaptar y modificar de acuerdo con las condiciones prevalecientes en nuestro medio o de cada sistema acuático en particular. Aplicación de índices de calidad de agua NSF Dinus y BMWP.

Las variables que toma en cuenta el ICA- NSF con sus respectivos pesos ponderados son: oxígeno disuelto (0.17), Coliformes (0.15 NMP/100 ml), pH (0.12), DBO<sub>5</sub> (0.10), nitratos (0.10), fosfatos (0.10), temperatura (0.10), turbiedad (0.08 mg/l) y sólidos totales (0.08) (Ott,



1978). Para el cálculo del ICA NSF se utiliza la siguiente ecuación, que representa un promedio aritmético ponderado (Fernández y Solano, 2008).

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

Dónde:

WQI= Índice de calidad de agua.

$Q_i$ = Subíndice del parámetro  $i$ .

$W_i$ = Factor de ponderación para el subíndice  $i$ .

El valor de  $Q_i$  se estima a partir de funciones de calidad, expresadas a partir de ecuaciones o curvas para cada variable (Fernández *et al.*, 2017, citados por Yáñez, 2018, p. 5).

- **ICA de Oregon**

La ciencia de la calidad del agua ha mejorado notablemente desde la introducción del OWQI en la década de 1970. Fue mejorado en 1995 para reflejar los avances en el conocimiento de la calidad del agua y en el diseño de los índices de calidad del agua. Es ampliamente utilizado y mantenido por el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon. El OWQI se ha utilizado para informar sobre el estado de calidad del agua (Torres, Cruz y Patiño, 2009). El OWQI se ha utilizado para informar sobre el estado de la calidad del agua y las tendencias de Oregon a los legisladores estatales y otros responsables de las políticas públicas. Las variables de calidad del agua incluidas en OWQI son: temperatura, oxígeno disuelto, DBO, pH, ST, amonio y nitratos, fósforo total y coliformes fecales.

- **ICA según Dinius**

Bharti (1965), citado por Torres, Cruz y Patiño (2009, p. 83), menciona que Dinius hizo un intento por diseñar un sistema de contabilidad social rudimentaria que midiera los costos y el impacto de los esfuerzos de control de la contaminación y se aplica ese índice a título ilustrativo a los datos de varios arroyos en Alabama, EE.UU.

Otro índice multiplicativo de calidad del agua, diseñado específicamente para la toma de decisiones fue desarrollado por Dinius utilizando el método de índice presentado por Delphi. Este indicador, a diferencia del índice de calidad NSF, cuya categorización está enfocado a las aguas destinadas a un punto de captación para el consumo humano, toma en cuenta cinco usos de dicho líquido vital: consumo primario, sector agrícola, pesca y sistemas acuáticos, sector industrial y recreación (Dinius, 1987).

- **Índice universal de la calidad del agua (UWQI)**

Miravet, Ramírez, Montalvo, Delgado y Perigó (1987), citados por Universidad Cooperativa de Colombia[UCC] (2014, p. 23), mencionan que Mingo Magro en el año 1981, propuso un índice de calidad que pondera 23 variables físico-químicas y microbiológicas que pueden ser a su vez “básicas” o “complementarias”, de acuerdo con el uso del agua. En España, el índice más empleado es el Índice de Calidad General (ICG), desarrollado por el antiguo Ministerio de Obras Públicas (MOPU), en 1983. Este índice es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros de calidad de las aguas, procesados mediante ecuaciones lineales.

Boyacioglu (1997), citado por UCC (2014, p. 24), hace referencia que “el UWQI tiene ventajas sobre los índices preexistentes al reflejar la idoneidad para uso específico, además el UWQI tiene en cuenta 12 parámetros: coliformes totales, cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruros, nitratos, oxígeno disuelto, pH, DBO, y fósforo total”.

Brown, McClelland, Deininger y Tozer (1970), citados por Torres (2009, p. 6), menciona que se desarrolló por primera vez, una metodología para crear un índice de calidad de agua en vista de la necesidad de imponer un técnica uniforme que pudiera calcular la particularidad del agua. Esta metodología debía ser sensitiva a los químicos más contaminantes y como resultado debía proporcionar los efectos desfavorables de la contaminación al hombre y a la vida acuática. La metodología incorporó el método DELPHI y se consultó a un panel compuesto de 142 personas. En la Tabla 8 se muestra los parámetros que seleccionados por Brown, McClelland, Deininger y Tozer (1970), según manifiesta Torres.

Tabla 8

*Parámetros Seleccionados por Brown, McClelland, Deininger y Tozer (1970).*

---

<b>Parámetros</b>
Oxígeno disuelto
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> días)
Turbidez
Sólidos totales
Nitratos
Fosfatos
pH
Temperatura
Coliformes fecales

---

*Fuente: (Brown et al., 1970, citados por Torres et al., 2009).*

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Diseño de la investigación**

#### **2.1.1. Lugar y fecha de ejecución**

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la quebrada San Antonio, distrito de San Miguel de El Faique, provincia de Huancabamba, departamento de Piura. El distrito san Miguel de El Faique representa una población total de 9 468 habitantes, según la Unidad Nacional de Empadronamiento de la municipalidad, actualizado el 09 de octubre del 2018. El mencionado distrito está ubicado en las coordenadas: 5° 24' 6.7" Latitud Sur y 79° 36' 22.35" Longitud Oeste, como se muestra en la Figura 2.

El proyecto fue realizado entre el mes de mayo y noviembre del año 2018, por lo que tuvo una duración de 6 meses. Se cumplió con el cronograma de trabajo.



<b>UCSS</b> 	
UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE, FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD (PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS) Y CANTIDAD (CAUDAL) DE AGUA PARA RIEGO EN EPÓCAS DE ESTIAJE, AGOSTO-NOVIEMBRE, EN LA QUEBRADA DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DE EL FAIQUE, HUANCABAMBA	
Elaborado por: - Cristóbal Aníbal Mínguez Parga	Escala: 1:5000
Dpto: Tarma	Provincia: Huancabamba
Distrito: San Miguel de El Faique	

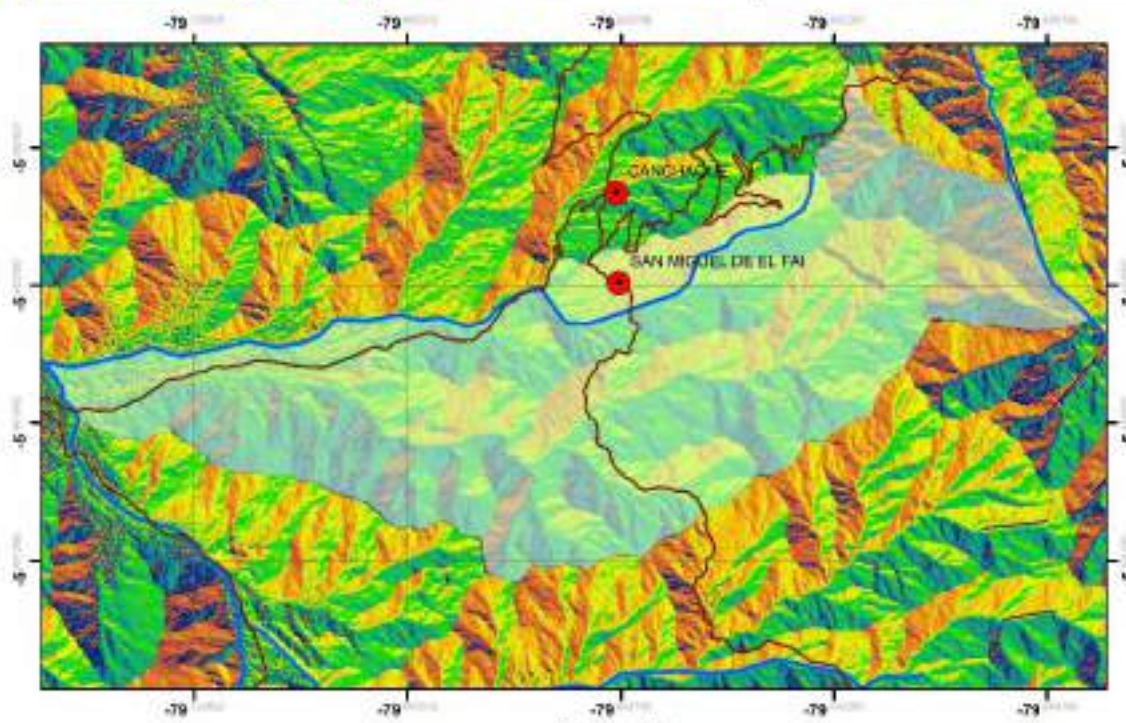


Figura 2. Mapa de localización del distrito de San Miguel de El Faique. Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2. Descripción de la zona de investigación

La zona de estudio está ubicada al margen derecho del distrito San Miguel de El Faique, a 15 minutos de dicha ciudad, y se desarrolla aproximadamente entre las cotas 2 208 m.s.n.m y 772 m.s.n.m lo que hace una longitud total aproximada de 15 km .La temperatura promedio es de 26 °C. La mayoría del trayecto de la quebrada se desarrolla en una vertiente de gran pendiente, de relieve muy irregular y escarpado, con una red de drenaje superficial de alta densidad, lo que evidencia el alto grado de escorrentía directa como respuesta a las tormentas de alta intensidad que suceden en dicho territorio.

La geología de la quebrada, en su mayoría, está conformada por grandes afloramientos de rocas. En general, la cubierta vegetal es abundante en la cabecera de la quebrada y conformada por lanche, zuro y arbustos propios de la zona, en la cuenca media y baja, pajonales y matorrales. Temporalmente, las precipitaciones se concentran en los meses de enero a marzo (85 %), precedido de un periodo de transición entre abril a junio (10 %) y un periodo de estiaje entre julio y hasta mediados de noviembre (5 %), dicha quebrada forma parte de la cuenca del río Piura, lo cual representa el 0.2 % de los 1 1019 km<sup>2</sup> del área de la cuenca (ANA, 2015). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2013) menciona que la población en situación de pobreza es el 60.57 % y en situación de pobreza extrema es el 17.85 %, el ingreso de los pobladores se basa en la agricultura, ganadería y en menor proporción en el comercio. Sus principales cultivos son el café, plátano, maracuyá, palto, lúcuma, granadilla, maíz, cacao, mamey, frijol, ajo, trigo, caña de azúcar, naranja, chirimoya, pasto elefante, y la alverja.

En la Tabla 9 se presentan las coordenadas de ubicación de los puntos donde se tomó las muestras de agua.

Tabla 9

*Ubicación de puntos de muestreo*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Descripción de sitio de muestreo</b>	<b>Coordenadas UTM WGS84</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>
1	MA-01	Cabecera de cuenca	X: 659466.48;Y: 9404488.23	1 562
2	MA-02	Carretera Faique-Huarmaca	X: 655849.96; Y:9402112.04	1 208
3	MA-03	Puente La Afiladera	X: 651804.67; Y:9402520.28	799

*Fuente:* Elaboración propia.

La ubicación de estos puntos fue escogida siguiendo la lógica de muestreo en dirección y sentido de escorrentía de la quebrada de San Antonio. En la Tabla 10 se muestra la descripción de los puntos de muestreo, en la Figura 3, se puede observar donde están ubicados los puntos de muestreo.

Tabla 10

*Descripción de los puntos de muestreo*

Punto de muestreo	Código de Muestra	Descripción de sitio de muestreo
1	MA-01	Cabecera de cuenca (30 min aguas arriba del canal Sánchez Cerro).
2	MA-02	Carretera Faique-Huarmaca (a 50 m aguas abajo de la carretera).
3	MA-03	Puente La Afiladera (5 m aguas arriba del puente La Afiladera).

*Fuente:* Elaboración propia.



*Figura 3.* Mapa de ubicación de Puntos de Muestreo de la quebrada San Antonio. *Fuente:* Google Earth.

### 2.1.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación tuvo un alcance descriptivo, porque buscó indagar la incidencia de los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en un periodo y espacio, se

utilizó la metodología de comparación con el ECA para evaluar la información resultante del monitoreo de la calidad del agua a cargo de la consultora ambiental EQUAS S.A. para lo cual se realizó visitas constantes a la municipalidad y se dialogó con algunos pobladores que se benefician de la quebrada obtener información de interés.

#### **2.1.4. Método de investigación**

##### **a. Metodología para la recolección de muestras de agua**

Después de la georreferenciación de los puntos de muestreo, se utilizó programas de información geográfica como ArcGis 10.5, Google Earth, cartas nacionales del IGP para establecer dichos puntos en un mapa de ubicación geográfico.

Para las actividades de toma de muestras en la quebrada de San Miguel de El Faique se utilizó el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por R.J. N° 010-2016-ANA el cual permitió el desarrollo del monitoreo de la calidad en los cuerpos naturales de agua superficial. Esta consistió desde la preparación de materiales y equipos, precauciones durante el monitoreo, reconocimiento del entorno, medición de los parámetros en campo y registro de información, toma de muestras, preservación, etiquetado, rotulado, conservación y transporte y, finalmente, el aseguramiento y control de la calidad que es parte importante del sistema de monitoreo.

