



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
“MANUEL FÉLIX LÓPEZ”**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:  
CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y USO  
DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ**

**AUTORAS:  
MARCILLO RIVAS INGRID LICETH  
PALACIOS COVEÑA YANIRA GHUSLAYNE**

**TUTOR:  
ING. FABRICIO ALCÍVAR INTRIAGO, M.Sc.**

**CALCETA, OCTUBRE 2021**

## DERECHOS DE AUTORÍA

**INGRID LICETH MARCILLO RIVAS** y **YANIRA GHUSLAYNE PALACIOS COVEÑA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



---

**INGRID L. MARCILLO RIVAS**



---

**YANIRA G. PALACIOS COVEÑA**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

**Ing. FABRICIO ALCÍVAR INTRIAGO, M.Sc**, certifico haber tutelado el proyecto **CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ**, que ha sido desarrollado por **INGRID LICETH MARCILLO RIVAS Y YANIRA GHUSLAYNE PALACIOS COVEÑA**, previo la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. FABRICIO ALCÍVAR INTRIAGO, M.Sc.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ**, que ha sido propuesto, desarrollado por **INGRID LICETH MARCILLO RIVAS Y YANIRA GHUSLAYNE PALACIOS COVEÑA**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. Laura G. Mendoza Cedeño., M.Sc.  
**MIEMBRO**

---

Ing. José M. Calderón Pincay., M.Sc.  
**MIEMBRO**

---

Ing. Francisco J. Velásquez Intriago., M.Sc.  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

Parecerán trilladas mis palabras, pero inicialmente quiero agradecer a Dios por todas las cosas que me ha dado.

A mi alma mater la ESPAM – MFL, que abrió sus puertas brindándome los conocimientos desde hace 5 años.

Como no agradecer a mis maestros, si ellos han dado todo de sí para convertirnos en mejores profesionales.

Agradezco infinitamente a mi tribunal y tutor de tesis por la paciencia y dedicación.

Gracias infinitas a todos por haber brindado luz y guía a nuestros caminos en esta hermosa carrera de Ingeniería ambiental, especialmente a mi entrañable amiga y compañera Yanira.

**Ingrid L. Marcillo Rivas**

## **AGRADECIMIENTO**

De manera primordial a Dios, porque me ha dado vida, salud y fortaleza para llegar hasta el final de mi carrera y cumplir una de tantas metas anheladas.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” por ser mi segundo hogar y brindarme una formación de calidad, en donde conocí verdaderos amigos y amigas que ahora forman parte de mi vida.

A la carrera de Ingeniería Ambiental y todo su personal por sus enseñanzas, en especial a mi Tutor, Ing. Fabricio Alcívar y mi tribunal, porque me guiaron e instruyeron en los conocimientos necesarios para formarme como profesional.

A la Sra. Martha Párraga, una persona que ocupa un lugar muy especial en mi vida, quien me acogió en su hogar durante el tiempo que duró mi carrera y se convirtió en mi segunda mamá, gracias a ella y toda su familia por el cariño brindado y el apoyo incondicional.

A la familia Sabando Vera y Zambrano Pinargote, por abrirme sus puertas y haberme hecho parte de su familia en cada momento, gracias por esa amistad y por alentarme siempre.

A mi compañera de tesis Ingrid, por su lucha constante ante cualquier obstáculo.

A la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Rocafuerte (EPAPAR), de manera especial al Ing. Argenis Rodríguez y al Ing. Dany Meza, por su grata ayuda y colaboración.

**Yanira G. Palacios Coveña**

## **DEDICATORIA**

En un abrir y cerrar de ojos han transcurrido los años de estudio en estas aulas de mi hermosa ESPAM. Es difícil contener las lágrimas al saber que esta etapa académica está por terminar.

Quiero dedicar este trabajo a mi hijo Ethan, a mi madre Mirian Rivas y a mis hermanos Lenin, Kevin y Darwin por el apoyo dado.

En esta vida "Nada es imposible".

**Ingrid L. Marcillo Rivas**

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a Dios, por permitirme formarme como profesional y ser quien guía el destino de mi vida.

A mis padres, René Palacios y Elenny Coveña, por su apoyo, sacrificio y esfuerzo incondicional que me han brindado en este largo camino, porque ellos son sinónimo de lucha y entrega, sin el apoyo que me han brindado no sería la persona que ahora soy. Toda la fe y dedicación puesta hacia mí ahora se ve reflejada en este logro.

A mi hermana, Yusvely, mis sobrinos, Zabdiel y Aylen, y a mi familia en general, por ser un apoyo absoluto en el transcurso de mi carrera, por siempre impulsarme a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis amigas y amigos incondicionales, aquellas personas extraordinarias con las que siempre pude contar, porque han estado en los malos y buenos momentos y constantemente me alentaron para no rendirme.

**Yanira G. Palacios Coveña**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL .....	ix
CONTENIDO DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. IDEA A DEFENDER.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. EL AGUA.....	5
2.1.1. CALIDAD DEL AGUA.....	5
2.1.2. CALIDAD DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL .....	5
2.1.3. AGUA DE CONSUMO HUMANO .....	6
2.1.4. PRINCIPALES ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA DE CONSUMO HUMANO. ....	6
2.1.5. GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE .....	7
2.1.6. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	7

2.1.7. NORMATIVAS VIGENTES PARA EL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO.....	8
2.1.7.1. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA DE AGUA POTABLE: REQUISITOS INEN 1108:2020.....	8
2.1.7.2. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO.....	9
2.1.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA.....	10
2.1.8.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	10
2.1.8.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	11
2.1.8.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS .....	13
2.2. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	13
2.2.1. SISTEMAS CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	14
2.2.1.1. SISTEMAS POR GRAVEDAD .....	14
2.2.1.2. SISTEMAS POR BOMBEO.....	14
2.2.2. SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	15
2.2.2.1. POZOS SOMEROS .....	15
2.2.2.2. POZOS EQUIPADOS CON BOMBAS MANUALES .....	15
2.2.2.3. ABASTECIMIENTO DIRECTO DE MANANTIALES .....	16
2.3. POTABILIZACIÓN DEL AGUA .....	16
2.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO .....	16
2.3.1.1. CAPTACIÓN DEL AGUA .....	16
2.3.1.2. LÍNEAS DE CONDUCCIÓN.....	16
2.3.1.3. ESTACIÓN DE BOMBEO .....	17
2.3.1.4. SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN .....	17
2.3.1.5. DECANTACIÓN.....	17

2.3.1.6. FILTRADO .....	17
2.3.1.7. CLORACIÓN.....	17
2.3.1.8. RESERVORIO O ALMACENAMIENTO .....	18
2.3.1.9. DISTRIBUCIÓN .....	18
2.4. MUESTREO PROBABILÍSTICO .....	18
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	19
3.1. UBICACIÓN .....	19
3.2. DURACIÓN .....	19
3.3. VARIABLES .....	19
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	19
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	20
3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	20
3.4.1. MÉTODOS .....	20
3.4.1.1. MÉTODO INDUCTIVO.....	20
3.4.1.2. MÉTODO ANALÍTICO .....	20
3.4.2. TÉCNICAS .....	20
3.5. PROCEDIMIENTO.....	21
FASE I. ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LAS ETAPAS DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL CANTÓN ROCAFUERTE .....	21
FASE II. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE .....	24
FASE III. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN FUNCIÓN DE LOS ICA OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN... ..	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26

4.1. ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LAS ETAPAS DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL CANTÓN ROCAFUERTE .....	26
4.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE .....	35
4.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN FUNCIÓN DE LOS ICA OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
5.1. CONCLUSIONES.....	49
5.2. RECOMENDACIONES .....	50
BIBLIOGRAFÍA .....	51
ANEXOS .....	62

## CONTENIDO DE TABLAS Y GRÁFICOS

### CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Rangos de clasificación de la calidad del agua para ser considerada como fuente de captación para consumo humano .....	8
<b>Tabla 2.2.</b> Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA .....	8
<b>Tabla 2.3.</b> Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano .....	9
<b>Tabla 2.4.</b> Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano .....	9
<b>Tabla 2.5.</b> Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico .....	10
<b>Tabla 3.1.</b> Parámetros según el ICA NSF .....	23
<b>Tabla 3.2.</b> Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA .....	25
<b>Tabla 3.3.</b> Rangos de clasificación de la calidad del agua.....	25
<b>Tabla 4.1.</b> Resultados de los análisis de la etapa de captación y los límites máximos permisibles del TULSMA del libro VI, anexo 1, tabla 1.....	29
<b>Tabla 4.2.</b> Resultados de los análisis de la etapa de tratamiento y los límites máximos permisibles de la INEN 1108:2020.....	30
<b>Tabla 4.3.</b> Resultados de la comunidad La California con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos .....	32
<b>Tabla 4.4.</b> Resultados de la comunidad El Guabital con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos .....	33
<b>Tabla 4.5.</b> Resultados de la comunidad El Horcón con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos .....	33
<b>Tabla 4.6.</b> Parámetros del ICA y su forma de medición.....	35
<b>Tabla 4.7.</b> Índice de Calidad de Agua en las muestras.....	36
<b>Tabla 4.8.</b> Índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en cada una de las etapas.....	40
<b>Tabla 4.9.</b> Índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en las comunidades (etapa de distribución).....	40

**CONTENIDO DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 3.1.</b> Mapa de ubicación.....	19
<b>Gráfico 4.1.</b> Diagrama de flujo de la planta potabilizadora de agua del cantón Rocafuerte.....	26
<b>Gráfico 4.2.</b> Puntos de muestreos por etapa correspondientes en rangos del ICA .....	37
<b>Gráfico 4.3.</b> Puntos de muestreos por lugar correspondientes en rangos del ICA .....	38
<b>Gráfico 4.4.</b> Representación en barras de los índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en cada una de las etapas.....	39
<b>Gráfico 4.5.</b> Representación en barras de los índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en las comunidades .....	39
<b>Gráfico 4.6.</b> Representación en barras de la temperatura.....	42
<b>Gráfico 4.7.</b> Representación en barras del pH .....	42
<b>Gráfico 4.8.</b> Representación en barras del DBO .....	43
<b>Gráfico 4.9.</b> Representación en barras de los nitratos .....	44
<b>Gráfico 4.10.</b> Representación en barras de los fosfatos.....	45
<b>Gráfico 4.11.</b> Representación en barras de la turbiedad .....	45
<b>Gráfico 4.12.</b> Representación en barras de los sólidos disueltos .....	46
<b>Gráfico 4.13.</b> Representación en barras del oxígeno disuelto .....	47
<b>Gráfico 4.14.</b> Representación en barras de los coliformes fecales.....	48

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso doméstico en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí mediante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para lo cual se realizó la toma de muestras en cinco puntos divididos en dos áreas, la primera en la Planta Potabilizadora de Agua (captación y tratamiento) ubicada en el comunidad Valdez y la segunda en las viviendas de las comunidades de California, Guabital y Horcón (distribución), empleándose el método probabilístico aleatorio bajo proporción muestral. Luego de analizar los parámetros se procedió con la comparación de los límites máximos permisibles estipulados en el INEN 1108:2020 y el TULSMA, evidenciando que los resultados en la etapa de captación, la mayoría cumple con lo permitido a excepción del  $DBO_5$ , mientras que en las etapas de tratamiento y distribución si cumplen lo acordado a la normativa. En la determinación del ICA se constató que el agua del cantón Rocafuerte en el punto de captación tiene un criterio de mediana calidad con un valor de 67,06 y en las etapas de tratamiento y distribución mostraron una buena calidad con resultados desde 71,36 hasta 78,01.

**PALABRAS CLAVES:** Calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, planta potabilizadora, INEN 1108:2020, TULSMA, ICA.

## ABSTRACT

The present research work aimed to evaluate the quality of water for human consumption and domestic use in Rocafuerte canton, Manabí province by evaluating the physicochemical and microbiological parameters, for which the sampling was carried out at five points divided into two areas, the first, in the Water Treatment Plant (catchment and treatment) located in the Valdez community and the second in the communities homes of California, Guabital and Horcón (distribution), using the random probabilistic method under a sample rate. After analyzing the parameters, we proceeded with the comparison of the maximum permissible limits stipulated in the INEN 1108: 2020 and the TULSMA, showing that the results in the collection stage, the majority comply with what is allowed except for BOD<sub>5</sub>, while in the treatment and distribution stages if they comply with what is agreed to in the regulations. In determining the ICA, it was found that the water from Rocafuerte canton at the catchment point has a medium quality criterion with a value of 67.06 and in the treatment and distribution stages they showed good quality with results from 71.36 to 78.01.