Las muestras destinadas al análisis de aquellos parámetros, cuyos tiempos máximos de duración son de 24 horas, se transportaron en un tiempo inferior a este con la finalidad de evitar alteraciones de las concentraciones de estos parámetros inestables. Para medir los parámetros de campo (temperatura y pH) se utilizó el equipo multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion y para medición del (caudal) se utilizó equipo Global Water en función a las especificaciones del manual de operaciones de dichos instrumentos.



La cantidad mínima de agua necesaria para una muestra fue de 500 ml, de acuerdo con la recomendación del laboratorio se utilizaron envases de plástico y de vidrio con tapa, esterilizados, y se etiquetó con información referente al responsable del muestreo, código, descripción de punto de muestreo, parámetro de análisis, tipo de muestreo, preservación, reactivo usado para la preservación de la muestra, fecha y hora de muestreo.

#### **b. Métodos de análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos**

El Laboratorio de la consultora ambiental EQUAS S.A utilizó el método de análisis de la norma Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012 (APHA, AWWA, WEF). Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de la Consultora Ambiental EQUAS S.A. de la ciudad de Lima.

Para medir la conductividad se utilizó el método 2510B del APHA 2012, las concentraciones iónicas medidas a contribución relativa de cada catión y anión se calcula multiplicando las conductancias equivalentes.

Para determinar los aceites y grasas se utilizó el método 5520D, que es el método de elección cuando existen fracciones de petróleo pesadas, relativamente polares, o cuando los niveles de grasas no volátiles pueden desafiar el límite de solubilidad del disolvente para niveles bajos de aceite y grasa (<10 mg/l).

En el análisis de coliformes totales, se utilizó la técnica de fermentación de tubos múltiples de la mencionada Norma Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9221 B; 22th. Ed.2012.

Para el análisis de coliformes termotolerantes, se usó el método de estandarización de fermentación de tubos múltiples de la Norma Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9221 E (Ítem 1); 22th. Ed. 2012.

### **Procedimiento para el análisis de coliformes totales y termotolerantes:**

- Se prepararon los tubos de Caldo Lauril Triptosa (CLT) o Caldo Lactosado (CL) en concentración simple y se colocaron en filas de 5 tubos. Se tomó la precaución que al momento de iniciar la prueba no estuviera a la temperatura de refrigeración. Para las inoculaciones de las porciones de 10 ml de muestra, se usó el Caldo Lauril Triptosa (CLT o CL) en concentración doble.
- Se procedió al marcado de los tubos, para ello, se anotó el número designado por el laboratorio en la ficha de registro de exámenes, además del volumen de muestra que fue inoculada y el día. Esta marcación se hizo solamente en el primer tubo de la derecha en la primera fila. En los primeros tubos de las hileras siguientes se simplificaron las marcaciones. Para ello, se colocó solo el volumen de la muestra inoculada. Se identificó también los frascos de aguas de dilución.
- Se homogenizó la muestra por lo menos de 25 veces. Para ello, se inclinó el frasco formando un ángulo de aproximadamente  $45^{\circ}$  C entre el brazo y el antebrazo.
- Con una pipeta esterilizada de 10 ml y obedeciendo los cuidados de la asepsia, se transfirió 10 ml de muestra a un frasco con  $90 \pm 2$  ml de agua de dilución temperada, anticipadamente identificado. Se preparó la primera dilución decimal ( $10^{-1}$ ), sabiendo que un ml de ella corresponde a 0.1 ml de muestra.
- Con la misma pipeta, se sembró 10 ml de muestra en cada uno de los tubos de Caldo Lauril Triptosa (CLT o CL) de concentración doble.
- Con una pipeta de 5 ml, se inoculó un ml de muestra en cada uno de los cinco tubos correspondientes.
- Se homogenizó el frasco con la primera dilución ( $10^{-1}$ ) y con una nueva pipeta esterilizada, se transfirió 10 ml a un frasco con  $90 \pm 2$  ml de agua de dilución temperada. Se consiguió así la segunda dilución decimal ( $10^{-2}$ ), sabiendo que un ml de

ella corresponde a 0.01 ml de muestra. Se procedió igual en las secuencias de diluciones deseadas  $10^{-3}$ .

- Se ordenó los frascos con las diluciones, se mantuvo la secuencia decreciente de estas. Se agitó vigorosamente 25 veces el frasco con la última dilución efectuada y con una pipeta estéril de 5 ml, se sembró un ml de dilución en cada tubo de CLT correspondiente a esta dilución. Se procedió sembrando de la misma forma desde la muestra más diluida a la más concentrada, utilizando la misma pipeta.
- Después de la inoculación de todos los volúmenes de muestra en cada dilución requerida para el examen, se colocó la incubadora a  $35 \pm 0.5$  ml durante  $24 \pm 3$  horas.

#### **Lectura:**

Después de ese periodo de incubación se retiró los tubos de la incubadora para efectuar la primera lectura de los resultados. Para ello, se agitó suavemente cada tubo y se examinó la producción de gas. Se retiró los tubos con resultados positivos (producción de cualquier cantidad de gas, retenida en el tubo Durham) y se anotó los resultados, se devolvieron a la incubadora los tubos con resultados negativos por un periodo adicional de  $24 \pm 1$  hora. La segunda lectura ( $48 \pm 3$  horas) se hizo en las mismas condiciones. Los tubos de CLT con resultado positivo se separaron y los negativos se descartaron.

Para la realización del ensayo confirmativo, todos los tubos con resultado positivo en CLT en las lecturas de  $24 \pm 2$  horas y  $48 \pm 3$  horas se sometieron a la confirmación inmediatamente después de las respectivas lecturas. Si en el procedimiento varias diluciones sembradas hubieran dado resultado positivo, se hubiera procedido a la confirmación de la última serie de tubos con mayor dilución que presentaron resultados positivos en todos los tubos en  $24 \pm 2$  horas y en los tubos positivos de las series siguientes.

El ensayo confirmativo que se efectuó por medio del Caldo Lactosado verde brillante bilis (CLVBB) para determinación de coliformes totales y caldo EC para determinación de coliformes termotolerantes (fecales).

Confirmación de coliformes termotolerantes (fecales) esta diferenciación se efectuó a partir de los tubos positivos de Caldo Lauril Triptosa (Caldo Lactosado).

- Se efectuó la marcación de tubos EC (previamente temperados en baño maría a  $44 \pm 0.2$  °C durante un mínimo de 30 minutos) con los números correspondientes a cada tubo de medio presuntivo (CLT o CL) en que se verificó la formación de gas.
- Se agitó cada tubo de CLT con resultado presuntivo positivo y en un asa de níquel-cromo (estéril) se tomó un inóculo de cultivo y se transfirió al tubo de EC correspondiente. Para ello, se tuvo que evitar la película superficial que pueda formarse en cultivo presunto positivo.
- Se incubó todos los tubos de EC inoculados (no más de 30 minutos después de la inoculación) en baño maría a  $44.5 \pm 0.2$  °C durante  $24 \pm 2$  horas.

#### **Proceda a la lectura:**

Se consideró como resultado positivo para la prueba todos los tubos que presentaron formación de gas en el tubo Durham. Con los datos obtenidos se calculó el NMP de coliformes fecales. Se utilizó las tablas de NMP según el número de réplicas por dilución.

#### **Expresión de resultados:**

En el caso de coliformes totales, los resultados se expresan como NMP de coliformes totales/100 ml y, en el caso de coliformes termotolerantes, como NMP de coliformes fecales/100 ml.

#### **c. Método para determinar la calidad del agua**

Con los resultados se hizo la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) del Agua de categoría 3 para riego de vegetales, de uso no restringido y de uso restringido; también se comparó con la bebida de animales, también fue conveniente compararlos con los parámetros de la categoría 1 poblacional y recreacional, subcategoría A1 y A2.

#### **d. Método para calcular el caudal de la quebrada**

Para ello se realizó la adecuación del lugar, haciendo que el agua discurra por un solo canal para posteriormente realizar la sectorización transversalmente de cauce de la microcuenca en la margen derecha, el centro y margen izquierda por donde discurría el agua de la quebrada.

Para la medición de caudal se utilizará un correntómetro modelo Global Water modelo FP11, cual se utilizó el que tiene una sola hélice, el mango de dicho instrumento es una caña de dos piezas ampliable de aproximadamente 1 a 2 m. En la Figura 4 muestra la imagen del correntómetro utilizado en dicho trabajo de investigación.



*Figura 4.* Correntómetro Global Water modelo FP11. *Fuente:* Tech Perú Industrial S.A.C, 2018.

Se utilizó el método de un punto para medir la velocidad del agua, en donde se instaló la hélice del correntómetro directamente en el curso de agua que se desea medir por debajo de los ocho centímetros del espejo de agua, con dirección de la flecha que indica en la parte exterior de la carcasa del propulsor, el método radica en tomar medición de las revoluciones por unidad de tiempo, se pulse el botón RESET para comenzar a tomar velocidad mínimo, medio y máximo de las lecturas, se pulsó REINICIAR antes de comenzar una nueva medida, para tener una mejor precisión.

Para saber a qué profundidad irá el correntómetro, para la medición de la velocidad en dicho sector o tirante de agua se hizo en función de la altura del tirante o espejo de agua (d) (Tabla 11) y la relación geométrica del canal fue de forma rectangular (Figura 5).

Tabla 11

*Profundidades sugeridas para medir las velocidades*

<b>Tirante de agua (d) cm</b>	<b>Profundidad de lectura de correntómetro cm</b>
<15	d/2
15<d<45	0.6(d)
>45	0.2 (d) y 0.8 (d) o 0.2(d),0.4(d) y 0.8(d)

Fuente: Ruiz, (2017).

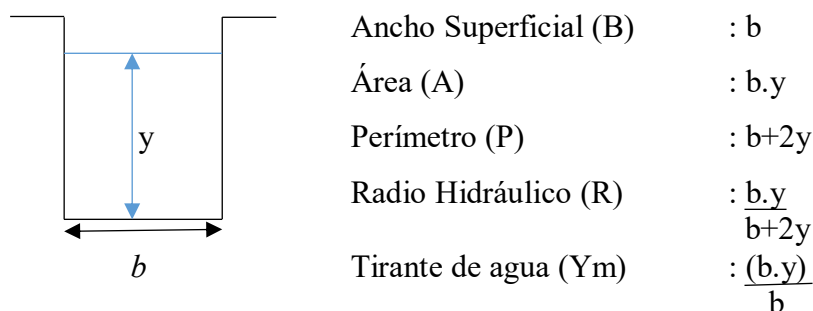


Figura 5. Relación geométrica de un canal en forma rectangular. Fuente: Baca, (2013)

## 2.2. Análisis de datos

### 2.2.1. Procesamiento de información y análisis estadístico de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó programas de información geográfica como ArcGis 10.5, Google Earth, y programas informáticos de Microsoft Office. Los parámetros realizados en situ (pH y Temperatura) fueron registrados en una libreta de campo.

Una vez obtenidos el informe del laboratorio de la consultora EQUAS S.A. se hizo la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), según el D.S. N° 004-2017-MI-MAN, para luego procesarlos estadísticamente en el software Minitab y Microsoft Excel. Dentro del análisis se contempló determinar elaboración de cuadros y/o gráficos y comparación de resultados. En los resultados encontramos datos de incremento de la concentración

de coliformes fecales y totales, estos datos han sido calculados con la finalidad de evaluar la concentración de elementos contaminantes en el agua, además de la varianza, la desviación estándar, la media, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos.

### **Fórmula para calcular el incremento de concentración de coliformes totales y fecales**

$$\Delta I = P_f - P_i$$

Dónde:  $\Delta I$  = Variación de concentración entre punto final y punto inicial.

$P_f$  = Concentración microbiológica en el punto final.

$P_i$  = Concentración microbiológica en el punto inicial.

### **Incremento microbiológico expresado en porcentaje [% I]**

$$\% [I] = (\Delta I * 100 / P_i)$$

Dónde: % [I] = Variación o incremento expresado en %.

$\Delta I$  = Variación de concentración entre  $P_i$  y  $P_f$

$P_i$  = Concentración microbiológica en el punto inicial.

### **Promedio**

$$X = \frac{\sum x}{N} \quad \text{Dónde: } N = \text{número de muestras.}$$

### **Coefficiente de variación o coeficiente de spearman**

$$CV = \frac{\sigma}{X} 100\% \quad \text{Dónde: } \sigma = \text{desviación típica}$$

$X$  = media.

### **Desviación estándar o típica**

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{Donde: } S^2 = \text{varianza muestral}$$

### **Varianza muestral ( $S^2$ )**

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{X})^2}{N - 1} \quad \text{Dónde: } \bar{X} = \text{promedio de los datos}$$

$x$  = dato

$N$  = número de datos

La cantidad de agua de la quebrada se midió mediante el uso de un correntómetro, utilizando la fórmula del área de un rectángulo para hallar el área de sección por donde discurre el agua,

ya que es la forma a la que se asemeja el lugar que se acondicionó para medir la velocidad de la sección por donde pasó el agua. Para encontrar el área del canal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q=V*A$$

Dónde: Q=caudal.

V= velocidad según el correntómetro.

A= área de la sección por donde discurre el agua.



## **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

Para lograr el objetivo general de la investigación “Evaluar la calidad y caudal de agua para riego en épocas de estiaje, en la quebrada San Antonio, distrito San Miguel de El Faique-Huancabamba, entre los meses de agosto a noviembre del 2018”, se han obtenido datos de los parámetros físico-químicos y microbiológicos emitido por el laboratorio de EQUAS S.A. y datos de caudal, durante los meses de agosto a noviembre. Asimismo, se brinda información relevante sobre la importancia del cuidado del agua; finalmente se plantean alternativas para prevenir impactos que en un futuro puedan generar daño a la población.

En los siguientes cuadros se muestran los resultados obtenidos en los exámenes, físico-químicos y bacteriológico de agua.

### **3.1. Resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos**

#### **3.1.1. Resultados del pH**

En la Tabla 12 y la Figura 6 se puede observar que en la muestra número siete, el agua evaluada tiene un pH alcalino. En el primer muestreo el punto MA-03 presenta un mayor valor con 8.82 respectivamente en comparación con los puntos MA-01 y MA-02 que están en el rango de 7.80-8.39. En la Tabla 12 se puede observar que en la cuenca baja el pH está por encima de 8 debido a la presencia de rocas que contienen carbonatos de calcio y porque en el trayecto viene arrastrando las sustancias que se hacen que aumente dicho parámetro.

Tabla 12

Resultados de pH en la quebrada San Antonio

Código de muestra	Número de muestras	pH
MA-01	1	7.79
	2	6.87
	3	7.66
	4	7.8
MA-02	5	7.68
	6	7.63
	7	8.82
MA-03	8	8.39
	9	8.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Estadísticos de pH de la quebrada San Antonio

Número de muestreos (N)	Media (X)	Desviación estándar (S)	varianza	Coficiente de variación	Max.	Min.
9	7.89	0.565	0.319	7.16	8.82	6.87

Fuente: Elaboración propia.

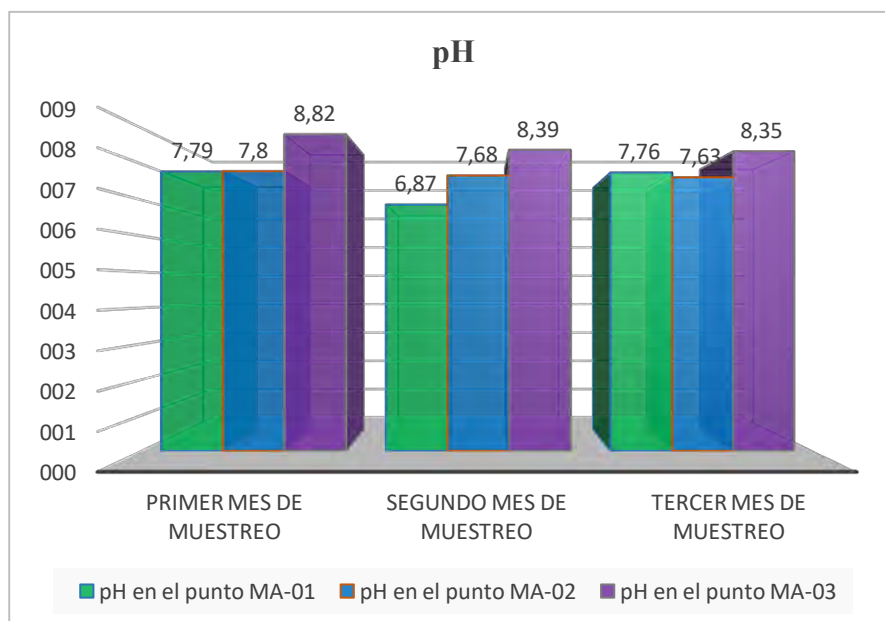


Figura 6. Resultados del pH. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Resultados de la temperatura

Según la Tabla 15 la temperatura promedio del agua que se registró fue de 22 °C. La temperatura máxima registrada en las tres estaciones fue de 26 °C y la temperatura mínima promedio mensual fue de 17 °C (Tabla 14), dicha variación se debe a la altura en que se encuentra cada punto. En la Figura 7 se observa la variación de la temperatura promedio en los tres meses de muestreo.

Tabla 14

*Resultados de la temperatura del primer muestreo*

<b>Código de muestra</b>	<b>Número de muestras</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
MA-01	1	17
	2	18
	3	19
MA-02	4	25
	5	25
	6	21
	7	25
MA-03	8	26
	9	22

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 15

*Estadísticos de temperatura de la quebrada San Antonio*

<b>Parámetro</b>	<b>Número de muestreos (N)</b>	<b>Media (X)</b>	<b>Desviación estándar (S)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Coficiente de variación</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>
Temperatura	9	22	3.43	11.75	15.58	26	17

*Fuente:* Elaboración propia.

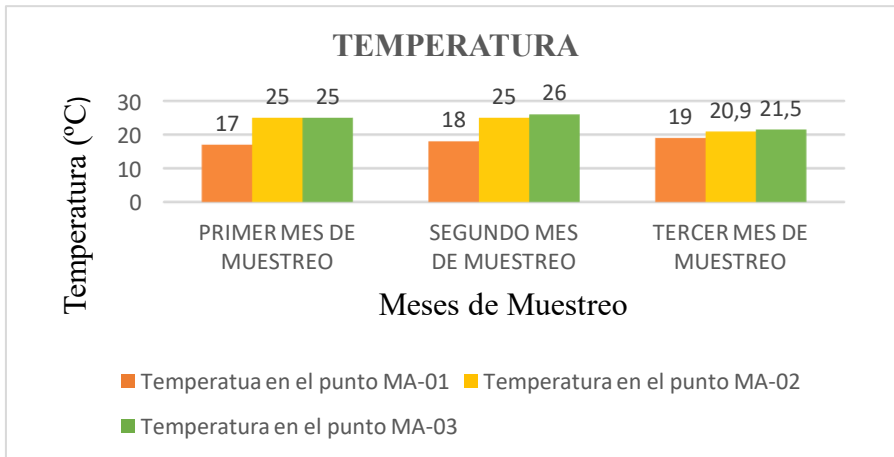


Figura 7. Resultados de la temperatura. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8, se puede observar el comportamiento de la conductividad respecto a la temperatura, a medida que la temperatura aumenta la conductividad eléctrica también tiende a incrementar esto debido a que hay mayor evaporación del agua lo que trae como consecuencia la acumulación de sales.

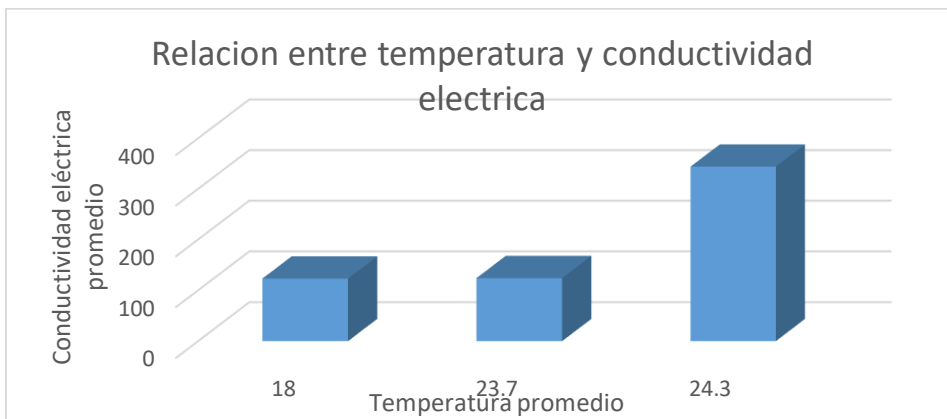


Figura 8. Relación entre temperatura y conductividad eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 muestra la variación de temperatura con respecto al valor máximo y mínimo registrado en la investigación. La figura muestra que desde el primer hasta el cuarto muestreo la temperatura incremento y luego se mantiene constante hasta el quinto muestreo, para después descender y así la temperatura tiene valles y picos debido a que el clima es muy variable en la zona.

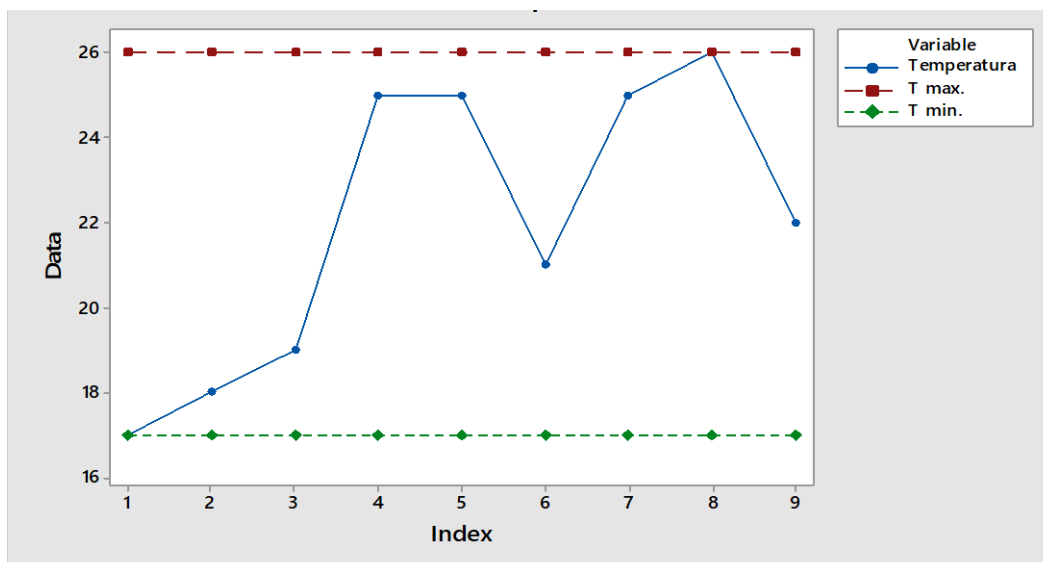


Figura 9. Comportamiento de la temperatura, con respecto al valor máximo y mínimo.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Resultados de aceites y grasas

Los resultados para aceites y grasas durante los tres meses de monitoreo se mantuvo constante, con un valor menor a 0.5 mg/l, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultado de aceites y grasas de la quebrada San Antonio

Código de muestra	Número de muestras	Aceites y grasas (mg/l)
MA-01	1	0.5
	2	0.5
	3	0.5
MA-02	4	0.5
	5	0.5
	6	0.5
	7	0.5
MA-03	8	0.5
	9	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17

*Estadístico de aceites y grasas de la quebrada San Antonio*

Parámetro	Número de muestreos (N)	Media (X)	Desviación estándar (S)	varianza	Coeficiente de variación		
					Max.	Min.	
Aceites y grasas	9	0.5	0	0	0	0.5	0.5

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.1.4. Resultados de conductividad eléctrica

Los resultados de la conductividad eléctrica enviados por el laboratorio de la consultora EQUAS S.A. se tuvo como unidades de medida los  $\mu\text{mhos/cm}$ , sin embargo en el SI nos recuerda que  $1 \mu\text{mhos/cm}$  es igual a  $1 \mu\text{S/cm}$ . En todos los puntos la conductividad eléctrica está en el rango permitido, además el valor promedio es de  $194,6 \mu\text{mhos/cm}$  (Tablas 18, 19) y en la Figura 8 se puede observar que el mayor valor de la conductividad se da en la parte baja de la cuenca en los tres meses de monitoreo.

Tabla 18

*Resultado de conductividad eléctrica de la quebrada San Antonio*

Código de muestra	Número de muestras	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	
MA-01	1		122
	2		115.5
	3		110.9
MA-02	4		118.6
	5		122.5
	6		129.8
MA-03	7		319
	8		351
	9		362

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 19

*Estadísticos de conductividad eléctrica de la quebrada San Antonio*

Parámetros	Número de Muestreos (N)	Media (X)	Desviación Estándar (S)	va-rianza	Coeficiente de Varia-ción		
					Max.	Min.	
Conductividad eléctrica	9	194.6	112.7	12708.2	57.93	362	110.9

*Fuente:* Elaboración propia.