**KEY WORDS:** Water quality, physicochemical parameters, water treatment plant, INEN 1108:2020, TULSMA, ICA.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La escasez de agua a nivel mundial se puede definir como el punto en el que el consumo de los usuarios afecta al suministro o calidad del agua, de forma que la demanda no puede ser completamente satisfecha. Según los datos del World Resources Institute (WRI) más de 1.000 millones de personas viven, en la actualidad, en regiones con escasez de agua y hasta 3.500 millones podrían sufrir escasez de agua en 2025. Los países más afectados por la escasez de agua se encuentran en Oriente Medio y el Norte de África. Los cinco primeros países con mayor escasez de agua son: Kuwait, Bahrein, Emiratos Árabes Unidos, Egipto y Qatar, en base a la información de WRI (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados [ACNUR], 2014).

Los datos que maneja la Organización Mundial de la Salud (2019) son alarmantes ya que 844 millones de personas carecen incluso de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales y en todo el mundo, al menos 2.000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces además de que el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año.

Ecuador tiene una de las tasas más alta de disponibilidad de agua por habitante, pero hay zonas donde el acceso es limitado. A esto se suma la contaminación de los ríos, causada por las aguas sin tratamiento que son vertidas directamente a las riberas y también la contaminación por agroquímicos o desechos domésticos; estos serían unos de los principales problemas para el país (Morán, 2017). La mala calidad del agua y de los servicios, se manifiesta en los siguientes indicadores: el 60 % del agua suministrada a la población no es potable, el abastecimiento es intermitente en 55% de los sistemas y las pérdidas alcanzan hasta el 65% de la producción total del agua (Camacho, 2014).

De acuerdo con Pico (2017) en Manabí el daño recae en las actividades de la ciudad que descargan sus aguas servidas y negras directamente, en los lechos de los ríos, así también, las labores agropecuarias en los campos que atentan contra la naturaleza. El mismo autor menciona que la provincia es considerada por la generación de ingresos en las actividades agrícolas, que además de ser beneficiosa para la economía de los habitantes, también se ha vuelto una problemática por la contaminación de los ríos, ya que los químicos que utilizan para combatir las plagas, son vertidos en los afluentes.

En el cantón Rocafuerte, el agua es un problema que tiene la población, tanto en cantidad como en calidad. La zona baja al estar atravesada por los ríos Portoviejo y Chico tienen agua durante todo el año, pero debido a la contaminación de los ríos el agua es de mala calidad, en la zona alta en cambio solamente tienen agua en épocas de invierno y si el invierno es bueno pueden almacenar agua para el resto del año; todos estos inconvenientes hizo que Rocafuerte cuente con su propia planta potabilizadora, para poder brindar un mejor servicio a la ciudadanía (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rocafuerte [GADMR], 2014).

Según lo ante expuesto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál es la calidad del agua de consumo humano y uso doméstico del cantón Rocafuerte de acuerdo a los estándares establecidos por la normativa vigente?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Un informe emitido por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas [ONU-DAES] (2014) indica que la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan generalmente en evaluar los niveles de toxicidad aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

La Resolución 64/292, de la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (ONU-DAES, 2014). La Organización de las Naciones Unidas mediante los ODS ha propuesto distintas metas, en la cual, la del objetivo 3 es reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos y la contaminación del agua; la del objetivo 6 es lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos, además, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos.

El Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales en el 2002, adoptó la Observación General nº 15 donde define que es un derecho de cada uno a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal doméstico, mientras que en el artículo 1 establece "El derecho humano al agua es indispensable para una vida humana digna" (ONU-DAES, 2014, p.133).

La normativa vigente en el Ecuador emitida por el Ministerio del Ambiente, determina que los parámetros para medir la calidad del agua se comparan con valores de referencia denominados criterios de calidad del agua; estos criterios se definen para cada tipo de uso o aprovechamiento del agua (Ministerio del Ambiente [MAE], 2015).

Hay que tener en cuenta que la calidad del agua varía respecto a las épocas del año, ya que cuando es época lluviosa los ríos tendrán mayor concentración de contaminantes, mientras que en época seca van a minimizar; cabe recalcar, que los cuerpos de agua en el cantón están siendo degradados por las descargas domésticas que se manifiestan desde la cuenca alta del río Portoviejo. Por lo que concierne en el abastecimiento del agua tratada, se estima que para el año 2020, Rocafuerte cuente con una población de 40.798 habitantes y referente a esta proyección se pretende que la nueva planta dote una cantidad de líquido vital de 10200 m<sup>3</sup>/día (GADMR, 2014).

En el cantón Rocafuerte, 2.491 viviendas de la zona urbana reciben un servicio de agua potable, de la misma manera, en la zona rural, un total de 2.751 viviendas se abastecen de agua potabilizada, mientras que, 2.289 viviendas de la misma zona tienen un servicio de agua entubada sin potabilizar (GADMR, 2014).

A través de esta investigación se pretende analizar las características fisicoquímicas y biológicas del agua mediante las etapas de captación, tratamiento y distribución, resultados que serán comparados con las normas vigentes del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), con la finalidad de verificar la optimización de la planta potabilizadora de Rocafuerte, en cuanto a calidad del líquido vital, así como la disminución de enfermedades producidas por inadecuadas prácticas antropogénicas.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso doméstico en el cantón Rocafuerte, Manabí.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las características fisicoquímicas y biológicas del agua en las etapas de captación, tratamiento y distribución en el cantón Rocafuerte.
- Determinar la calidad de agua para consumo humano y uso doméstico en el cantón Rocafuerte.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en función de los Índices de Calidad del Agua (ICA) obtenidos en las diferentes etapas de la investigación.

### **1.4. IDEA A DEFENDER**

La calidad del agua para consumo humano y uso doméstico en la época seca en el cantón Rocafuerte es buena.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. EL AGUA**

En la investigación de Herrera (2017) se menciona que el agua a pesar de ser una pieza primordial para el desarrollo de la civilización, esta se ve afectada cada vez más por los problemas de contaminación y el calentamiento global. Así como lo sugiere la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2002), se exige que todos los países adopten estrategias y planes de acción el cual les permite acercarse de una manera rápida a la ejecución del derecho a poseer agua.

Algunas de las causas principales de enfermedades y muertes alrededor del planeta son la escasez del agua potable y las malas condiciones de limpieza, este problema perjudica a los pobres que se encuentran en los países en desarrollo, además, la contaminación de los cuerpos de agua, el aumento urbano-industrial y la sobreexplotación han ocasionado conflictos en los que se ven afectadas las ciudades (Durán y Torres, 2006).

#### **2.1.1. CALIDAD DEL AGUA**

El tema sobre la calidad del agua potable es un asunto que inquieta tanto a los países en desarrollos como a los desarrollados por su consecuencia en la salud poblacional, ya que existen productos químicos y agentes infecciosos que son factores de alto riesgo, lo cual trae consecuencias graves en salud de todas las personas (OMS, 2017).

Según Villena (2018) afirma que para lograr el bienestar humano y el desarrollo sostenible es necesario basarse en algunos fundamentos como la calidad del agua, la salud y el crecimiento económico, además, es necesario enfocarse en medidas sostenibles que aprueben el avance y la mejora continua para que puedan responsabilizarse por la salud de las personas.

#### **2.1.2. CALIDAD DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL**

Según Barrau y España (2019) la calidad de agua potable en el país de Bolivia posee gran variabilidad la cual se refleja en sus provincias; la calidad de agua se analiza en tres lugares diferentes debido a las diferencias socioeconómicas y

culturales, además, las normas y reglamentos que se aplican para la calidad de este recurso no siempre se cumplen, lo cual genera una problemática en los resultados de los parámetros del agua.

El Ecuador a pesar de poseer una extensa y abundante red hídrica, este recurso es contaminado por las aguas residuales que no son tratadas y son vertidas al ambiente acuático, así mismo por desechos sólidos, químicos industriales y biosólidos pecuarios (Izurieta *et al.*, 2019). De acuerdo con Ibararán *et al.* (2017) en México, la calidad del agua en tiempos atrás poseía algunos grados de contaminación en casi el 75% de las aguas superficiales, además la actividad económica y la densidad poblacional también perjudican dichas aguas.

### **2.1.3. AGUA DE CONSUMO HUMANO**

El agua de consumo se considera de buena calidad cuando no existe ningún microorganismo patógeno, ni agentes contaminantes que puedan afectar en la salud de la población (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social [MSCBS], 2018). Según la OMS (2011) el agua de consumo humano tiene una alta demanda ya que es utilizada para varias labores domésticas como la higiene personal o la preparación de alimentos, se debe recalcar que para la diálisis renal o la limpieza de lentes de contacto se utiliza agua de mayor calidad.

Toda agua destinada al consumo humano debe estar libre de cualquier agente patógeno, por lo tanto, es necesario efectuar los respectivos análisis para descartar microorganismos que revelen alguna contaminación (Rodríguez *et al.*, 2018). Ríos *et al.* (2017) menciona que la importancia de disponer modelos de evaluación que garanticen la calidad del agua, se da a partir de las oportunidades para solucionar problemas de la salud pública para un mejor suministro del líquido vital.

### **2.1.4. PRINCIPALES ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA DE CONSUMO HUMANO**

La utilización de agua potable es esencial para el vivir diario de los seres humanos, y una inapropiada calidad del mismo implica la transmisión de enfermedades (Ferro *et al.*, 2019). La ONU (2015) asegura que dos millones de

personas, en su mayoría niños, mueren todos los años a causa de enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea, cólera, hepatitis y parasitismo.

La propagación de dichas enfermedades se debe a la falta de agua apta para consumo y por el mal manejo de los desechos humanos; cabe mencionar que en el mundo existen un sin número de enfermedades como el paludismo que son perjudiciales para la vida de las personas (ONU, 2015).

### **2.1.5. GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE**

Las ediciones primera y segunda de las Guías del Agua para la calidad del agua potable se utilizaron en los países en desarrollo y desarrollados, como base fundamental para la elaboración de reglamentos y normas encaminados a garantizar agua potable sana y saludable (OMS, 2013).

El principal propósito de las guías es apoyar en el progreso y cumplimiento de estrategias de gestión de riesgos que respalden la inocuidad del suministro del líquido vital a través de la inspección de los componentes peligrosos del agua, además, estas estrategias pueden contener tanto normas nacionales como regionales y se basan en la indagación científica que facilitan las guías (OMS, 2013).

### **2.1.6. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA**

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET] (2012) el índice de calidad de agua (ICA) es utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en intervalos específicos de los ríos a través del tiempo, por lo tanto, los resultados del ICA se emplean con la finalidad de conocer si algún tramo del río es saludable o no.

Para la determinación del "ICA" interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en Unidades Formadoras de Colonias [UFC])
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/L)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)

- Turbidez (en Unidad de Atenuación de Formacina [FAU])
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

**Tabla 2.1.** Rangos de clasificación de la calidad del agua para ser considerada como fuente de captación para consumo humano

Valor ICA NSF	Clasificación de la calidad del agua
91-100	Excelente Calidad
71-90	Buena calidad
51-70	Mediana calidad
26-50	Mala calidad
0-25	Muy mala calidad

Fuente: Brown *et al.*, (1970).

**Tabla 2.2.** Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA

Parámetros	ICA NSF (1970)
Temperatura	0,10
Oxígeno Disuelto	0,17
Ph	0,11
DBO <sub>5</sub>	0,11
NO <sub>3</sub>	0,10
Coliformes Fecales	0,16
Turbiedad	0,08
Sólidos Disueltos Totales	0,17
PO <sub>4</sub>	0,10

Fuente: Brown *et al.*, (1970).

## 2.1.7. NORMATIVAS VIGENTES PARA EL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO

### 2.1.7.1. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA DE AGUA POTABLE: REQUISITOS INEN 1108:2020

De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2020) esta norma establece los requisitos que debe tener el agua para consumo e incluso aplica al agua proveniente de sistemas de abastecimiento, suministrada a través

de sistemas de distribución. El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

**Tabla 2.3.** Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido
<b>Características físicas</b>		
Color Aparente	Pt-Co	15
Turbiedad	NTU	5
Antimonio, Sb	mg/L	0,02
Arsénico, As	mg/L	0,01
Bario, Ba	mg/L	1,3
Boro, B	mg/L	2,4
Cadmio, Cd	mg/L	0,003
Cloro libre residual*	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre, Cu	mg/L	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruros	mg/L	1,5
Mercurio, Hg	mg/L	0,006
Níquel, Ni	mg/L	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/L	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/L	3,0
pH	pH	6,5 – 8,0
Plomo, Pb	mg/L	0,01
Selenio, Se	mg/L	0,04

Fuente: NTE INEN 1108 (2020).