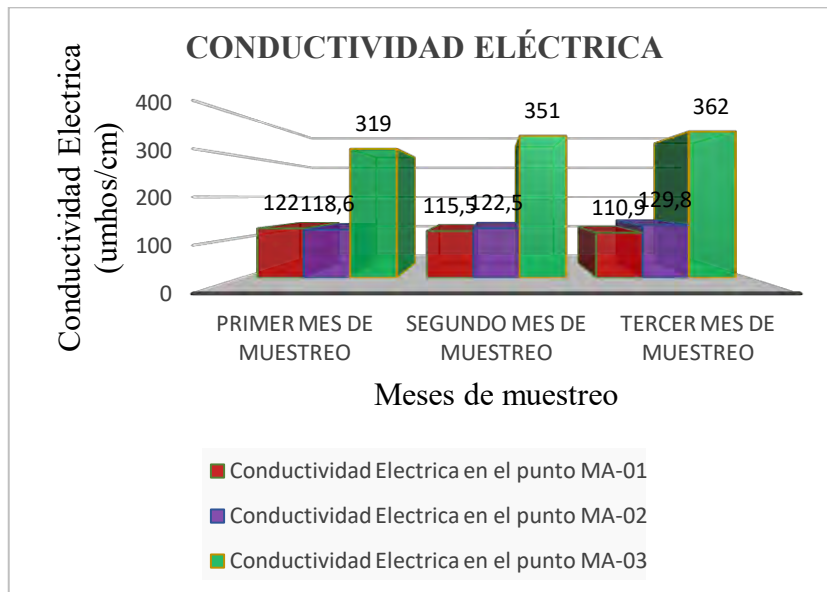


Figura 10. Resultados de Conductividad Eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 muestra las diferentes variaciones de la conductividad durante los muestreos, con respecto a su valor máximo.

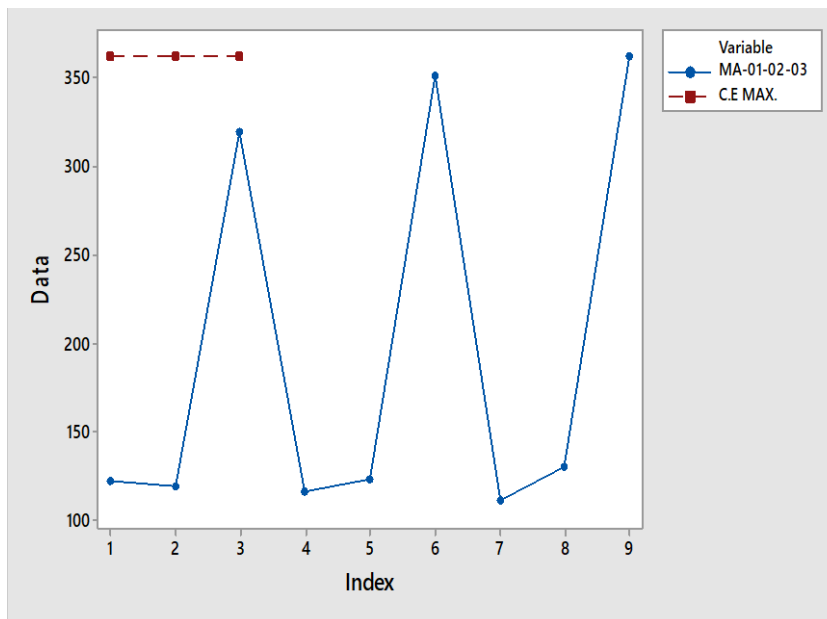


Figura 11. Comportamiento de la C. E respecto a su valor máximo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica con respecto al valor máximo que se registró durante el estudio.

### 3.1.5. Resultados de exámenes microbiológicos

Los resultados de los exámenes bacteriológicos determinaron que las aguas de la quebrada San Antonio son aptas para el riego de vegetales y consumo humano, regulados por los Estándares de Calidad Ambiental del agua. Se puede observar que el punto de muestreo MA-02 sobrepasa el ECA tanto en el cuarto y sexto muestreo para coliformes fecales y totales (Tablas 20 y 21). Asimismo, el promedio de coliformes totales registró 4 573 NMP/100 ml, mientras que el promedio de coliformes fecales tuvo un valor de 719 NMP/100 ml. Las Figuras 12 y 13 muestran el comportamiento de los coliformes totales y fecales.

Tabla 20

*Resultados de coliformes totales y fecales de la quebrada San Antonio*

<b>Código de muestra</b>	<b>Número de muestras</b>	<b>Coliformes totales (NMP/100 ml)</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</b>
MA-01	1	170	13
	2	240	7.8
	3	1 700	170
MA-02	4	35 000	3 300
	5	540	350
	6	2 400	2 400
MA-03	7	540	54
	8	350	130
	9	220	46

*Fuente:* Elaboración Propia.

Tabla 21

*Estadísticos de coliformes totales y fecales de la quebrada San Antonio*

<b>Parámetro</b>	<b>Número de Muestras (N)</b>	<b>Media (X)</b>	<b>Desviación estándar (S)</b>	<b>varianza</b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>
Coliformes totales	9	4573	1 1436	130 782	250.06	3 5000	170
Coliformes fecales	9	719	1 233	1 521 400	171.56	3 300	8

*Fuente:* Elaboración propia.

La variación de concentración de coliformes totales y fecales entre la cabecera de cuenca y la cuenca baja según la fórmula:

$$\Delta I = P_f - P_i$$



Para coliformes totales es de -333.33 y para coliformes fecales es de 13.07 NMP/100 ml.

Para encontrar la concentración expresado en porcentaje se utilizó la formula siguiente:

$$\% [I] = (\Delta I * 100 / P_i)$$

Lo cual dio como resultado -47.39 % para coliformes totales y 20.55 % para coliformes fecales.

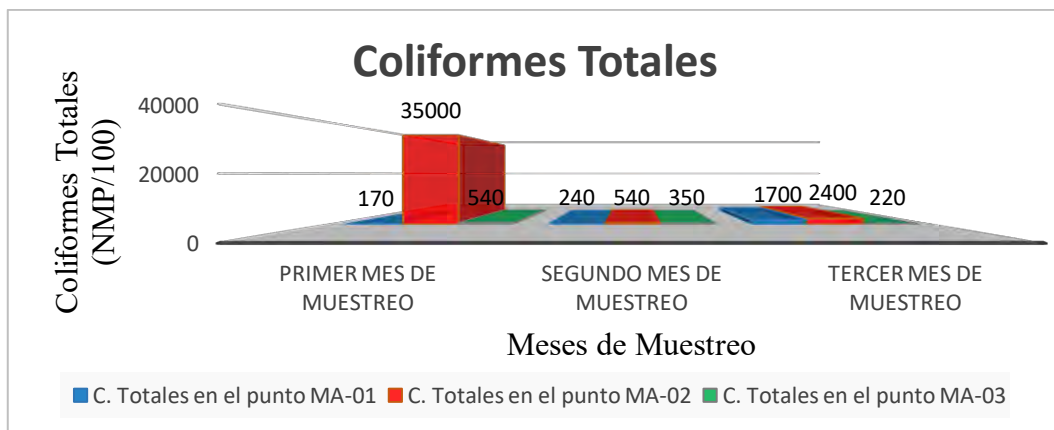


Figura 12. Resultados de coliformes totales. Fuente: Elaboración Propia.

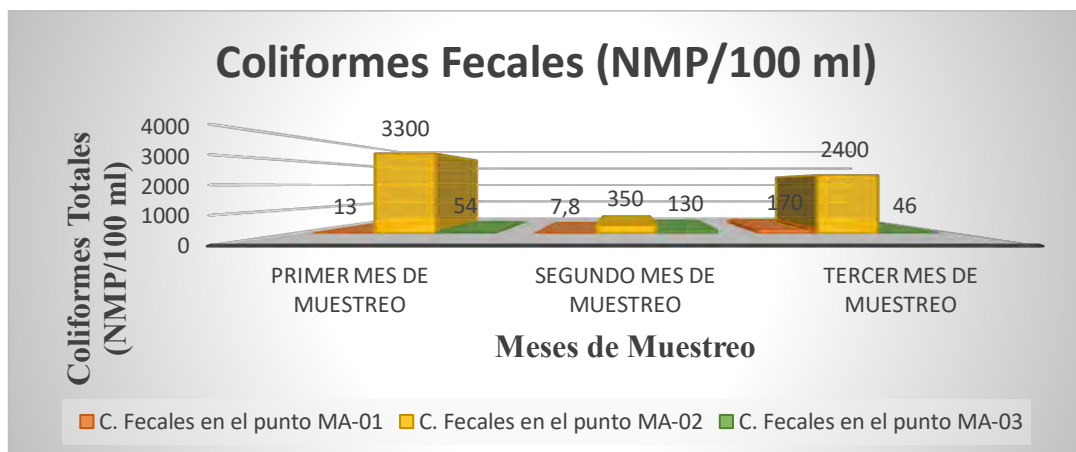


Figura 13. Resultados de coliformes fecales. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra cómo están relacionado los coliformes totales, con respecto a los coliformes fecales, se puede observar que a medida que los coliformes totales incrementan los coliformes fecales tienden a aumentar.

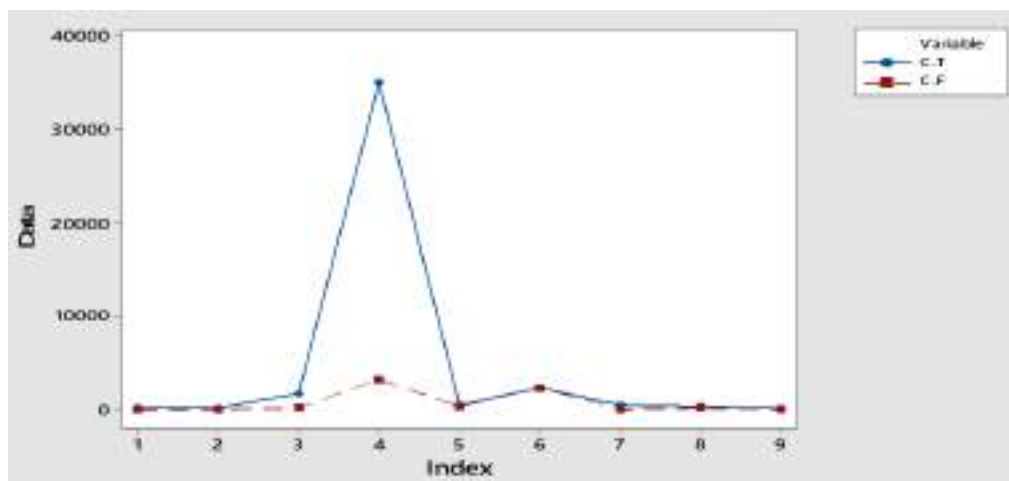


Figura 14. Comportamiento de coliformes totales y fecales durante el muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Resultados de los parámetros del muestreo en la quebrada San Antonio

Parámetros	Número de muestreos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura	17	18	19	25	25	21	25	26	22
pH	7.79	6.87	7.66	7.80	7.68	7.63	8.82	8.39	8.35
Conductividad eléctrica	122	115,5	110.9	118.6	122.5	129.8	319	351	362
Coliformes totales	170	240	1 700	35 000	540	2 400	540	350	220
Coliformes fecales	13	7.8	170	3300	350	2400	54	130	46
Aceites y grasas	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Estadísticos de los parámetros monitoreados en la quebrada San Antonio

Parámetros	Número de muestreos (N)	Media ( $\bar{X}$ )	Desviación estándar (S)	varianza	Coeficiente de variación	Max.	Min.
Temperatura	9	22	3.43	11.75	15.58	26	17
Conductividad eléctrica	9	194.6	112.7	12 708.2	57.93	362	110.9
Coliformes totales	9	4 573	11 436	130 782	250.06	3 5000	170
Coliformes fecales	9	719	1233	400	171.56	3 300	8
Aceites y grasas	9	0.5	0	0	0	0.5	0.5

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6. Comparación con el ECA para agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales y categoría 1: poblacional y recreacional, subcategoría A.

En las Tablas 24 y 25 se hace la comparación de los resultados promedio del monitoreo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua.

Tabla 24

*Promedio de los parámetros monitoreados y comparación con la categoría 3 del ECA para agua*

Parámetros	Resultados	Categoría 3: subcategoría D1 riego de vegetales	Categoría 3: subcategoría D2 bebida de animales
pH	7.89 UP	6.5-8.5	6.5-8.4
Temperatura	22°C	Δ3	Δ3
A y G	<0.5 mg/l	5 mg/l	10 mg/l
Conductividad	194.6 μmho/cm	2 500 μS/cm	5 000 μS/cm
C. Totales	4 573 NMP/100 ml	No aplica	No aplica
C. Fecales	719 NMP/100 ml	1 000, 2 000 NMP/100 ml	1 000 NMP/100 ml

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 25

*Promedio de los parámetros monitoreados y comparación con la categoría 1 del ECA para agua*

Parámetros	Resultados	Categoría 1: subcategoría A1	Categoría 1: subcategoría A2
pH	7.89 UP	6.5	8.5
Temperatura	22°C	Δ3	Δ3
A y G	<0.5 mg/l	0.5 mg/l	1.7 mg/l
Conductividad	194.6 μmho/cm	1 500 μS/cm	1 600 μS/cm
C. Totales	4 573 NMP/100 ml	50 NMP/100 ml	No aplica
C. Fecales	719 NMP/100 ml	20 NMP/100 ml	2 000 NMP/100 ml

*Fuente:* Elaboración propia.

En la Figura 15 muestra que el pH está dentro del rango establecido por el ECA para agua, a excepción de la muestra número siete que sobrepasa el ECA.

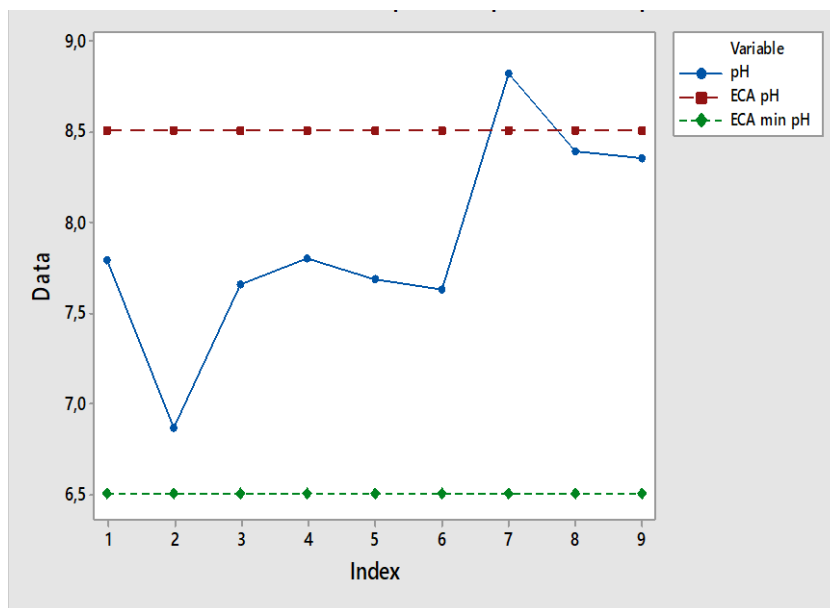


Figura 15. Comparación de pH con el ECA. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se muestra que los resultados para aceites y grasas en todos los muestreos cumplen con el ECA para agua, tanto para riego de vegetales, bebida de animales y para agua de consumo con tratamiento convencional y agua potabilizada con desinfección.

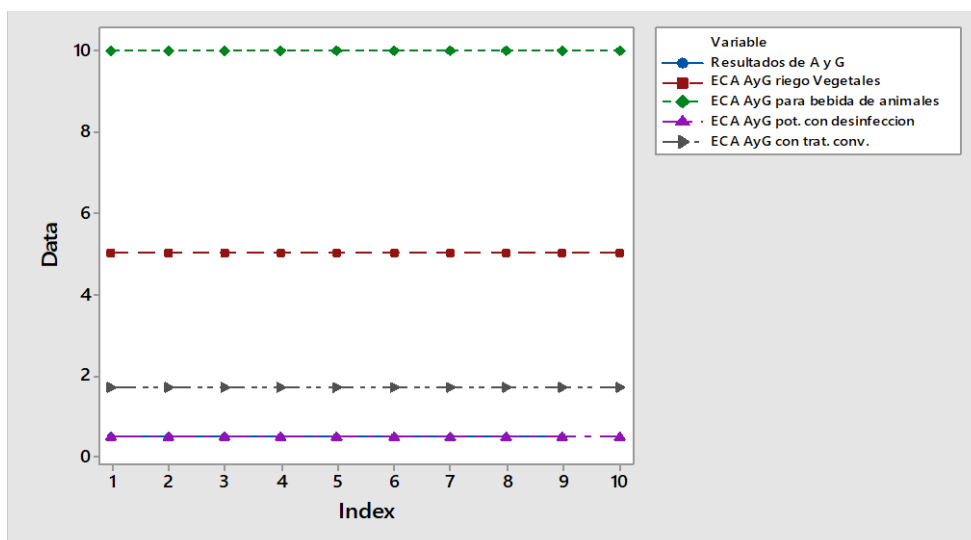


Figura 16. Comparación de aceites y grasas con el ECA. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra la conductividad que cumple con el ECA para las dos categorías: poblacional y riego de vegetales.

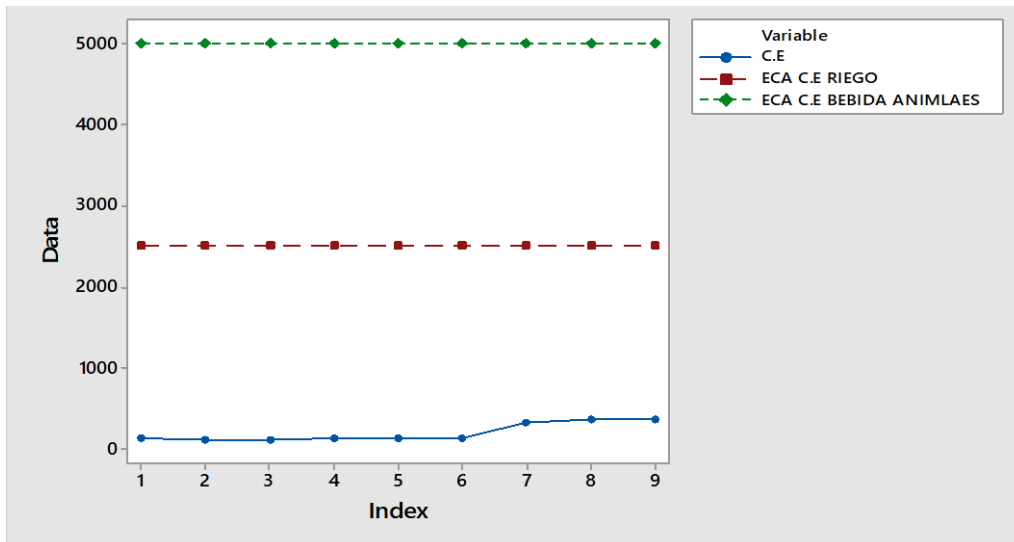


Figura 17. Comparación de conductividad eléctrica con el ECA. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra que los coliformes totales no cumplen con el ECA, ya que estos sobrepasan los límites establecidos para el consumo humano.

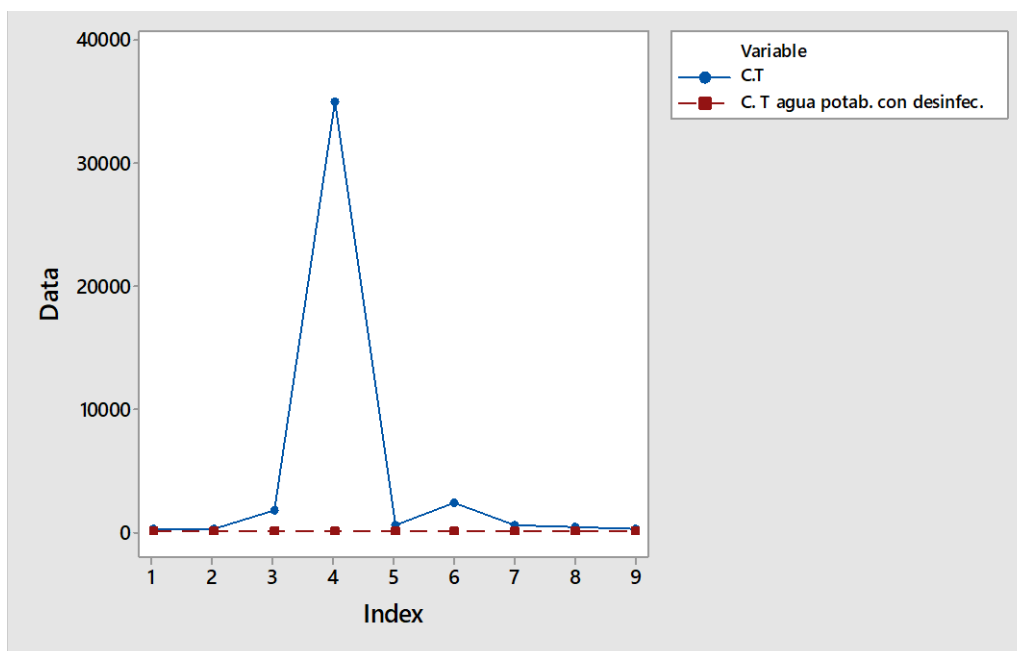


Figura 18. Comparación de coliformes totales con el ECA. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19 muestra que los coliformes fecales no cumplen con los límites establecidos por el ECA para agua, para ninguna de las dos categorías de consumo humano ni para riego de vegetales.

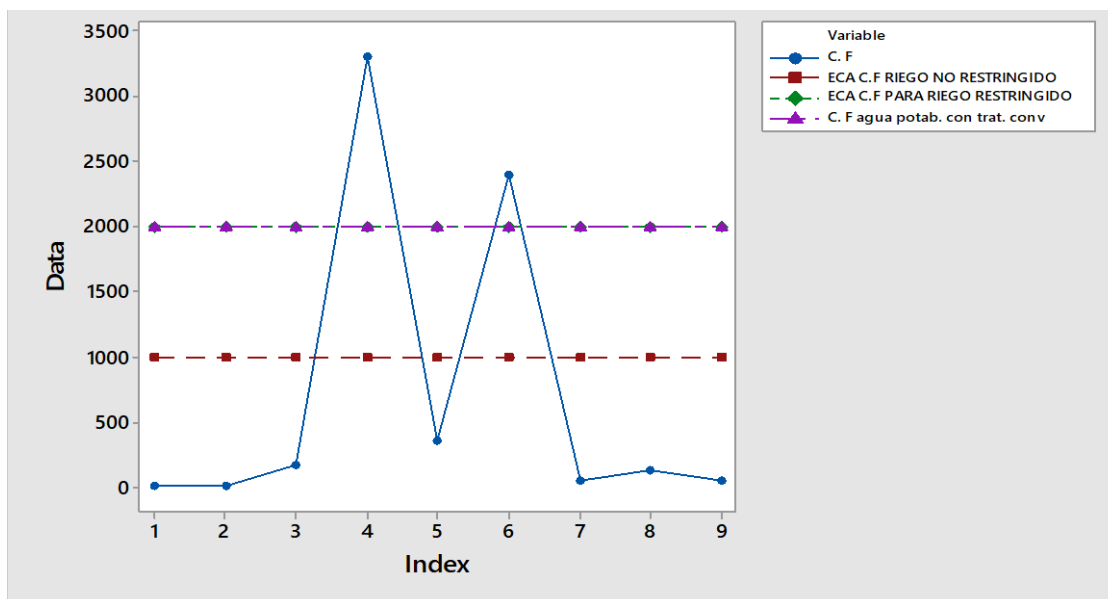


Figura 19. Comparación de coliformes fecales con el ECA. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Resultados de la medición del caudal

Velocidad registrada en m/s en cada punto de aforo durante los tres meses del estudio, donde se tomó cuatro repeticiones por cada punto de aforo como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Datos de la velocidad promedio y área se sección donde discurre el agua.

	Velocidad m/s				Promedio	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Primer mes</b>								
Aforo 1	0.3	0.5	0.7	0.5	<b>0.5</b>	0.50	0.10	0.05
Aforo 2	0.6	0.7	0.5	0.4	<b>0.55</b>	0.50	0.12	0.06
Aforo 3	0.6	0.8	0.6	0.3	<b>0.58</b>	0.54	0.15	0.081
						<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>
<b>Segundo mes</b>								
Aforo 1	0.4	0.3	0.5	0.4	<b>0.4</b>	0.50	0.12	0.06
Aforo 2	0.6	0.7	0.5	0.5	<b>0.58</b>	0.50	0.10	0.05
Aforo 3	0.7	0.9	0.8	0.4	<b>0.7</b>	0.54	0.15	0.081
						<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>
<b>Tercer mes</b>								
Aforo 1	0.6	0.4	0.4	0.7	<b>0.53</b>	0.50	0.12	0.06
Aforo 2	0.5	0.7	0.8	0.6	<b>0.65</b>	0.50	0.10	0.05
Aforo 3	0.8	1.0	0.7	0.4	<b>0.73</b>	0.54	0.15	0.081

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 27 se presenta los caudales promedios en los tres meses de monitoreo.