**Tabla 2.4.** Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo <sup>a</sup>
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia	Standard Methods 9221 <sup>b</sup> Standard Methods 9222 <sup>c</sup>
<i>Cryptosporidium</i>	Número de ooquistes/L	Ausencia	EPA 1623
<i>Giardia</i>	Número de quistes/L	Ausencia	EPA 1623

<sup>a</sup> En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados.

En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

<sup>b</sup> La ausencia corresponde a “< 1,1 NMP/100 mL”.

<sup>c</sup> La ausencia corresponde a “< 1 UFC/100 mL”.

Fuente: NTE INEN 1108 (2020).

### 2.1.7.2. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO

El Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente explica que esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico.

**Tabla 2.5.** Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/L	1,0
Amonio	NH <sub>4</sub>	mg/L	0,05
Arsénico (total)	As	mg/L	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio Cianuro (total)	Cd CN-	mg/L mg/L	0,01
Cloruro	Cl	mg/L	250
Coliformes Totales	Nmp/100ml		3000
Coliformes Fecales	Nmp/100ml		600
Color	Color real	Unidades	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	2,0
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/L	500
Hierro (total)	Fe	mg/L	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/L	0,1
Materia flotante			Ausencia
Nitrato	N-Nitrito	mg/L	10,0
Nitrito	N-Nitrato	mg/L	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/L	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/L
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos disueltos totales		mg/L	1000
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/L	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o – 3 grados
Turbiedad		UTN	100

Fuente: Libro VI de la Tabla 1 Anexo I Norma De Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso Agua

## 2.1.8. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA

El agua no solo contiene varias sustancias químicas y biológicas suspendidas en la misma, sino que también existen organismos vivos que reaccionan con los elementos fisicoquímicos, posteriormente, por estas razones el agua debe ser tratada para que no existan microorganismos que causan enfermedades en los consumidores (Orellana, 2005).

### 2.1.8.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Entre las características físicas que posee el agua se encuentran las siguientes:

- **COLOR**

El color del agua afecta de manera estética a la potabilidad del agua (Beguiría, 2017) por lo tanto, esta característica física puede estar aliada a la turbidez o estar presente de manera independiente en ella; cabe destacar que en la formación del color actúan algunos factores como el pH, la temperatura y el tiempo de contacto (Pradillo, 2016).

- **OLOR Y SABOR**

Según la Enciclopedia Ambiental Ambientum (2018) hace referencia que el agua no posee olor ni sabor, pero en algunos casos cuando el agua tiene olor, es debido a una serie de motivos como los productos químicos, materia orgánica en descomposición o bacterias, así mismo, cuando el agua tiene un sabor menos agradable, es por la presencia de una cantidad menor de sales minerales.

- **TEMPERATURA**

La temperatura según Pradillo (2016) es uno de los parámetros más significativos porque influye en la demora o rapidez de la actividad biológica, además existen algunos componentes ambientales los cuales logran que la temperatura del agua sea variada.

- **TURBIDEZ**

Se conoce por turbidez a la escasez de nitidez de un líquido debido a la existencia de sólidos en suspensión, lo cual significa, que mientras más elevada sea la presencia de los sólidos en suspensión, más altos serán los niveles de turbiedad (Arizaga, 2016).

#### **2.1.8.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

De acuerdo con Zarza (2020) el agua posee algunas características químicas entre las cuales se mencionan las siguientes:

- **El pH**

El rango de pH que debe tener un agua pura es de 7, lo cual significa que el agua no es ácida ni básica y así mismo, no causa efectos inmediatos en la salud.

- **SÓLIDOS DISUELTOS**

Según lo dicho por Payeras (2015) se define a los sólidos disueltos como la cantidad de materia que se encuentra disuelta en el agua, además los SD se pueden originar tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales.

- **FOSFATOS**

En las aguas residuales y en las aguas superficiales se encuentran los compuestos de fosfatos, los cuales se originan a partir de las excreciones de humanos y animales, fertilizantes eliminados del suelo por el agua y productos de limpiezas (Pütz, 2010).

- **PLOMO**

El contenido de plomo en las aguas superficiales es causado por parte de los vertidos industriales, pero también suele existir en las tuberías cuando el agua permanece inmóvil por mucho tiempo (Pradillo, 2016).

- **GASES DISUELTOS**

Dentro de los gases disueltos está el oxígeno, este juega un rol importante en la solubilidad de iones por su carácter oxidante, además la vida acuática de los microorganismos va a depender de la presencia del oxígeno en el agua (Payeras, 2015).

- **CLORURO**

Según la Enciclopedia Ambiental Ambientum (2018) los cloruros en las aguas naturales no deben excederse de los 50 a 60 mg/L, ya que un alto contenido de cloruros en el agua puede ocasionar daños en las conducciones y en las estructuras metálicas.

- **SULFATOS**

La mayoría de los sulfatos se encuentran en los cuerpos de agua, por lo general, es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia, así mismo, una elevada concentración del mismo en el agua potable puede ocasionar un efecto laxativo debido a la combinación entre calcio y magnesio (LENNTECH, s.f).

- **NITRITOS Y NITRATOS**

Por lo general, las concentraciones más elevadas de nitratos se hallan en el agua de las zonas rurales debido a la desintegración de la materia orgánica y los fertilizantes manipulados, por lo consiguiente, parte del nitrito puede actuar como agente oxidante y reductor, ya que se encuentra en medidas considerables de baja oxigenación (Pradillo, 2016).

### **2.1.8.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Según Echeverría (2020) el agua posee una gran diversidad de componentes biológicos y esto conlleva a que el líquido sea tratado para eliminar todos estos elementos antes de ser destinada a la provisión de agua potable.

- **ALGAS**

Según la United States Environmental Protection Agency [EPA] (2017) algunas algas producen toxinas que son nocivas para las personas y los animales, de tal forma que ocasionan inconvenientes en los abastecimientos de agua potable.

- **BACTERIAS**

Una de las principales causas por la cual existe presencia de bacterias en el agua, surge debido al efecto directo o indirecto de los cambios en el medio ambiente, el crecimiento industrial, pobreza y población descontrolada (Ríos *et al.*, 2017).

- **COLIFORMES FECALES**

Fernández (2017) destaca que los coliformes son indicadores de contaminación tanto en el agua como en los alimentos, del mismo modo Sánchez (2019) menciona, que los coliformes fecales no sólo causan problemas de contaminación microbiológica, sino que también ocasionan daño en la salud de las personas por medio de enfermedades como la diarrea.

## **2.2. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

El diseño de los sistemas de abastecimiento de agua cumple la función de satisfacer las necesidades de la población (Centro de Información Sobre Desastres y Salud [CIDBIMENA], 2004). Según Lossio (2012) dentro de los

componentes requeridos en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua se encuentran la fijación de las cantidades de agua a suministrar, estudios sobre calidad y cantidad de agua, reconocimiento del suelo y subsuelo y antecedentes para el diseño.

### **2.2.1. SISTEMAS CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Este tipo de sistemas ofrece un servicio de abastecimiento de agua en todos los hogares, además se acogen medidas comunitarias para la gestión de los servicios y el mantenimiento de los sistemas debido a que la infraestructura es compartida por los consumidores (CIDBIMENA, 2004).

#### **2.2.1.1. SISTEMAS POR GRAVEDAD**

Según Lossio (2012) en este sistema el agua desciende por acción de la fuerza de gravedad la cual se sitúa en una cota superior a las del pueblo a favorecer, además, este sistema cuenta con algunas ventajas como la de no poseer gastos de bombeo o controlar con mayor facilidad la presión del sistema.

- **Sistemas por gravedad sin tratamiento (GST)**

Estos sistemas funcionan mediante la conducción de agua con una calidad aceptable, la cual se puede distribuir sin tratamiento previo y no requiere ningún tipo de bombeo pero aun así debe contar con un tanque de cloración para que el agua pase por un proceso de desinfección (Villacis, 2018).

- **Sistemas por gravedad con tratamiento (GCT)**

La fuente de agua de este tipo de sistema puede provenir de acequias, ríos o canales, por lo cual se debe pasar por un proceso de clarificación y desinfección antes de su distribución (Villacis, 2018).

#### **2.2.1.2. SISTEMAS POR BOMBEO**

Un sistema de bombeo mecanizado es un dispositivo que se utiliza para elevar el agua desde un punto bajo al suelo, desde las aguas superficiales o subterráneas hasta el sistema de distribución (Bruni y Spuhler, 2018).

- **Sistemas por bombeo sin tratamiento (BST)**

Un sistema de suministro de agua bombeada sin tratar es un conjunto de estructuras que transportan el agua subterránea a las viviendas a través de una red conectada, a pesar que su fuente de agua es subterránea, deben pasar por un simple proceso de desinfección (Rodríguez *et al.*, 2020).

- **Sistemas por bombeo con tratamiento (BCT)**

Este sistema sólo se recomienda en caso de no existir otras fuentes libres en los cuerpos de agua ya que esta alternativa suele ser más costosa que las anteriores (CIDBIMENA, 2004).

## **2.2.2. SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

En ocasiones las personas carecen de agua potable y también se les imposibilita tener un acceso de saneamiento básico, por lo tanto, los consumidores optan en tener un abastecimiento de agua por medio de los sistemas no convencionales (Bravo y Valencia, 2019).

### **2.2.2.1. POZOS SOMEROS**

Los pozos someros son una alternativa para la comunidad, el cual consiste en excavar un pozo y utilizar el agua subterránea cuando la capa freática se halla reducida, además, se debe tener en cuenta que el agua extraída de los pozos debe ser desinfectada o hervida para evitar cualquier riesgo de contaminación (CIDBIMENA, 2004).

### **2.2.2.2. POZOS EQUIPADOS CON BOMBAS MANUALES**

Esta alternativa consiste en que un dispositivo de bombeo manual ayuda a extraer el agua que se encuentra en el subsuelo, así mismo como en el concepto anterior, para poder consumir esta agua primero debe estar desinfectada (CIDBIMENA, 2004).

### **2.2.2.3. ABASTECIMIENTO DIRECTO DE MANANTIALES**

A lo contrario de los conceptos anteriores, la desinfección de este tipo de sistema se la hace en la unidad de captación antes de ser distribuida, es decir, que permite el abastecimiento directo del agua a partir de la captación la cual se puede dar en fuentes pequeñas que se encuentran cerca de la vivienda (CIDBIMENA, 2004).

## **2.3. POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

De acuerdo con Arrieta *et al.* (2020) el objetivo principal de una planta potabilizadora consiste en convertir un agua no apta para el consumo en un agua aceptable con rangos permitidos por las normativas; por otra parte, el Servicio de Aguas de Misiones [SAMSA] (2008) enfatiza, que algunos de los procesos que se cumplen en la potabilización para obtener agua limpia son la eliminación de turbiedad o de impurezas.

### **2.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO**

#### **2.3.1.1. CAPTACIÓN DEL AGUA**

Por lo general, la captación del agua para las plantas potabilizadoras se hace en los ríos, lagos o embalses para posteriormente ser aprovechada y de esta forma garantizar el suministro de este recurso para toda la población, cabe destacar, que para evitar que las aguas superficiales posean cierto grado de contaminación, deben pasar a una serie de tratamientos para que esté apta para el consumo (Pérez, 2018).

#### **2.3.1.2. LÍNEAS DE CONDUCCIÓN**

Según Barrera (2011) indica que la línea de conducción es el recorrido que hace el agua a través de la tubería desde el punto de captación hasta llegar a la planta potabilizadora o al tanque de regularización, además, estas líneas son diseñadas para trabajar por gravedad o bombeo.

### **2.3.1.3. ESTACIÓN DE BOMBEO**

La estación de bombeo está compuesta por una o diversas bombas con sus adecuados pozos de bombeo, tuberías de succión y descarga, por otra parte, su propósito es proveer al agua la fuerza precisa para que sea transportada a través de un conducto a presión (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán [EMAPAD-EC], 2019).

### **2.3.1.4. SISTEMA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN**

El Centro Europeo de Postgrado [CEUPE] (2019) indica que al hablar del proceso de coagulación se fundamenta en agregar al agua un electrolito como la sal de hierro o aluminio, además, este proceso depende de tres componentes como el pH, agitación y tipo de coagulante; así mismo, el proceso de floculación busca agrupar los coágulos en grandes partículas para asegurar la mezcla de los reactivos.

### **2.3.1.5. DECANTACIÓN**

En la decantación el agua se encuentra en un lapso de retención, en este tiempo se toma como referencia la duración del ensayo en una probeta, cabe destacar, que en la parte honda se encuentra un sedimento el cual es expulsado por un sistema de válvulas que se sitúan en el costado (Arizaga, 2016).