Tabla 27

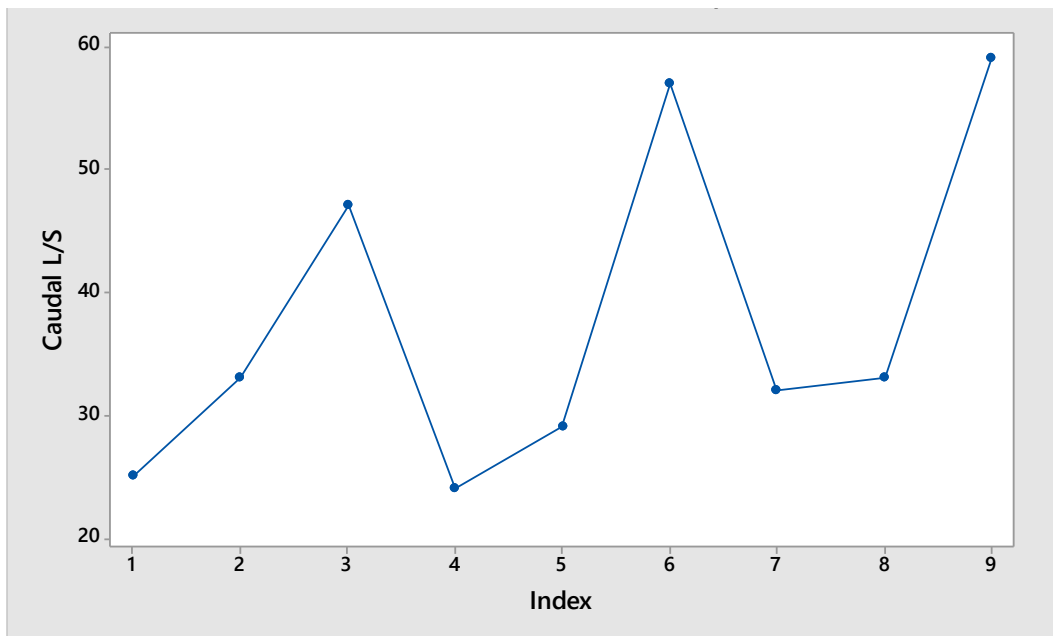
*Caudal promedio en los tres meses de aforo.*

Mes	Velocidad promedio (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal (l/s)
1	0.5	0.05	0.025	1.5	25
	0.55	0.06	0.033	1.98	33
	0.58	0.081	0.047	2.82	47
2	0.4	0.06	0.024	1.44	24
	0.58	0.05	0.029	1.74	29
	0.7	0.081	0.057	3.40	57
3	0.53	0.06	0.032	1.91	32
	0.65	0.05	0.033	1.98	33
	0.73	0.081	0.059	3.55	59

*Fuente:* Elaboración propia

La falta de datos históricos no permite evaluar el impacto de las actividades humanas en el caudal del agua producida por la quebrada.

La figura 20 muestra el comportamiento del caudal en cada punto de aforo que se realizó en la quebrada San Antonio.



*Figura 20.* Caudal durante los meses de aforo en la quebrada San Antonio. *Fuente:* Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

### 4.1. Discusión sobre los parámetros físico-químico y microbiológicos

La Autoridad Nacional del Agua (2015), menciona que la falta de información y estudios de evaluación sobre los recursos hídricos es un problema en la mayoría de cuencas del país. La quebrada San Antonio tiene la misma problemática y no cuenta con estudios previos sobre la calidad del agua lo cual dificulta la planificación y gestión integrada de recursos de manera sostenible.

En el estudio realizado en la ciudad de Cádiz España, sobre la evaluación de la calidad de agua de la cuenca del río Yucuambi, donde se analizó parámetros OD, nitratos, fosfatos, DBO, temperatura y pH otorgaron una excelente calidad a excepción de los coliformes totales, de igual manera la calidad físico-química de agua de la quebrada San Antonio del distrito San Miguel de El Faique están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, a excepción del pH que sobrepasó el ECA en el primer mes de muestreo en el tercer punto con 8.85, el parámetro de aceites y grasas se mantuvo en una escala menor a 0.5 mg/l, con respecto a la temperatura los dos primeros meses hubo una variación entre 3 a 5 °C lo que se puede afirmar que esto no genera ningún cambio el ecosistema, con respecto a la conductividad está dentro del rango establecido siendo su valor máximo de 362  $\mu\text{mhos/cm}$  en el tercer mes en el punto MA-03. En la etapa de muestreo se pudo observar que los pobladores utilizan dicho recurso de manera directa para beber y preparar sus alimentos, por este motivo se vio la necesidad de comparar con la categoría 1: Poblacional y Recreacional, para la sub categoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección y para la subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, como respecto a los resultados de los parámetros físico-químicos el pH es el único que no cumple con el ECA para la subcategoría A1.



Sabio (2000) en un estudio realizado en el puente Ocotol y La Quebradita pertenecientes a la microcuenca el Capiro en Güinope, Honduras, referente a la temperatura en época seca la quebrada registró 19.2 y 18.4 en época de lluvia. Se encontró altos índices de contaminación con coliformes fecales se deben a la descarga de agua negras a la quebrada conforme atraviesa la comunidad y tuvieron como resultado 13.42 UFC/100 ml y 15.16 UFC/100 ml en época lluviosa para coliformes totales y para coliformes fecales 9.6 UFC/100 ml en época seca y 12.7 UFC/100 ml en época de lluvia, en contraste al estudio de la quebrada de San Antonio, la temperatura mínima registrada fue de 17 °C debido a que el monitoreo fue en la parte más alta de la cuenca, la hora que se tomó la muestra y la cobertura boscosa influyeron en el resultado y la temperatura máxima fue de 26 °C esta variación debido a que en la cuenca baja hay poca cobertura boscosa en la rivera de la cuenca. Para la categoría 1, subcategoría A1 los coliformes totales tuvo un valor de 4 573 NMP/100 ml cuyo valor están por encima del ECA y además los coliformes fecales sobrepasan los ECA con valores de 10 veces más de lo que establece la normativa vigente. Según los valores obtenidos en cuanto a coliformes fecales y totales indican que las aguas de esta quebrada no deben utilizarse para consumo humano, ni para uso doméstico por que puede causar daños en la salud (enfermedades gastrointestinales, problemas de dermatitis, entre otras) (Pavón y Rocha, 2015).

Subdirección de Gestión Ambiental de Colombia [SGA] (2015), menciona que mediante procesos naturales el agua puede purificarse hasta cierto punto, el complicado proceso de auto purificación es consecuencia de una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. El proceso es el mismo en todas las extensiones de agua, pero su intensidad queda regulada por las diferentes condiciones del medio. En la quebrada san Antonio existe una variación en los coliformes totales y fecales esto debido a que el ecosistema tiene la capacidad de autorregulación de los contaminantes, además los resultados en el segundo punto los coliformes están elevados debido a que la muestras fueron tomadas aguas debajo de la vivienda de un morador que su pozo séptico está en la rivera de la quebrada, además en la parte baja el contenido de coliformes totales y fecales es menor, porque hay afluentes que drenan el agua de la quebrada y contribuyen a diluir las concentraciones.

#### 4.2. Discusión sobre el caudal en la quebrada de San Miguel de El Faique

Viramontes *et al.* (2007) señalan que la forma de la microcuenca se considera una característica cuyo concepto es complejo, con muchos atributos específicos lo que hace difícil caracterizar de manera real este parámetro mediante un simple resultado numérico. Además SAYFOR (2006), citado por, Pavón y Rocha (2015, p. 16), señalan que la forma de la subcuenca juegue un papel muy importante ya que esta característica tiene que ver con la capacidad de administrar el volumen de agua que circula por ella, del mismo modo la quebrada San Antonio, distrito San Miguel de El Faique tiene una cuenca con una gran red de drenaje y una pendiente que hace que discurra con mayor frecuencia el agua.

Sabio (2000) en el estudio sobre la evaluación de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca el Capiro, Honduras, la cantidad de agua promedio producida por la microcuenca fue de 84 422 galones/mes (gal/mes) y en época de precipitación 127 972.5 gal/mes. En este estudio observó una cantidad inestable asociado a la totalidad de agua que entra en el período perdiéndose una importante cantidad de agua por escorrentía superficial, en contraste al estudio que se realizó en el distrito San Miguel de El Faique de acuerdo a los puntos donde se midió el caudal, en el tercer mes de aforo de la quebrada es la que presenta mayor caudal con valor máximo de 0.059 m<sup>3</sup>/s; en el segundo mes el caudal oscilaba entre 0.024 m<sup>3</sup>/s y 0.057 m<sup>3</sup>/s debido a que en estos meses los pobladores desvían el agua de la quebrada para actividades agropecuarias, además existen efluentes que alimentan a la quebrada (pequeños arroyos) y el agua que se infiltra proveniente de la irrigación de cultivos.

Breña y Jacobo (2006) mencionan que existe un gran número de cuencas no se tiene información o bien por modificaciones del drenaje de la cuenca asociadas con la deforestación, la urbanización, el cambio del uso del suelo o por otras causas, provoca que los datos recabados antes de los cambios no sean útiles. De este modo la quebrada San Miguel de El Faique no cuenta con un registro de mediciones de caudal para realizar una comparación exacta.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se llega a la conclusión que el agua de la quebrada San Antonio del distrito de San Miguel de El Faique presenta características físico-químicas buenas para riego agrícola y no tuvo restricción para los cultivos y bebida de animales. Además, cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental para agua y por lo que se deben tomar medidas para que en el futuro se conserve con la misma calidad.
2. La calidad microbiológica del agua para la quebrada San Antonio del distrito de San Miguel de El Faique contiene una elevada concentración de coliformes totales y fecales, a pesar que el agua es apta para riego de vegetales y bebida de animales, sin embargo, no puede ser ingerida directamente por la población ya que sobrepasa el límite establecido en el ECA para esta categoría. Existe la probabilidad que si estos parámetros no se controlan puedan originar diversas enfermedades infectocontagiosas y esto debido a las malas prácticas de ganadería realizadas por los agricultores en la cabecera de cuenca.
3. El caudal registrado en la quebrada San Antonio no es suficiente para cubrir 757.9 hectáreas bajo riego, de los cuales trece canales que abastecen esta área agrícola no son suficientes.
4. En la comparación de los parámetros físico-químicos no se encontraron ninguna restricción ya que estos están dentro de los parámetros establecidos por el ECA para agua. Con respecto a los parámetros microbiológicos para la categoría 1: Poblacional y Recreacional, subcategoría A1: aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, sobrepasan los estándares de calidad ambiental para agua cuyo valores son diez veces mayor a lo establecido en la normativa, es por ello que no se puede consumir de manera directa.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda formular un plan de manejo de cuenca para la conservación de los recursos hídricos involucrando factores sociales, económicos y ambientales para que las características físico-químicas persistan con el tiempo de manera sostenible, además, la municipalidad deben destinar un presupuesto para realizar monitoreos y tener un registro sobre la calidad de la quebrada.
2. Se recomienda no utilizar el agua de forma directa ya que tiene una elevada concentración microbiológica debido al estiércol de ganado que está en contacto con el agua, también se debe capacitar a las autoridades de cada caserío sobre el manejo y control del ganado que está a la deriva en la parte alta de la quebrada, regularizar el pastoreo del ganado debido a estas actividades se alteran los parámetros microbiológicos, además no dejan que se produzca la regeneración natural de la vegetación nativa en la rivera de la quebrada.
3. Para aprovechar al máximo la cantidad de agua en épocas de estiaje se recomienda hacer estanques para almacenar el agua en épocas de avenida e implementar sistemas de riego tecnificado a nivel de parcela que permitan mejorar la distribución de agua y que ayuden a prevenir la erosión del suelo, además reforestar las fuentes de agua mediante la siembra de especies endémicas, porque estas especies no consumen grandes cantidades de agua durante su crecimiento y previenen la erosión del suelo. Se recomienda realizar técnicas que permitan incrementar la fertilidad y humedad del suelo y hacer el riego por aspersión durante la noche y aumentar los tiempos de riego y disminuir su frecuencia.
4. Hacer que todo público pueda acceder a la información de esta investigación; asimismo que sirva como un instrumento de manejo, protección y para la conservación de la vertiente de dicha quebrada referencia para futuras investigaciones y permita tomar decisiones en proyectos ambientales que deseen realizarse a favor de la quebrada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección del Medio Ambiente. (2018). *Términos de calidad de agua*. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov>
- Aguirre, N., Alvarado, J., Ruiz, L. y Granda, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- American Public Health Association. (2012). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 22 ed. Washington D.C: Díaz de Santos S.A.
- American Public Health Association. (2017). *Métodos de análisis físico, químicos de agua potable*. Recuperado de <https://www.apha.org/>
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio de 2017, pp. 10-19.
- Aragüés, L. R. (2011). *Agricultura de regadío y calidad de aguas a nivel fuente y sumidero*. Centro de investigación y tecnología agroalimentaria. Zaragoza, España.
- Arellano, D.J. (2011). *Introducción a la ingeniería Ambiental*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books/about/Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_ingnier%C3%ADa\\_ambiental.html?id=Jdh2ZUSR9JQC](https://books.google.com.pe/books/about/Introducci%C3%B3n_a_la_ingnier%C3%ADa_ambiental.html?id=Jdh2ZUSR9JQC)
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/repositorio>
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Segundo monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en la cuenca Piura-2017*. Recuperado de [repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/2890?show=full](https://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/2890?show=full)
- Autoridad nacional del Agua. (2016). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Recuperado de <http://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos>
- Baca, R. E. (2013). *Diseño de partidores de obras hidráulicas*. Recuperado de <https://es.sli-deshare.net/mariaelisadelgadoquevedo/211274752-disenodepartidoresobrashidraulicas-1>
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(3), diciembre, 2006, pp. 95-110 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