### **2.3.1.6. FILTRADO**

El proceso de filtración según menciona la Fundación Aquae (2020) consiste en eliminar los sólidos y los agentes contaminantes que se encuentran en el agua, esto se realiza con el fin de conseguir la mayor pureza y calidad posible para que de esta forma esté apta para el consumo de las personas, de tal forma, el mismo autor señala que después que el agua haya pasado por este proceso, va a obtener propiedades beneficiosas en la salud de las personas por lo que no presenta agentes nocivos.

### **2.3.1.7. CLORACIÓN**

El proceso de cloración del agua se realiza para lograr la desinfección de bacterias u organismos patógenos, dicho proceso se emplea antes de finalizar

todos los tratamientos de potabilización, desalación o depuración, aunque además de conseguir la eliminación de los organismos patógenos también ayuda a quitar las sustancias que causan olores y sabores desagradables en el agua (Nuevo, 2018).

#### **2.3.1.8. RESERVORIO O ALMACENAMIENTO**

Según la EMAPAD-EC (2019) los reservorios son utilizados para garantizar una estable disponibilidad del agua en las áreas donde se solicite, mientras tanto, Montero *et al.* (2018) mencionan en su investigación que en los reservorios de agua pueden existir riesgos en las áreas aisladas con la sustancia química del cloro por motivo, que al ser acumulada el agua esta genera gases dañinos para los trabajadores.

#### **2.3.1.9. DISTRIBUCIÓN**

Según la Comisión Nacional del Agua (2016) hace referencia a que las obras realizadas en las redes de distribución de la población sirven para dar un mejor servicio o extender las redes que ya existen; por otra parte, Agathoklis y Symeon (2017) mencionan que las rutas de una red de distribución pueden variar dependiendo de las condiciones hidráulicas en que se encuentre la red.

### **2.4. MUESTREO PROBABILÍSTICO**

De acuerdo con Pimienta (2000) menciona que el muestreo probabilístico hace referencia a la selección aleatoria de las muestras en el cual los componentes de la población tienen una posibilidad no nula de ser seleccionados.

Por otra parte Otzen y Monterola (2017) aseguran que la representatividad de una muestra permite extrapolar y generalizar los resultados que se observan en dicha muestra, además existen cuatro técnicas diferentes que son aleatorio simple, aleatorio estratificado, aleatorio sistemático y por conglomerados; FAO (1994) y Torres *et al.* (2006) afirman que la técnica de muestreo aleatorio simple es más recomendable pero muy costosa y difícil de llevarse a cabo, además, definen a este tipo de muestreo de manera que todos los elementos de la población gozan de la posibilidad de ser seleccionados.

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1. UBICACIÓN

El presente proyecto se llevó a cabo en dos áreas, la primera en la Planta Potabilizadora de Agua (captación y tratamiento) en la comunidad Valdez y la segunda en las viviendas de las comunidades California, Guabital y Horcón (distribución) que pertenecen al cantón Rocafuerte.

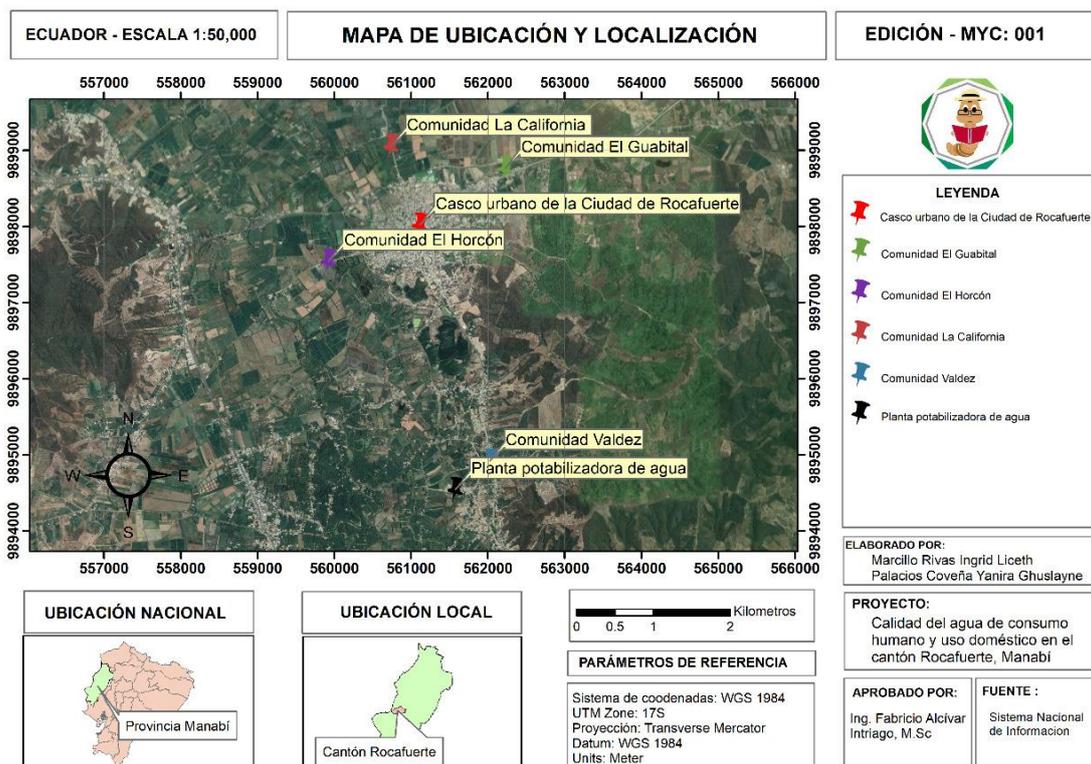


Gráfico 3.1. Mapa de ubicación

## 3.2. DURACIÓN

El tiempo de duración de la investigación fue de nueve meses a partir de la aprobación del proyecto.

## 3.3. VARIABLES

### 3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Características fisicoquímicas y biológicas.

### **3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Calidad del agua

## **3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **3.4.1. MÉTODOS**

#### **3.4.1.1. MÉTODO INDUCTIVO**

Mediante el método inductivo se permitió analizar casos particulares, donde se obtuvo conclusiones de carácter general. Este método se basó a través de la observación, el estudio y la experimentación de varios sucesos reales, de esta forma se pudo obtener las condiciones de la planta o los riesgos que pueden existir en los procesos durante su puesta en funcionamiento (Rendón, 2019).

#### **3.4.1.2. MÉTODO ANALÍTICO**

Se utilizó este método con el fin de realizar la medición de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la calidad del agua, a través de análisis en laboratorio aplicando los estándares establecidos por la normativa vigente (American Health Association [APHA], 2015).

### **3.4.2. TÉCNICAS**

La técnica que se utilizó en la investigación fue la de observación, la cual se llevó a cabo mediante la visita a la planta potabilizadora de agua y así conocer los procesos que se realizan en esta. Además, se visitó un cierto número de viviendas para recolectar muestras de aguas dentro de ellas (Castellanos, 2017).

### **3.5. PROCEDIMIENTO**

#### **FASE I. ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LAS ETAPAS DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL CANTÓN ROCAFUERTE**

##### **Actividad 1. Descripción de las etapas de la planta potabilizadora de agua**

Se realizó una entrevista (Anexo 1) al gerente de la empresa de agua del cantón, con el propósito de conocer detalladamente lo que se lleva a cabo en cada una de las etapas de la planta potabilizadora de agua.

##### **Actividad 2. Recolección de información y toma de muestra en la planta potabilizadora de agua**

Se efectuó una visita a la oficina de la empresa de agua con el fin de recolectar la información necesaria sobre las comunidades a las que se les abastece agua y además, de los análisis que realizan en la planta (Anexo 2 y Anexo 3); lo cual, sirvió como base fundamental para el desarrollo de las actividades posteriores. En lo que concierne a las comunidades se obtuvieron los siguientes datos:

- Comunidad La California con un total de 83 viviendas
- Comunidad El Guabital con un total de 36 viviendas
- Comunidad El Horcón con un total de 33 viviendas

De acuerdo a los Standard Methods, se tomó una muestra en las etapas de captación y tratamiento en la época seca, aplicando la normativa NTE INEN 2169:2013 utilizada en calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, para luego realizar los respectivos análisis fisicoquímicos y biológicos.

##### **Actividad 3. Toma de muestras en las viviendas**

Esta actividad consistió en tomar 20 muestras de agua en la época seca, una vez que ya se haya abastecido a las viviendas (distribución). Para la determinación del número de casas a las que se les hizo la muestra, se empleó la fórmula de la proporción muestral (Ecuación 3.1) y el método probabilístico aleatorio simple en el cual considerando criterios de habitabilidad y distancia se

escogió un rango de 8 al azar; el total de casas de cada comunidad fue dividido para este valor, es decir que cada ocho casas se tomó la muestra (FAO, 1994; Torres *et al.*, 2006).

Los mismos autores mencionan que para la obtención de la proporción se utilizó la siguiente ecuación:

$$p = \frac{N}{c} \quad [\text{Ecuación 3.1}]$$

Donde:

p= Proporción

N= Universo

c= Número de rango seleccionado

El resultado del número de viviendas entre las comunidades se obtuvo reemplazando la ecuación 3.1, el cual se detalla a continuación:

#### **Comunidad La California**

$$p = \frac{83}{8}$$

$$p = 10 \text{ viviendas//}$$

#### **Comunidad El Guabital**

$$p = \frac{36}{8}$$

$$n = 5 \text{ viviendas//}$$

#### **Comunidad El Horcón**

$$p = \frac{33}{8}$$

$$n = 5 \text{ viviendas//}$$

Al momento que se tomó la muestra en las casas, como lo establece el manual de análisis de agua (HACH Company, 2000) se dejó correr el agua del grifo a una frecuencia moderada sin salpicar, durante 2 o 3 minutos antes de tomar la muestra y luego se identificó mediante etiquetas.

#### Actividad 4. Análisis de las muestras

Para la determinación de la DBO<sub>5</sub>, las muestras se enviaron al laboratorio de la Universidad de las Américas (Anexo 3); los parámetros fisicoquímicos restantes se realizaron en el laboratorio de la ESPAM MFL (Anexo 4) y los microbiológicos en el laboratorio de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Jama (Anexo 5), tomando como referencia los parámetros del índice de calidad del agua, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.** Parámetros según el ICA NSF

	Temperatura
	Turbidez
	Oxígeno disuelto
<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	DBO <sub>5</sub>
	pH
	NO <sub>3</sub>
	Sólidos Disuelto Totales
	PO <sub>4</sub>
<b>Parámetros biológicos</b>	Coliformes fecales

Fuente: Brown *et al.*, (1970).

#### Protocolo de análisis para los parámetros

**Temperatura:** Para la realización de este parámetro se utilizó el potenciómetro.

**Turbidez:** Se midió 10 ml de la muestra en un recipiente y luego es llevada al equipo Spectroquant en el cual se midió dicho parámetro en FAU. El código para turbidez es 520.

**Oxígeno Disuelto:** Este parámetro se midió in-situ con el oxímetro 550A, dicho equipo mide el resultado en mg/L.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Para este parámetro se aplicó la técnica OXI-TOP; se colocó volumen respectivo de cada una de las muestras en las botellas para la determinación de DBO<sub>5</sub>.

**pH:** Para la determinación de este parámetro se utilizó el potenciómetro.

**Nitratos:** Se colocó la muestra más el reactivo en un tubo de ensayo, posteriormente para la obtención del resultado se utilizó el Spectroquant.

**Sólidos Disueltos Totales:** Se colocó 5 ml de la muestra en un vaso precipitado, dicho parámetro se analizó mediante conductimetría y posteriormente con el electrodo se midió los sólidos disueltos totales.

**Fosfatos:** Para este parámetro se colocó en un tubo de ensayo 5 ml de la muestra y 1,20 ml del reactivo de fosfato, después de unos minutos se llevó al fotómetro para la obtención de los resultados.

**Coliformes Fecales:** Se realizó utilizando las placas de Petrifilm; a dicha placa se le agregó 1 ml de la muestra y luego se llevó a la incubadora durante 24 horas.

## **FASE II. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE**

### **Actividad 5. Comparación de resultados**

Luego de que se adquirieron los resultados de los análisis, se procedió a comparar los parámetros mediante el TULSMA libro VI anexo 1 y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020, correspondiente al agua potable.