- Ball, R. and Church, R. (1980). Water quality indexing and scoring, *Journal of the Environmental Engineering. Division, American Society of Civil Engineers*, vol. 106, pp. 757-771.
- Bolaños, A. J., Cordero, C. G. y Segura, A. G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Bustamante, P. y Ochoa, P. (2014). *Guía práctica para la valoración de servicios ecosistémicos en Madre de Dios*. Recuperado de <http://www.wwf.org.pe/?229550/guiapracticaparalavaloraciondeserviciosecosistemicosenmadrededios>
- Breña, P. A. y Jacobo, V. M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. México. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cáceres, L. V., Gruttner, D. E. y Contreras, N. R. (1992). Water Recycling in Arid Regions-Chilean case. *Ambio. Springer*. 21(2) pp. 138-144. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/4313907>
- CARE Internacional y Fundación Avina. (2012). *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, Ecuador*. Recuperado de [http://www.avina.net/avina/wp\\_](http://www.avina.net/avina/wp_)
- Carrera, D. V., Guevara, P. V., Tamayo, L.C. y Guallichico D. E. (2011). *Análisis multivariado de las aguas de la subcuenca del Río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola*. (Tesis de grado). Universidad de Las Fuerzas Armadas-ESPE, Quito, Ecuador.
- Casas, G. D. (2012). *Evaluación de la calidad del agua en el lago del parque alameda oriente* (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Casas, J. J., López, L. M., Salinas, B. M., Gisbert, G. J., Giménez, L. E., García, B. F., Sánchez, G. S., Lacalle, M. A., Cortes, M. A. y Moyano, L. F. J. (2017). *Guía para la realización de un estudio ambiental. El caso de la cuenca del río Adra*. España: Universidad de Almería (Edual).
- Colonia, E. A. (2015). *Calidad del agua para riego en la microcuenca de la quebrada Ampu - centro poblado de Maya-Carhuaz 2015*. (Tesis de grado) Perú. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Congreso Constituyente Democrático. (1993). Constitución Política del Perú. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú. 29 de diciembre de 1993. p. 33.
- Cuaspu, E. P. y Paredes, K. V. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua de la quebrada de Yaznán, Río Blanco, Río Puluvi y Río Guachalá del cantón Cayambe*. (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Chamba, K. L. y Guallasamin, S. V. (2015). *Estudio de la disponibilidad y calidad del agua de consumo humano a través de monitoreo de caudales y análisis de los parámetros*

*físico, químico y microbiológicos en la zona Pesillo-Imbabura.* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Chong, R. A. (2010). *Evaluación de la calidad del agua subterránea en el centro poblado menor la libertad, distrito de san Rafael, provincia de Bellavista, región San Martín – Perú.* (Tesis de maestría). Universidad nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

Delgado, W. G. (2015). *Gestión y valor económico del recurso hídrico. Finanzas y Política Económica.* Recuperado de [https://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatolica/revistas\\_ucatolica/index.php/RFYPE/index](https://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatolica/revistas_ucatolica/index.php/RFYPE/index).

Dinius, S. H. (1987). *Design of a Index of Water Quality.* Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>

Dussaubat, S. y Vargas, X. (2005). *Aforo en un Cauce Natural.* (Tesis de grado). Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/>

Ecofluidos Ingenieros. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco.* Recuperado de: <http://www.ecofing.com/>.

Elías, X. (2012). *Reciclaje de residuos Industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora.* Madrid: Díaz de santos S.A.

Encalada, R. G. L. (2006). *Pago por servicios ambientales (PSA) del recurso hídrico como una alternativa de conservación.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/234/4/TFLACSO-01-2006GLER.pdf>

Escuela de Organización Industrial [EOI]. (2015). *Instrumentos de Medida y Redes.* Recuperado de <https://eoi.es/>

Espíritu, C. G. (2010). *Evaluación de la calidad del río Rímac mediante el análisis multivariado.* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Estudios y Proyectos Ambientales y Mecánicos. (2011). *Proyecto de Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas.* Recuperado de <http://epamsa.com/index.php/calidad/>

Fajardo, N. E. (2018). *Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, región Callao, Perú.* Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/7738>

Fernández, C. A. y Volpedo, A. V. (2016). *Calidad de agua para la producción agropecuaria.* Buenos Aires, Argentina.

Fernández, P. D. G., Molina, J. M. Pagán, F. J. y Ruiz, C. A. (2011). *Sistemas inalámbricos de largo alcance con protocolo de comunicaciones Zigbee como solución al control de riego.* Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de [https://www.ujaen.es/servicios/biblio/sites/servicio\\_biblio](https://www.ujaen.es/servicios/biblio/sites/servicio_biblio)

- Fernández, D. S. e Hidalgo, M. (2012). *Desarrollo de un índice de calidad de aguas para la cuenca del río Colorado, provincia de Tucumán*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Recuperado de <https://github.com/sedici/Dspace-UNT>.
- Fernández, N. y Solano, F. (2008). *Índices de Calidad y Contaminación del Agua*. Pamplona: Universidad de Pamplona,
- Florián, T. K. (2016). *Análisis físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua superficial de la cuenca hidrográfica Amojú - Jaén 2016*. Perú. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Foro Peruano para el Agua. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recursos Hídricos*. (1a ed.) Lima: IBERGRAF.
- García, O. A. (2012). *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego*. Recuperado de <http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf>
- García, G. I. y Causapé, V. J. (2012). *Evaluación de la gestión de los recursos hídricos en una cuenca experimental de regadío tradicional*. Universidad de Zaragoza. Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado de [https://www.ujaen.es/servicios/biblio/sites/servicio\\_biblio/files/uploads/Revistas%20pdf/Riegos%20y%20drenajes/N%20182.pdf](https://www.ujaen.es/servicios/biblio/sites/servicio_biblio/files/uploads/Revistas%20pdf/Riegos%20y%20drenajes/N%20182.pdf)
- Gonzales, M. V., Caicedo, Q. O. y Aguirre, R. N. (2013). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayura, Antioquia, Colombia* (Tesis de grado). Universidad de Antioquia, Colombia.
- Glynn, J. H. y Gary, W. H. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Pearson Educación
- Heredia, O. S. (2001). *El agua de riego: criterios de interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción. En agua subterránea: explotación y su utilización agropecuaria*. EFA, FAUBA: 75-99.
- Horton, R. K. (1965). *Index number system for rating water quality, Water Pollut*. Recuperado de <https://www.scirp.org/>.
- Ibáñez, G. M. (2012). *Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la sub cuenca del río San Pablo en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Colombia: Ed. Precolombi. Recuperado de [www.inve-mar.org.co](http://www.inve-mar.org.co)
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). *Estadísticas sobre asistencia humanitaria 2016*. Recuperado de <https://www.indeci.gob.pe/listado.php?itemC=NDY=&item=MzM5>



- Instituto Nacional del Agua. (2013). *Evaluación de calidad de agua del embalse San Roque en relación a su uso recreativo*. Recuperado de <https://www.inia.gov.ar/index.php?seccion=14>.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2013). Censo nacional de hogares 2007. [Archivo de datos]. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. México. Gabriela Castillo Morales. Recuperado de [www.minsa.com](http://www.minsa.com)
- Larrea, A. J., Rojas, B. M. M., Romeu, A. B., Rojas, H. N. M. y Heydrich, P. M. (2012). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. Universidad de La Habana. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), pp. 24-34. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/257957794>
- Lenntech (2019). *Tratamiento y purificación del agua*. Recuperado de <https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>.
- León, J. L. (2013). *Sistemas de protección de fuentes de agua y su relación con la cantidad y calidad en zonas rurales del cantón Cayambe 2012*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Ley General de Salud N° 26842. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de julio del 1997. p. 26.
- Ley Orgánica de Municipalidades N° 27972. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 27 de mayo del 2003. pp. 4-5.
- Ley Orgánica de Gobiernos regionales N° 27867. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 08 de noviembre del 2002. p. 5.
- Ley de Recursos Hídricos N° 29338. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo del 2009. pp. 7-8-43
- Ley General del ambiente N° 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 03 de octubre de 2005. pp. 32-36-39.
- Londoño, C. A., Giraldo, G. I. y Gutiérrez, A. A. (2010). *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*. Manizales, Colombia: Editorial Blane-color Ltda.
- Marchand, E. O. (2002). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en lima metropolitana*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Marín, G. R. (2003). *Subprograma de monitoreo de calidad del agua de las fuentes de agua potable de la ciudad de Ushuaia*. Argentina: Díaz De Santos.

- Masters, P. M. y Ela, W. P. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*. Madrid, España: Pearson educación, S. A.
- Mencías, D. K. (2015). *Determinación de la infiltración en el suelo, estudio de la calidad del agua para riego y manejo ambiental del sistema de riego el Pisque – Pichincha* (Tesis de grado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Menéndez, A. N. (2010). *Transporte de contaminantes en el medio acuático*. (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de [http://www.redmodelacion.com.ar/~modelacion/images/pdf/docencia/utn/Apunte\\_ContamAguas.pdf](http://www.redmodelacion.com.ar/~modelacion/images/pdf/docencia/utn/Apunte_ContamAguas.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1998). *El Libro Blanco del Agua en España*. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/libro\\_blanco.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/libro_blanco.aspx)
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N°29338 D.S. N° 001-2010-AG*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. pp. 35-40.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Guía de capacitación y entrenamiento*. Recuperado de: <http://www.minagri.gob.pe/portal/>
- Miranda, L. D., Carranza, C. y Fischer, G. (2008). *Calidad del agua de riego en la Sabana de Bogotá*. Bogotá: Gente Nueva Editorial.
- Ntengwe, F. W. (2006). *Cargas contaminantes y calidad del agua en arroyos de poblados densamente poblados e industrializados*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706506001549?via%3Dihub>
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. (1997). *Inventario y evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa-cuenca del río Ica*: Lima: ANA. Recuperado de: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/984>
- O’Koeffe, J. y Quesne, L. T. (2009). *Cómo conservar los ríos vivos Guía sobre los caudales ecológicos*. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/11/conser-varriosvivoswwf.pdf>
- Ordoñez, G. J. J. (2011). *¿Qué es cuenca hidrológica?* Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varrios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varrios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publication\\_9789241562638/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/es/)
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: Biblioteca de la OMS. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/)

- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Water Quality and Health Strategy 2013-2020*. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*. Ginebra: OMS. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/)
- Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas Para la Infancia. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. Ginebra: OMS y UNICEF. Recuperado de <http://apps.who.int/iris>.
- Organización de las Naciones Unidas. (2003) Francia: *Agua para todos, Agua para la vida -Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. París: ONU.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Italia: *Informe de las naciones unidas sobre los recursos hídricos en el mundo*. Perusa: ONU.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1985). *Interpretación de un análisis de agua para riego*. Roma: FAO Recuperado de <http://www.fao.org/statistics/databases/es/>
- Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). *Gestión integral y adaptativa de recursos ambientales para minimizar vulnerabilidades al cambio climático en microcuencas alto andinas*. Washington, EE. UU: OPS. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health](https://www.who.int/water_sanitation_health)
- Ott, W. 1978. *Enviromental Índices. Theory and practice*. Michigan: AA Sciencie, Ann Arbor.
- Pavón, E. A. y Rocha P. J. (2015). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, en el año hidrológico 2010-2011*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Perdomo, C. H., Casanova, O. N. y Ciganda, V. S. (2001). *Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste Uruguay*. (Tesis de grado). Universidad de la República de Uruguay Recuperado de <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=302>
- Pérez, J. K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales como, durante el periodo 2014-2015*. (Tesis de grado). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.

- Poonam, R.; Tanushree, B. y Sukalyan, C. (2013). *Water quality indices important tools for water quality assessment: a review*, *International Journal of Advances in Chemistry*, 1(1): 15–28, ISSN: 2310-2977.
- Quintero, M. y Pareja, P. (2015). *Estado de avance y cuellos de botella de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hidrológicos en Perú*. Recuperado de [http://condesan.org/mtnforum/sites/default/files/publication/files/cuellos\\_botella\\_2015\\_digital.pdf](http://condesan.org/mtnforum/sites/default/files/publication/files/cuellos_botella_2015_digital.pdf)
- Reascos CH.B y Yar, S.B. (2010). *Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas*. (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte. Recuperado de repositorio.utn.edu.ec/bitstream/.../221/1/03%20REC%20123%20CONTENIDO.pdf
- Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 26 de septiembre del 2010, pp 44.
- Reglamento de la Ley N°29338-Ley de Recursos Hídricos. D.S. N° 001-2010-AG. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo del 2010, pp. 35-40.
- Rojas, S.A.M. (2014). *Revisión documental para la contribución a los mecanismos de pagos por servicios ambientales hídricos en Colombia, para la conservación de la calidad y la cantidad del agua de consumo*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13511/RojasSanchezAngelaMaria2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, J. C. y Suárez, CH. A. (2014). *Factores socioculturales que influyen en el medio ambiente del distrito de la caleta de Carquín 2013*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima- Perú.
- Ruiz, R. E. (2017). *Medición de caudales*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/Aron9/curso-hidrologa-medicin-de-caudales>
- Sabio, I. J. (2000). *Evaluación de la calidad y la cantidad de agua de la microcuenca El Capiro en Güinope, Honduras*. (Tesis de grado). Universidad Zamorano. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62734320>.
- Sachs, D.J. (2011). *Economía para un planeta abarrotado*. España: Penguin Random House.
- Samboni, N. E., Carbajal, E. Y., y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación de la Universidad Nacional de Colombia*. 27(3), pp. 172-181. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>.
- Sánchez, O. Herzig, M. Peters, E. Marquez, R. y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: United States Fish & Wildlife service

- Secretaría del Comercio y Fomento Industrial. [SECOFI]. (2000). *Análisis de agua - determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. México: Limusa. Recuperado de <http://inesa.com.mx/NORMAS/NORMAS%20AGUA/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf>.
- Sierra, R. C. (2011). *Calidad de agua evaluación y Diagnostico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Suarez, D. J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Bucaramanga, Colombia*. Recuperado de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf>
- Subdirección Red Nacional de Laboratorio [SNL]. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia.
- Subdirección de Gestión Ambiental de Colombia. (2015). *Gestión de la calidad*. Recuperado de <https://reforestacioncalidosa.wordpress.com/gestion-de-la-calidad/>
- Téllez, F. A T. (2016). *Química ambiental*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Terleira, G. E. (2010). *Evaluación de la contaminación fecal del agua superficial de la cuenca media del río Shilcayo ubicada entre la bocatomía y el asentamiento humano Villa Autónoma*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Tech Perú Industrial S.A.C. (2018). *Manual de equipos de monitoreo Ambiental*. Recuperado de <http://www.techperu.pe/>
- Torres, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. (Tesis de maestría). Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Torres, P., Cruz C. H. y Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías Universidad de Medellín*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Truque, P. A. (2012). *Armonización de los estándares de agua potable en las Américas*. Washington, EE.UU: Organización de los Estados Americanos
- Unidad Nacional de Empadronamiento del Distrito de San Miguel de El Faique. (2018). *Padrón General de Hogares*. Recuperado de <https://goo.gl/ktw3rd>.
- Universidad Cooperativa de Colombia [UCC]. (2007). *Software para calcular el índice de calidad de agua*. Bogotá: Ingeniería solidaria. Recuperado de <http://repository.ucc.edu.co/>

- Universidad de El Salvador [UES]. (2014). Temperatura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. Recuperado de <http://biblioteca.ues.edu.sv/portal/index.php/inicio/1-paginas/53-repositorio-institucional.html>
- Urbano, T.P. (2010). *Tratado de fitotecnia general*. México: Mundi-Prensa.
- Uribe, B. E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf;jsessionid=96B3070D29DA76F142F9F90D62F20E89?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=96B3070D29DA76F142F9F90D62F20E89?sequence=1)
- Valcárcel, R. L., Alberro, M. N. y Frías, F. D. (2009). *El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos*. Recuperado de [https://www.academia.edu/7808300/Cub\\_at\\_Medio\\_Ambiente\\_y\\_Development\\_Review\\_electr%C3%B3nica\\_de\\_la\\_Agencia\\_de\\_Medio\\_Ambiente](https://www.academia.edu/7808300/Cub_at_Medio_Ambiente_y_Development_Review_electr%C3%B3nica_de_la_Agencia_de_Medio_Ambiente)
- Vergara, M. S. E. (2002). *Índices de calidad de agua y diversidad ictiológica como indicadores ambientales de ecogestión de la cuenca alta de río Mayo*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Villa, A. M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación*. (Tesis de postgrado). Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
- Viramontes, O. O., Escoboza, G. L. F., Pinedo, A.C., Pinedo., A. A, Reyes, G V. M., Román., C. A. J. y Pérez., M.A (2007). *Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua*. Baja California: tecnociencia Chihuahua. Recuperado de <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n3/data/5>.
- Yáñez, S. G. (2018). *Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del lago san pablo, provincia de Imbabura (año 2017)*. (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Zulimar, M. (2015). *Evaluación de la calidad y cantidad de agua y propuesta de manejo de la microcuenca Huarmiyacu, en la parroquia San Blas, cantón San Miguel de Urcuquí*. (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/46/simple-search?filterquery=CALIDAD+DEL+AGUA&filtername=subject&filtertype>equals>.
- Zumaeta, S. A. (2005). *Características de la oferta hídrica de la microcuenca Rumiyaqu-Mishquiyaqu para uso potable en la ciudad de Moyobamba 2004-2005*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de san Martín, Tarapoto, Perú.

## TERMINOLOGÍA

- **Aceites y grasas:** Son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo (Secretaría del Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 2000).
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m<sup>3</sup>/s (Ordoñez, 2011).
- **Conductividad:** Es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica (Lenntech, 2019)
- **Cuenca hidrográfica:** se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común (Franquet, 2005, citado por Terleira, 2010, p. 14).
- **Cuenca hidrológica:** se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2011).
- **Coliformes totales:** grupo de bacterias habitantes de la región intestinal de los mamíferos y aves (Sierra, 2011, citado por Cuaspud y paredes, 2017, p. 14).
- **ECA:** es la determinación que establece el grado de acumulación o el rango de elementos así como parámetros físicos, químicos y biológicos y otras sustancias, existentes en el aire, agua o suelo, en su naturaleza de cuerpo receptor, que no manifiesta una exposición significativa para la salubridad de los ciudadanos ni el entorno donde vivimos (Ley General del Ambiente N° 28611, 2005).
- **Índice de calidad ambiental (ICA):** es una cifra única que da a conocer las cualidades del líquido vital por medio de la incorporación de las evaluaciones de determinados parámetros de calidad y la utilización permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo (García, 2012, citado por Cuaspud y paredes, 2017, p. 8).

- **Límite Máximo Permisible (LMP):** es la medida de la cantidad o acumulación de elementos o sustancias, así como también de parámetros físicos, químicos y biológicos de un efluente o una emisión, que puede causar daños la salud, al bienestar humano y al ambiente al ser excedida (Ley General del Ambiente N° 28611, 2005).
- **pH:** Potencial de hidrógeno, coeficiente que indica el grado de acides o basicidad de una sustancia acuosa (Carrera y Guevara, 2015, citados por Yáñez, 2018, p. 6).
- **Servicios ecosistémicos:** son beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Bustamante y Ochoa, 2014, citados por Pérez, 2017, p. 19).
- **Temperatura:** Es una medida del movimiento de traslación medio de las moléculas de un sistema (Universidad de El salvador [UES], 2007).



## APÉNDICES

Apéndice 1. Mapa del distrito de San Miguel de El Faique



Apéndice 2. Fotografías

Materiales y equipos utilizados en la etapa del muestreo



Etiqueta para frasco de muestras.

Formulario de etiqueta para frasco de muestras de EQUAS S.A. El formulario incluye los siguientes campos:

- Logo de EQUAS.
- CLIENTE: \_\_\_\_\_
- CÓDIGO DE LABORATORIO (Bo. Siraan Laboratorio): \_\_\_\_\_
- ORIGEN DE TRABAJO: \_\_\_\_\_
- RESP. MUESTREO: \_\_\_\_\_
- CÓDIGO ESTACIÓN Ó PLANTO DE MUESTREO: \_\_\_\_\_
- DESCRIPCIÓN ESTACIÓN Ó PUNTO DE MUESTREO: \_\_\_\_\_
- PARAMETRO DE ANÁLISIS: \_\_\_\_\_
- TIPO DE MUESTREO: SIMPLE  COMUESTO
- PRESERVACIÓN: SI  NO
- REACTIVO USADO: \_\_\_\_\_
- FECHA: \_\_\_\_\_
- HORA: \_\_\_\_\_

En la parte inferior del formulario se encuentra la información de contacto de EQUAS S.A.:  
Información: (01) 348-4001 | Contacto: [atencionalcliente@equas.com.pe](mailto:atencionalcliente@equas.com.pe)

Conservante para aceites y grasas  $H_2SO_4$



Georreferenciación de punto de muestreo





Recolección y traslado de las muestras



Población que lava café en la quebrada



Correntómetro Global Water modelo FP11





## Medición del caudal



Apéndice 3. Formato de captura de datos de aforo, canales de riego de la quebrada San Antonio y metales monitoreados en la cuenca del río Piura.

Formato para captura de datos en campo para aforo de agua superficial

 	CAPTURA DE DATOS EN CAMPO PARA AFORO DE AGUA SUPERFICIAL
---	--

FECHA:				HORA:			
1. DATOS DEL PERSONAL DE CAMPO							
NOMBRE DEL PERSONAL						DNI	
GEORREFERENCIACION		LATITUD			LONGITUD	ALTITUD	
						m.s.n.m.	
DIRECCIÓN						TELEFONO	0
						CELULAR	
PROVINCIA					DISTRITO		
2. INFORMACIÓN SOBRE PUNTO DE AFORO							
TIPO DE FUENTE DE AGUA		PUNTO DE AFORO				MES	
		PUNTO DE AFORO Nº 1	PUNTO DE AFORO Nº 2	PUNTO DE AFORO Nº 3	ÁREA		
FUENTE SUPERFICIAL							
AGUA SUBTERRANEA							

OTRO					
------	--	--	--	--	--

**CANALES DE RIEGO DE LA QUEBRADA SAN ANTONIO, DISTRITO SAN MIGUEL DE EL FAIQUE**

NÚ-MERO	NOMBRE DEL CANAL	LOCALIDAD BENEFICIARIA	HECTÁREAS BAJO RIEGO
1	San Cristóbal	San Cristóbal	158.57
2	Real Huando Alto	Huando	118.22
	Los Chinguel Acequia		
3	Mocha	Huando	37.55
4	Real Faique-Huando	Faique-Huando	158.82
5	Salvador	Sánchez Cerro	8.15
6	La Quinta	Huando parte baja	73.83
7	Los Chinchay	Puente Piedra	55.04
8	El Higuierón	Villa Flor	53.25
9	San José-los Chávez	Villa Flor	26.05
10	Pasaje	Villa Flor	17.59
11	La Afiladera	La Afiladera	24.57
12	La Playa	La Afiladera	3.41
		La Afiladera-Loma Larga	
13	El Huabo	Alta	22.85

Fuente: Elaboración propia.

**Parámetros monitoreados por la Autoridad Nacional del Agua en la Cuenca del río Piura**

Parámetros	Unidad	Quebrada Mina	Rio Canchaque	Rio Huar-maca	Rio Bi-gote
Cianuro	mg CN/l	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006
DBO	mg/l	<2	<2	<2	<2
DQO	mg/l		6 <2		7 <2
Nitritos	NO3/l	0.436	0.725	0.498	0.016
Estaño	mg/l	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003
Sulfatos	mg/l	14.25	16.16	40.06	56.29
Plata total	mg/l	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003
Aluminio	mg/l	0.048	0.069	0.031	0.021
Arsénico	mg/l	0.04745	0.01120	0.00156	0.00245
Boro Total	mg/l	< 0.002	< 0.002	0.045	0.080
Bario Total	mg/l	0.0043	0.0106	0.0270	0.0252
Berilio Total	mg/l	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002	< 0.00002
Calcio Total	mg/l	7.45	15.03	45.40	55.92
Cadmio Total	mg/l	0.00012	0.00001	0.00001	0.00001
Cobalto Total	mg/l	0.00011	0.00019	< 0.00001	< 0.00001
Cromo Total	mg/l	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Cobre Total	mg/l	0.00141	0.00315	< 0.00003	0.00043	
Hierro Total	mg/l	0.0373	0.1285	0.0822	0.0841	
Mercurio Total	mg/l	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	< 0.00003	
Potasio Total	mg/l	1.06	1.47	1.21	1.25	
Litio Total	mg/l	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	
Magnesio Total	mg/l		1.234	6.843	11.15	26.46
Molibdeno Total	mg/l	0.00505	0.00263	0.00196	0.00471	
Sodio Total	mg/l		2.971	9.100	29.06	47.04
Plomo Total	mg/l	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	
Zinc Total		< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2018).