### **Actividad 6. Determinación de la calidad del agua mediante el ICA**

Para la determinación del ICA se utilizaron las fórmulas del Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI) excepto para los fosfatos que se utilizó la del Water Quality Index de la National Sanitation Foundation (NSF) (Universidad de Pamplona, 2019). Mediante el índice de calidad del agua se determinó en qué rango se encuentra el líquido vital y así poder comprobar si es apto para cada una de las etapas, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i \quad [\text{Ecuación 3.2}]$$

Donde:

WQI = Índice de Calidad de Agua.

$S_i$  = Subíndice del parámetro  $i$ .

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

Los factores de ponderación son los que se muestran a continuación:

**Tabla 3.2.** Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA

Parámetros	Pesos relativos
Oxígeno Disuelto	0,17
Ph	0,11
DBO <sub>5</sub>	0,11
NO <sub>3</sub>	0,10
Coliformes Fecales	0,16
Temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos Disueltos Totales	0,17
PO <sub>4</sub>	0,10

Fuente: Brown *et al.*, (1970).

Para conocer el índice de la calidad del agua se utilizó la siguiente tabla:

**Tabla 3.3.** Rangos de clasificación de la calidad del agua

Valor ICA NSF	Clasificación de la calidad del agua
91-100	Excelente Calidad
71-90	Buena calidad
51-70	Mediana calidad
26-50	Mala calidad
0-25	Muy mala calidad

Fuente: Brown *et al.*, (1970).

### **FASE III. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN FUNCIÓN DE LOS ICA OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

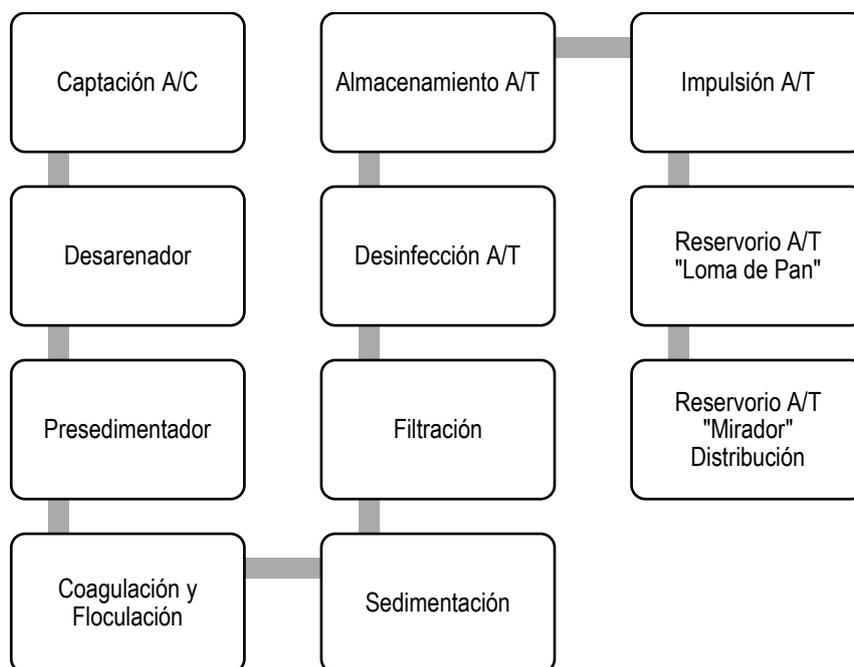
#### **Actividad 7. Análisis de los ICA obtenidos con cada una de las etapas**

Con los resultados adquiridos de los ICA se elaboró una tabla resumen en Excel, con lo que se obtuvieron gráficos de barras que permitió representar los valores de cada una de las etapas, así mismo para visualizar la etapa y el parámetro que tuvo mayor incidencia.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA EN LAS ETAPAS DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL CANTÓN ROCAFUERTE

En el siguiente gráfico se encuentran los procesos que se llevan a cabo en dicha planta:



**Gráfico 4.1.** Diagrama de flujo de la planta potabilizadora de agua del cantón Rocafuerte  
**Fuente:** EPAPAR (2020).

De acuerdo con la información obtenida de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Rocafuerte [EPAPAR] (2020), la planta potabilizadora de agua abastece a la ciudadanía con 3500m<sup>3</sup> diarios del líquido vital, y como forma de prevención en caso de que se produzca algún daño, cuentan con 5800m<sup>3</sup> de agua en sus reservorios. Ante lo expuesto, Quispe (2019) señala que, es importante que las comunidades cuenten con reservorios de aguas dentro de sus plantas potabilizadoras; de manera que, puedan suplir las necesidades vitales de la población en situaciones de emergencia. Por otra parte, es meritorio manifestar que, el mayor sustento para mantener la vida humana en el planeta,

radica en dotar a la población de sistemas de abastecimiento de agua potable de calidad (Hernández y Corredor, 2017).

Consecuentemente, se procede a detallar los procesos que se realizan en la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Rocafuerte:

- **Captación A/C:** En este proceso ingresan 4000m<sup>3</sup> de agua cruda y luego pasan al cárcamo de la cámara de captación, en donde se encuentran 4 bombas sumergibles que impulsan agua hasta el desarenador. De acuerdo a Zarza (2019) este procedimiento permite a la captación de agua a ser potabilizada y puede proceder de diferentes fuentes aledañas a la planta. En contraste, Quispe (2019) indica que, este proceso es eficiente mediante el uso de electrobombas que elevan el agua y la dirigen hacia los tanques, evitando el mayor paso de residuos sólidos hacia el siguiente procedimiento.
- **Desarenador:** La disminución de la velocidad del agua, crea un periodo leve de reposo y mediante la gravedad se produce una sedimentación de material sólido. Según Mendoza (2011) el desarenador contribuye en la retención de la arena, semillas y otros materiales pequeños que traen consigo las aguas servidas y superficiales; con el objetivo de evitar que estos ingresen a los canales de aducción e irrumpa en el proceso de potabilización (Pulido y Carrillo, 2016).
- **Presedimentador:** A través de unas pantallas con orificios, se minimiza la velocidad del flujo del agua y aumenta el tiempo de sedimentación del material particulado, luego de decaer a la tolva cónica el agua resultante avanza al siguiente proceso. Para Zarza (2019) este proceso ayuda a que, la arena y otros sólidos pesados suspendidos, caigan hasta el fondo del agua; para luego dejar libres otros materiales que se eliminarán mediante el proceso de sedimentación (Raigoso y Hernández, 2018).
- **Coagulación y floculación:** Una vez que sale del presedimentador, pasa por un reservorio pequeño en donde se efectúa la primera adición del policloruro de aluminio para la mezcla rápida y después se llevan a los módulos de floculación donde se añade el polímero de floculación para la mezcla lenta. Para Hernández y Corredor (2017) el objetivo de estos procedimientos es facilitar la sedimentación de partículas en estado colonial, mediante el uso de sustancias químicas. Por su lado, Reyes y Rubio (2014)

manifiestan que, la coagulación ayuda a aglutinar las partículas suspendidas en el agua, por medio de la adición de varios coagulantes.

- **Sedimentación:** En este proceso el agua aún contiene flóculos pequeños, por lo cual estará en un tiempo de descanso mediante las placas ABS para que se alcance a sedimentar. Desde el punto de vista de Hernández y Corredor (2017) la sedimentación contribuye al asentamiento de las partículas, hasta el fondo del tanque en donde se encuentra el agua. Por su parte, Zarza (2019) expresa que, la sedimentación ayuda a eliminar las partículas nocivas más densas que se sedimentan en el fondo del agua.
- **Filtración:** Para retener los flóculos que no se obstruyeron en los procesos anteriores, el agua debe pasar por un filtro constituido por capas de grava y carbón activado. Según Quispe (2019) este procedimiento es muy importante, ya que, permite separar del agua las partículas y microorganismos que no lograron quedar retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. Por su lado, Reyes y Rubio (2014) formulan que, este proceso permite la clarificación final del agua, haciendo usos de medios porosos como la arena y la antracita.
- **Desinfección A/T:** Con el propósito de eliminar agentes microbianos que pueden existir en el agua, esta debe pasar por una cámara de contacto, en donde se le aplica el cloro gas diluido para una mejor mezcla. Desde la perspectiva de Quispe (2019) este proceso permite la eliminación de los diferentes organismos patógenos presentes en el agua; no obstante, Reyes y Rubio (2014) argumentan que, dependiendo de las necesidades de potabilización, este procedimiento puede darse de forma físico (se hierve el agua durante 20 minutos) o químico (uso del cloro u otras sustancias para la destrucción de los microorganismos).
- **Almacenamiento A/T:** La planta cuenta con 2000m<sup>3</sup> de capacidad e incluso con un reservorio como planta de 2000m<sup>3</sup> adicional, además, también existen 2 reservorios con una capacidad de 1000m<sup>3</sup> y 800m<sup>3</sup>. En este caso, Zarza (2019) menciona que, el almacenamiento debe ejecutarse en tanques bien protegidos, conservados y limpios; evitando así, el ingreso de contaminantes externos. Para Raigoso y Hernández (2018) este es un proceso fundamental en la potabilización del agua; puesto que, en este se almacena el agua previa a ser utilizada por los seres humanos.

- **Impulsión AT:** Luego que el agua es tratada, se almacena en el reservorio de la planta con una capacidad de 2000m<sup>3</sup> y después es impulsada a través de 2 bombas hasta el reservorio de Loma de Pan. Con referencia a este proceso, se señala su importancia debido a que, por medio de este, es posible el transporte del agua potabilizada hacia los reservorios utilizados en caso de daños en la planta (Raigoso y Hernández, 2018).
- **Reservorio:** En Loma de Pan hay un reservorio de 1000m<sup>3</sup> y en el Mirador hay uno de 800m<sup>3</sup>. Finalmente, se hace énfasis en el argumento de Quispe (2019) quien destaca la importancia de contar con reservorios de aguas en las plantas potabilizadoras; logrando así, satisfacer las necesidades de agua de una comunidad en ocasiones emergentes.

En las siguientes tablas, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua obtenidos en el laboratorio, en conjunto con el límite máximo permisible según las normativas vigentes INEN 1108:2020 y TULSMA.

**Tabla 4.1.** Resultados de los análisis de la etapa de captación y los límites máximos permisibles del TULSMA del libro VI, anexo 1, tabla 1

Captación	Parámetros	Unidad	Resultados	LMP TULSMA
Fisicoquímicos	pH	pH	7,18	6 – 9
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	10	2
	Nitratos	mg/L	0,011	10
	Fosfatos	mg/L	0,5	No registra
	Temperatura	°C	24,3	Condición Natural + o - 3 grados
	Turbidez	NTU	14,4	100
	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	403	1000
Microbiológicos	Oxígeno Disuelto	mg/L	8,6	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/L
	Coliformes Fecales	UFC	16	600

En la caracterización del agua de la etapa de captación (Tabla 4.1), se determinó que la mayoría de los constituyentes fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con el límite máximo requerido en lo que concierne al TULSMA del libro VI anexo 1, tabla 1, a excepción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

En esta etapa de captación, el DBO<sub>5</sub> arrojó un valor de 10 mg/L, pero el límite máximo permisible del TULSMA es de 2 mg/L, lo cual hace referencia a que sobrepasa lo permitido. Se debe tomar en cuenta, que la calidad del agua se encuentra influenciada por la cantidad de DBO, ya que un elevado valor de este parámetro genera condiciones anaeróbicas y dañinas para el crecimiento de los organismos (López, 2019).

**Tabla 4.2.** Resultados de los análisis de la etapa de tratamiento y los límites máximos permisibles de la INEN 1108:2020

Tratamiento	Parámetros	Unidad	Resultados	LMP INEN
<b>Fisicoquímicos</b>	pH	pH	6,87	6,5 – 8
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	7	No registra
	Nitratos	mg/L	0,016	50
	Fosfatos	mg/L	1,1	No registra
	Temperatura	°C	24,2	No registra
	Turbidez	NTU	1,48	5
	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	345	No registra
	Oxígeno Disuelto	mg/L	6	No registra
<b>Microbiológicos</b>	Coliformes Fecales	UFC	Ausencia	Ausencia

En la tabla 4.2 se describen los datos de la etapa de tratamiento que contrastados con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020 se concluye que los parámetros no sobrepasan los límites permisibles.

Coincidiendo con un estudio realizado en Ecuador con el propósito de evaluar el sistema de abastecimiento mediante los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua de consumo humano, se concluye que el agua potable producida cumple con los requisitos que establece la normativa vigente del país (Osejos *et al.*, 2018), de la misma forma, los valores mostrados en la tabla 4.2 se encuentran dentro del rango permitido, esto se debe a que en la etapa de tratamiento se realizan algunos procesos, así como el de desinfección, que tiene como finalidad eliminar agentes microbianos que podría contener el agua y de esta manera mantener los parámetros requeridos por la normativa (EPAPAR, 2020).

La caracterización del agua de las comunidades La California, El Guabital y El Horcón, se muestran en las tablas 4.3, 4.4 y 4.5 respectivamente, así mismo los criterios de límites máximos permisibles para agua de consumo humano establecidos por la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020.

**Tabla 4.3.** Resultados de la comunidad La California con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Comunidad "La California"	Parámetros	Unidades	Resultados										LMP INEN
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	
Fisicoquímicos	pH	pH	7,03	7,04	7,01	7,04	7,05	7,06	7,05	7,09	7,06	7,12	6,5 - 8
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	5	3	4	2	2	2	4	3	1	3	NR
	Nitratos	mg/L	0,013	0,015	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	50
	Fosfatos	mg/L	0,5	2	1,4	0,9	0,5	3,2	2,9	0,5	0,9	0,8	NR
	Temperatura	°C	23,7	24	24	24	24	23,1	24,1	24	24,2	24,1	NR
	Turbidez	FAU	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	429	429	429	422	435	422	435	429	409	422	NR
	Oxígeno Disuelto	mg/L	6,1	5,8	6,1	6,4	6,2	6,2	6,2	6,4	6,3	6,9	NR
	Microbiológicos	Coliformes Fecales	UFC	Ausencia									

Al contrastar los datos en la caracterización de los puntos de muestreo, con los límites máximos permisibles de la norma INEN 1108:2020 en la comunidad La California correspondiente a la etapa de distribución, se concluye que dichos valores se mantienen dentro del rango permitido.

**Tabla 4.4.** Resultados de la comunidad El Guabital con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Comunidad "El Guabital"	Parámetros	Unidades	Resultados					LMP INEN
			G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	
Fisicoquímicos	pH	pH	7,17	7,16	7,13	7,15	7,17	6,5 - 8
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	2	3	2	4	4	NR
	Nitratos	mg/L	0,001	0,027	0,001	0,005	0,001	50
	Fosfatos	mg/L	0,5	0,9	0,7	1,7	3,6	NR
	Temperatura	°C	24	24,1	24,1	24,1	24,3	NR
	Turbidez	FAU	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	435	429	435	435	429	NR
	Oxígeno Disuelto	mg/L	5,7	6,5	5,9	6	5,7	NR
	Microbiológicos	Coliformes Fecales	UFC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

En la comunidad Guabital (tabla 4.4), los valores se encuentran dentro del rango establecido por la norma, por lo que se deduce que el agua está apta para el consumo humano.

**Tabla 4.5.** Resultados de la comunidad El Horcón con respecto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Comunidad "El Horcón"	Parámetros	Unidades	Resultados					LMP INEN
			H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	
Fisicoquímicos	pH	pH	6,95	7,01	6,98	7	7,03	6,5 - 8
	DBO <sub>5</sub>	mg/L	1	1	1	1	1	NR
	Nitratos	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	50
	Fosfatos	mg/L	2,7	2,8	0,8	1	0,5	NR
	Temperatura	°C	23,8	23,8	23,9	23,9	24,1	NR
	Turbidez	FAU	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5
	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	435	454	435	435	467	NR
	Oxígeno Disuelto	mg/L	5,8	6	5,4	5,9	6,1	NR
	Microbiológicos	Coliformes Fecales	UFC	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

La última comunidad de la etapa de distribución es el Horcón, los valores mostrados en la tabla 4.5 determinan que los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua se encuentran dentro del límite permitido por la normativa vigente.

Cabe recalcar que el cantón Rocafuerte cuenta con 54 comunidades de las cuales sólo las tres mencionadas anteriormente son abastecidas por la planta potabilizadora de agua de dicho cantón.

Salazar *et al.* (2018) realizaron un diagnóstico sobre la calidad de agua de consumo humano en las comunidades rurales de la provincia de Santa Elena, en las cuales se hace énfasis que no cumplían con los criterios propuestos por la normativa, considerando esta agua como no apta para el consumo humano puesto que había presencia de coliformes fecales, así mismo otros factores asociados a la mala calidad del líquido vital son el almacenamiento incorrecto del agua y la ausencia de la aplicación del método de tratamiento de desinfección; por el contrario, los valores presentados en las tablas 4.3, 4.4 y 4.5 correspondientes a las comunidades del cantón Rocafuerte, tuvieron valores favorables que revisados bajo la normativa que presenta el país se encuentran dentro de lo permitido, cabe recalcar, que estos buenos rangos se debe a que en la planta potabilizadora de agua del cantón se llevan a cabo todos los procesos necesarios para obtener una calidad de agua apta para el consumo humano.

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE

En las tablas 4.6 y 4.7, se muestran los valores alcanzados del ICA.

Tabla 4.6. Parámetros del ICA y su forma de medición

Parámetro	Clasificación	Unidad	Índice
Temperatura	Físico	°C	$T \leq 11 = 100$
			$11 < T \leq 29 = 76,54007 + 4,172431 \cdot T - 0,1623171 \cdot T^2 - 2,055666 \cdot 10^{-3} \cdot T^3$
			$T > 29 = 10$
Coliformes Fecales	Bacteriológico	NMO/ml	$CF \leq 50 = 98$
			$50 < CF \leq 1600 = 98 \cdot \text{EXP}^{-9,917754 \cdot 10^{-4} \cdot (CF-5)}$
			$CF > 1600 = 10$
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Materia orgánica	mg/l	$DBO \leq 8 = 100 \cdot \text{EXP}^{(-0,199314 \cdot DBO)}$
			$DBO > 8 = 10$
Oxígeno Disuelto	Materia orgánica	mg/l	$OD \leq 3,3 = 10$
			$3,3 < OD \leq 10,5 = -80,28954 + 31,88249 \cdot OD - 1,400999 \cdot OD^2$
			$OD > 10,5 = 100$
Potencial de Hidrógeno	Material iónico		$pH < 4 = 10$
			$4 \leq pH < 7 = 2,628419 \cdot \text{EXP}^{0,520025 \cdot pH}$
			$7 \leq pH \leq 8 = 100$
			$8 < pH \leq 11 = 100 \cdot \text{EXP}^{-0,5187742 \cdot (pH-8)}$
Sólidos Disueltos	Material iónico	mg/l	$pH > 11 = 10$
			$SD \leq 40 = 100$
			$40 < SD \leq 280 = 123,43562 \cdot \text{EXP}^{-5,29647 \cdot 10^{-3} \cdot SD}$
Turbiedad	Material suspendido	UTN	$SD > 280 = 10$
			$Tb \leq 2 = 100$
Fosfatos totales	Nutrientes	mg/l	$Tb > 2 = 108 \cdot Tb^{-0.178}$
			$PO_4 > 0,25 = 10$
Nitrógeno de nitratos	Nutrientes	mg/l	$PO_4 \leq 0,25 = 100 - 299,5406 \cdot PO_4 - 0,1384108 \cdot PO_4^2$
			$NO_3 \leq 3 = 100 \cdot \text{EXP}^{-0,460512 \cdot NO_3}$
			$NO_3 > 3 = 10$

Respecto a los valores de las muestras obtenidas, se puede decir que, demostraron un criterio de buena calidad en todos los muestreos realizados en las comunidades en estudio (etapa de distribución), así también, las muestras de agua tomadas en la etapa de tratamiento, presentaron una buena calidad; por el contrario, los muestreos efectuados en el proceso de captación, presentaron valores que se atribuyen a una mediana calidad (Torres *et al.*, 2009). Cabe señalar que, a las zonas de muestreo tanto como a las etapas de potabilización, se les asignaron valores de ponderación para establecer los valores de calidad entre ellos.

**Tabla 4.7.** Índice de Calidad de Agua en las muestras

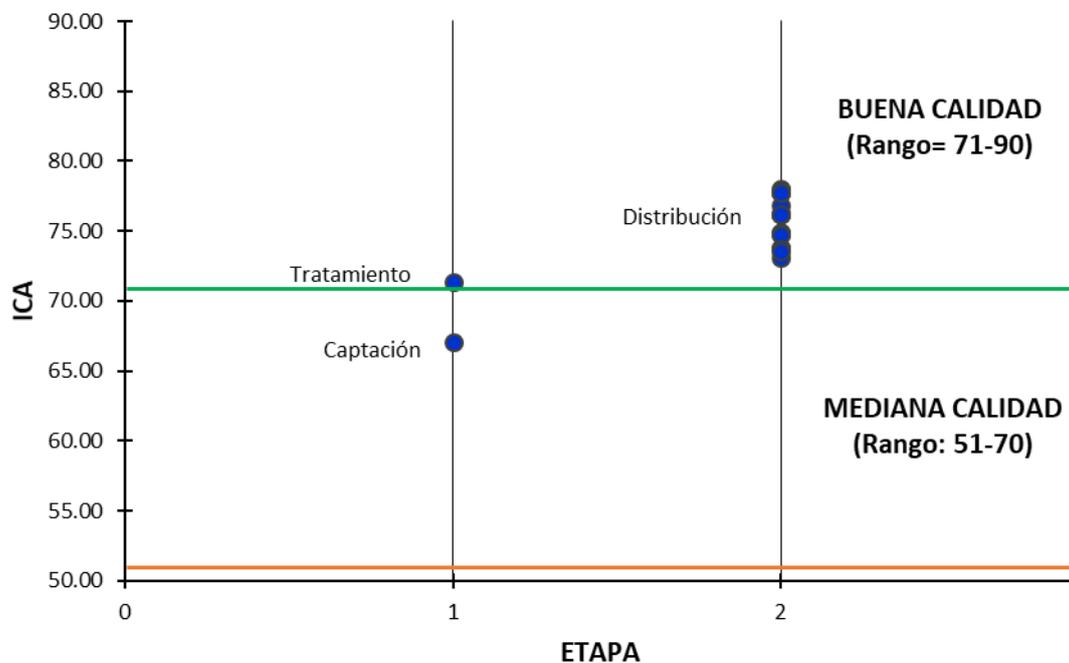
<b>Etapa</b>	<b>Lugar</b>	<b>Detalle</b>	<b>ICA</b>	<b>Calidad</b>
Captación (1)	Captación (1)	Captación	67,06	Mediana calidad
Tratamiento (1)	Tratamiento (1)	Tratamiento	71,36	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C1	73,07	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C2	74,84	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C3	73,81	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C4	76,24	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C5	76,24	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C6	76,86	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C7	73,74	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C8	74,90	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C9	77,72	Buena calidad
Distribución (2)	California (2)	C10	74,83	Buena calidad
Distribución (2)	Guabital (3)	G1	76,24	Buena calidad
Distribución (2)	Guabital (3)	G2	74,71	Buena calidad
Distribución (2)	Guabital (3)	G3	76,16	Buena calidad
Distribución (2)	Guabital (3)	G4	73,72	Buena calidad
Distribución (2)	Guabital (3)	G5	73,59	Buena calidad
Distribución (2)	Horcón (4)	H1	77,74	Buena calidad
Distribución (2)	Horcón (4)	H2	78,01	Buena calidad
Distribución (2)	Horcón (4)	H3	77,84	Buena calidad
Distribución (2)	Horcón (4)	H4	77,94	Buena calidad
Distribución (2)	Horcón (4)	H5	77,79	Buena calidad

Estos resultados coinciden con los presentados por López (2019) donde su investigación relacionada con la determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta de la provincia de Chimborazo, recalca que, los datos adquiridos mediante los muestreos realizados arrojó un valor de 70,7 el cual se interpreta como mediana calidad; así mismo, la etapa de captación de la planta potabilizadora de agua del cantón Rocafuerte tuvo un índice de mediana calidad (67,07), esto se debe a que en las dos investigaciones, todas las muestras analizadas de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con los valores máximos establecidos por la regulación vigente del país.

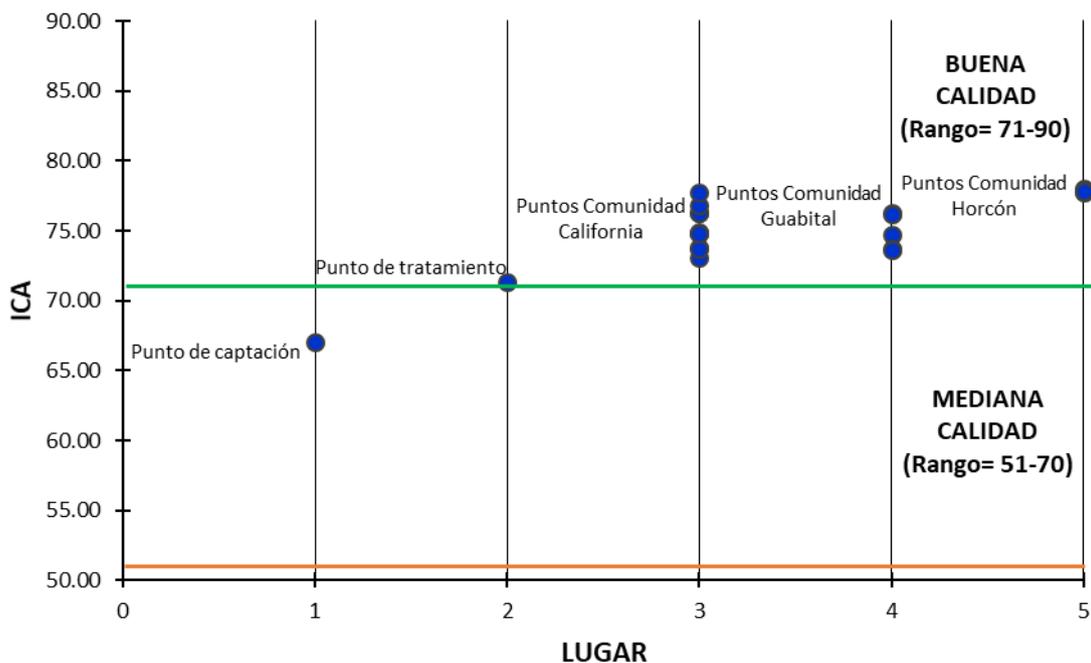
Torres *et al.* (2009) indica que la metodología UWQI (Universal Water Quality Index) fue adoptada por el IDEAM en el ENA (Estudio Nacional del Agua), esta se desarrolló con la finalidad de alcanzar un índice sintético el cual disponga la calidad de agua que será usada para el consumo humano. Este índice califica a las etapas de la captación, tratamiento y distribución como buena para consumo con un previo tratamiento.

#### 4.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN FUNCIÓN DE LOS ICA OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

La representación de las gráficas se presenta a continuación:



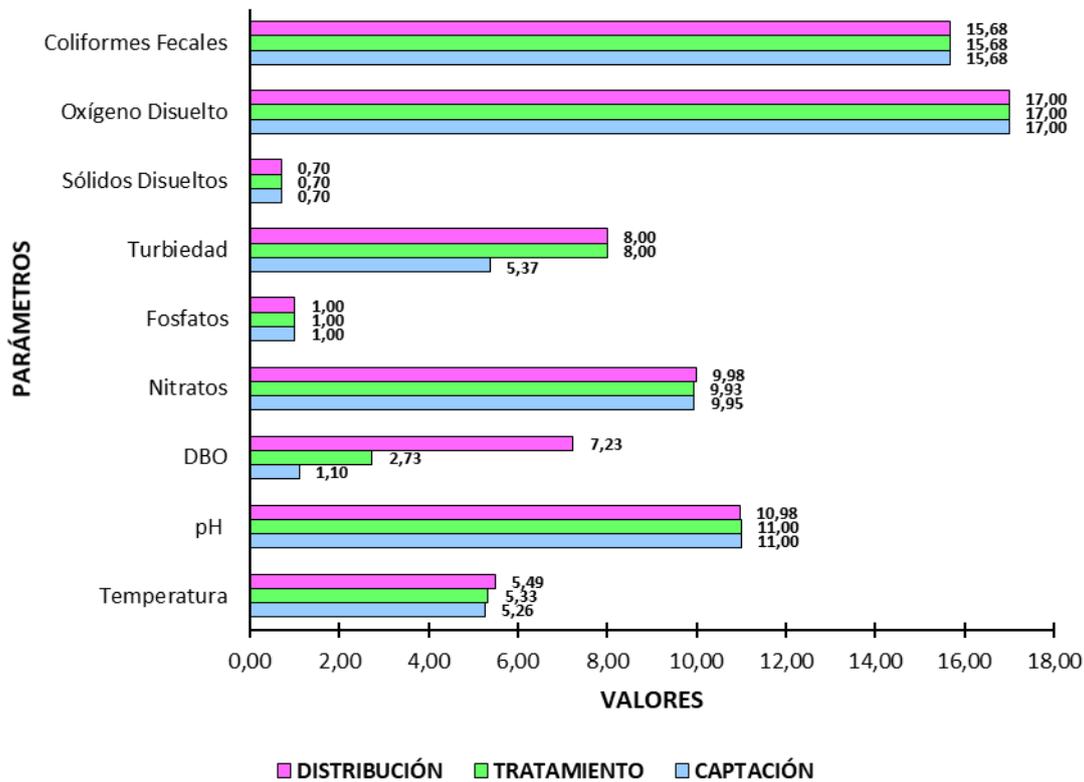
**Gráfico 4.2.** Puntos de muestreos por etapa correspondientes en rangos del ICA



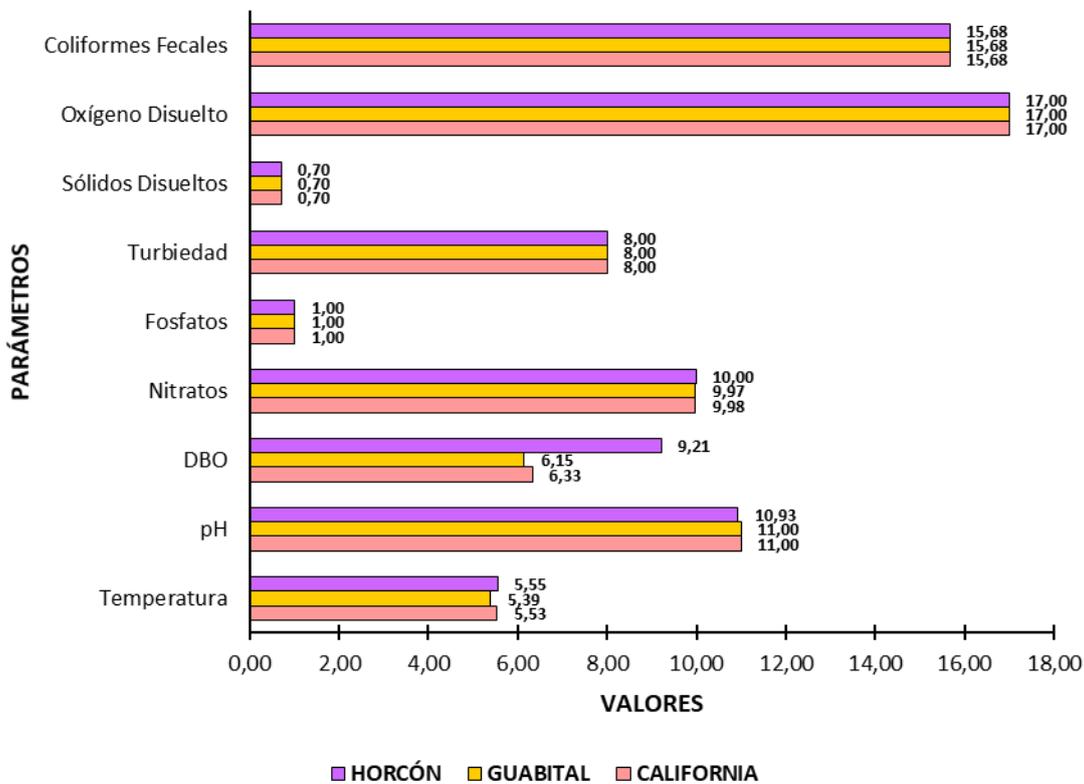
**Gráfico 4.3.** Puntos de muestreos por lugar correspondientes en rangos del ICA

La diferencia mínima que existe entre las etapas de tratamiento y distribución (comunidades California, Guabital y Horcón), se debe a que la muestra que se tomó en la etapa de tratamiento era diferente a la que se recogió en las comunidades, es decir, que una vez que el agua ha sido distribuida a las viviendas, la nueva dotación del líquido vital tarda alrededor de un día en llegar nuevamente a las comunidades (EPAPAR, 2020), es por esta razón que en la etapa de distribución existen rangos un poco más elevados, porque en la nueva dotación del agua los valores pueden variar en algunos parámetros.

Posteriormente, se muestran las representaciones gráficas de los valores de índice ponderados por parámetros del ICA obtenidos en cada etapa:



**Gráfico 4.4.** Representación en barras de los índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en cada una de las etapas



**Gráfico 4.5.** Representación en barras de los índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en las comunidades

En el gráfico 4.4, se muestran los valores en barras de los índices ponderados ICA por parámetros analizados, los cuales hacen referencia a las etapas de potabilización del agua en la planta potabilizadora en estudio. En este gráfico, se visualiza que, todos los parámetros se mantienen en rangos similares en cada etapa de potabilización, a excepción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que en la etapa de captación tuvo un valor de ponderación ICA de 1,10; en la etapa de tratamiento 2,73 y en la etapa de distribución 7,23; pudiendo evidenciarse una diferencia significativa entre valores. En lo que respecta a los valores de ponderación del ICA en la turbiedad, aumentó su valor de 5,37 en la etapa de captación y 8 en las etapas de tratamiento y distribución.

Por otro lado, haciendo referencia a los parámetros analizados por comunidades, mediante el gráfico 4.5 se aprecia, que estos se mantienen en valores similares a la etapa de potabilización; excepto los de ponderación ICA de DBO, cuyo parámetro en la comunidad de California y Guabital arrojó valores de 6,33 y 6,15; mientras que, en la comunidad del Horcón hubo una diferencia significativa con un valor de 9,21, con un promedio total de ponderación ICA de DBO de 7,23.

Tanto en los gráficos 4.4 y 4.5, se constató que, los parámetros de coliformes fecales obtuvieron un valor de ponderación ICA de 15,68 y el oxígeno disuelto un índice ponderado de 17, por lo tanto, son los parámetros sobresalientes que se pueden visualizar.

**Tabla 4.8.** Índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en cada una de las etapas

Etapas	Parámetros								
	Temperatura	pH	DBO	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Turbiedad	SDT	OD	CF
<b>Captación</b>	5,26	11,00	1,10	9,95	1,00	5,37	0,70	17,00	15,68
<b>Tratamiento</b>	5,33	11,00	2,73	9,93	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68
<b>Distribución</b>	5,49	10,98	7,23	9,98	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68

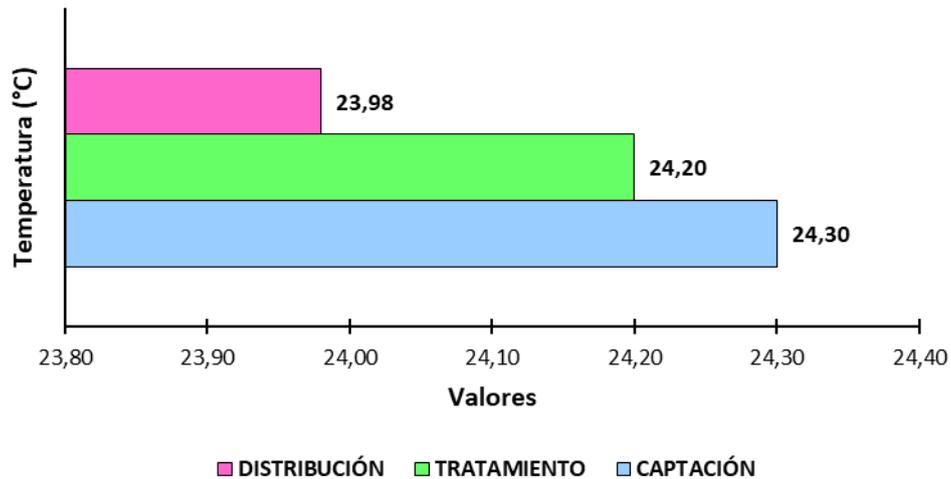
**Tabla 4.9.** Índices ponderados por parámetros ICA obtenidos en las comunidades (etapa de distribución)

Comunidades	Parámetros								
	Temperatura	pH	DBO	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Turbiedad	SDT	OD	CF
<b>California</b>	5,53	11,00	6,33	9,98	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68
<b>Guabital</b>	5,39	11,00	6,15	9,97	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68
<b>Horcón</b>	5,55	10,93	9,21	10,00	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68
<b>Promedio de las comunidades</b>	5,49	10,98	7,23	9,98	1,00	8,00	0,70	17,00	15,68

La variación que se halla en las etapas de tratamiento y distribución (tabla 4.8), se debe al valor del índice de ponderación que obtuvo el DBO en la etapa de tratamiento, el cual su valor fue de 2,73, mientras que en la etapa de distribución correspondiente a las comunidades en promedio fue de 7,23. Se debe tener en cuenta que el DBO es una proporción del oxígeno requerido para el equilibrio químico y biológico de la materia orgánica en un intervalo determinado, por lo tanto, al momento que el agua pasa de un punto a otro a través de las tuberías existirá una mayor aeración (Peñaherrera, 2004).

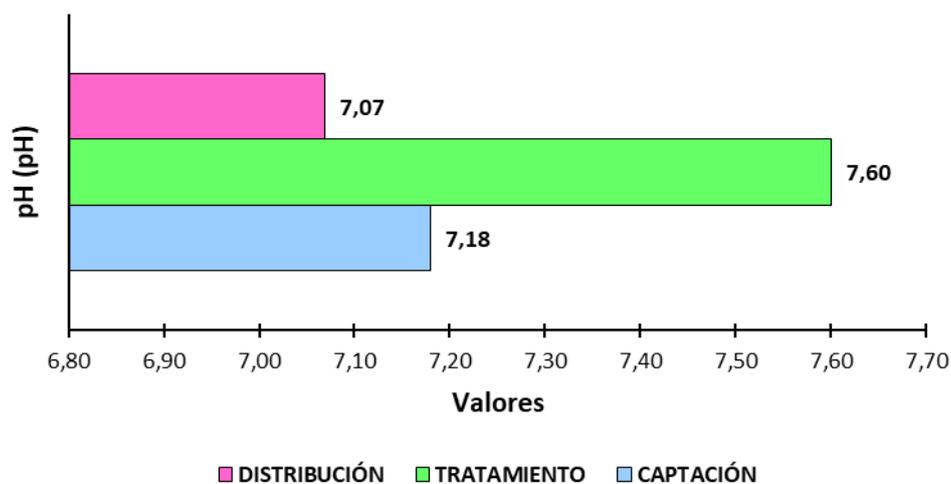
Carrillo y Urgilés (2016) en su investigación sobre la determinación del ICA en los ríos Mazar y Pindilig de la provincia del Cañar, hacen énfasis que la calidad del agua en los meses de mayo, septiembre y noviembre es buena, mientras que, en el mes de junio presentó una mediana calidad debido a las altas precipitaciones que ocasionan las fuertes escorrentías y por ende el arrastre de los diferentes compuestos del suelo, causando concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales, turbidez, fosfatos y coliformes fecales correspondientes a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales afectan a la calidad del agua; es así, como en la tabla 4.8 se observa que, los parámetros de oxígeno disuelto y coliformes fecales son elevados, ya que presentan índices de ponderación más altos que los demás, lo cual resultó en una calidad de agua mediana en la etapa de captación y buena en las etapas de tratamiento y distribución, debido a que las tomas de muestras en las dos etapas se realizaron en la época seca.

A continuación se muestran las representaciones gráficas de cada parámetro con los valores obtenidos en los laboratorios por etapa:



**Gráfico 4.6.** Representación en barras de la temperatura

Como se puede apreciar en el gráfico 4.6 de la temperatura, esta presentó en las etapas de captación y tratamiento valores similares entre 24,30 °C y 24,20 °C; mientras que en la etapa de distribución un valor menor de 23,98 °C. Bajo este contexto, Lárraga (2016) expone que, la temperatura es una propiedad que influye directamente en varios de los procesos que se dan en el agua, entre los que destacan: el retraso o aceleración de la actividad biológica, la precipitación de sustancias, la absorción de oxígeno, la formación de depósitos, entre otras. Además, según la FAO (2013) si la temperatura del agua es monitoreada desde el área de estudio, se obtienen resultados más veraces sobre este parámetro.



**Gráfico 4.7.** Representación en barras del pH

En el caso del gráfico 4.7 representado por el parámetro del pH, se puede observar que, en la etapa de captación se muestra un valor de 7,18; la etapa de tratamiento muestra el valor más alto con 7,60; finalmente, el valor menor se encuentra en la etapa de distribución con un 7,07. Con estos datos se puede evidenciar que existe poca diferencia entre los valores de pH por cada etapa, encontrándose dentro de un rango de 7 a 8. Sobre este parámetro, Idrovo (2010) señala que, a pesar de que exista un desequilibrio del pH en el agua, este no afecta directamente sobre la salud de las personas; sin embargo, sí puede considerarse un inconveniente durante el proceso de potabilización del agua, específicamente en los procesos de coagulación y desinfección.

Por su lado, Lárraga (2016) argumenta que, para la etapa de distribución el valor aceptable de pH es de 7,3 con un rango que puede variar entre 6 y 9; en el presente estudio, el valor obtenido fue de 7,07 en esta etapa, y aunque no es el que se considera aceptable, se encuentra dentro del límite establecido. En lo que respecta a la etapa de tratamiento, el valor aceptable es de 7,50, también teniendo como rango 6 y 9; este dato se asemeja al expuesto en el gráfico anterior, en el que se muestra un valor de 7,60 para el parámetro de pH. Por último, para la etapa de captación se considera un valor aceptable de 7, pudiendo también aceptar valores entre 6 y 9; en el caso de esta investigación, en esta etapa se presenta un valor de 7,18, lo que demuestra que se encuentra dentro del rango de aceptabilidad.

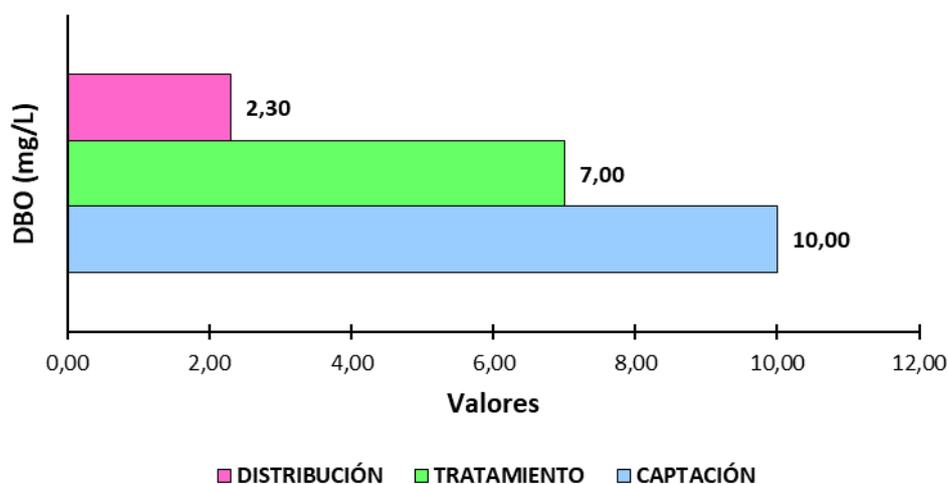


Gráfico 4.8. Representación en barras del DBO

Con base en el parámetro de DBO, el gráfico 4.8 expuesto demuestra que, los valores de DBO entre las diferentes etapas presentan diferencias significativas; puesto que, en la captación se inicia con 10 mg/L, durante el tratamiento se presenta 7 mg/L y finalmente, en la distribución el valor disminuye a 2,30 mg/L. Ante lo expuesto, Freire (2016) argumenta que, entre mayor contaminación exista en el agua, mayores serán los niveles de DBO en esta; con lo cual, se puede entender el hecho del porque la DBO fue disminuyendo durante el proceso de potabilización hasta llegar a un valor muy inferior que el presentado inicialmente. En este contexto, Muñoz *et al.* (2012) exponen que, un agua considerada pura debe tener un DBO entre 2 y 20 mg/L; pudiendo evidenciarse que, el valor en la etapa de distribución en este estudio se encuentra dentro del límite permisible antes señalado, con un resultado de 2,30 mg/L.

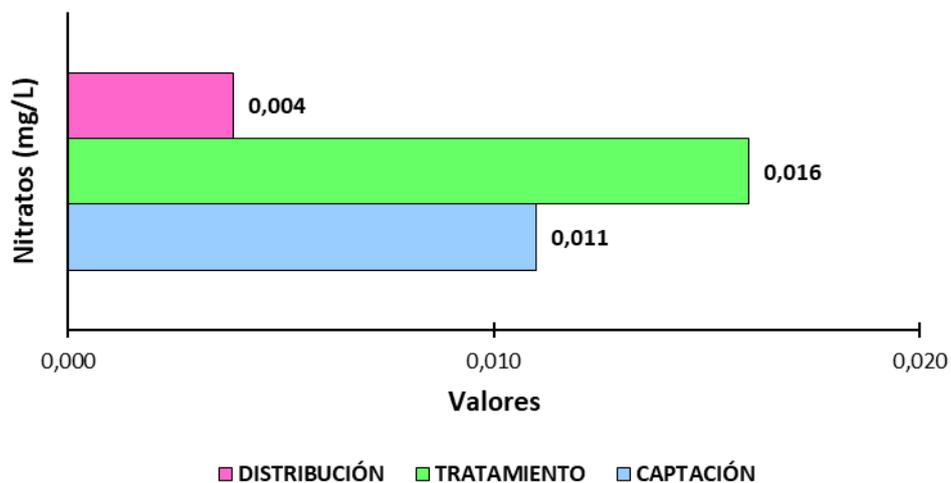
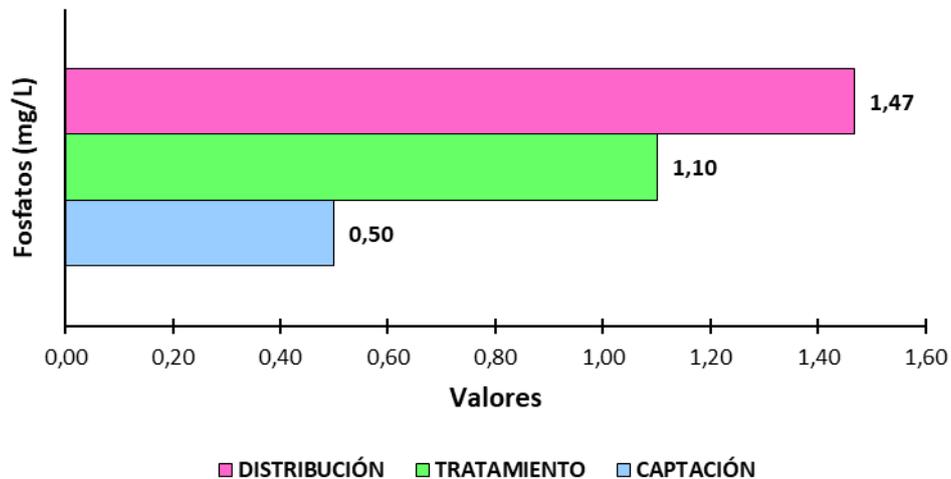


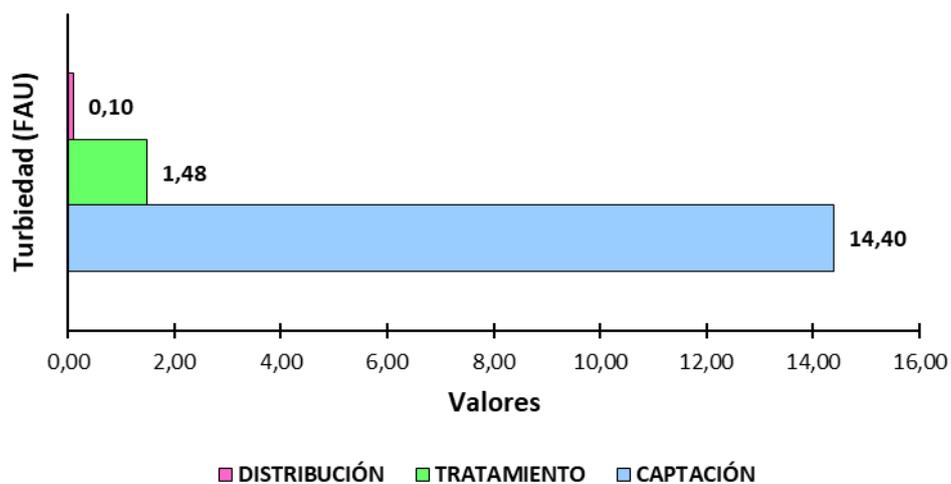
Gráfico 4.9. Representación en barras de los nitratos

De acuerdo al gráfico 4.9, sobre nitratos, se observa que, los valores varían entre etapas, teniendo un valor inicial en la captación de 0,011 mg/L; seguido por la etapa de tratamiento con un valor de 0,016 mg/L y finalmente, este dato disminuye en la etapa de distribución a un valor de 0,004 mg/L. Con estos resultados, se concluye que, todos estos datos se encuentran dentro del rango de aceptabilidad para los nitratos en agua potabilizada; ya que, según Muñoz *et al.* (2012) este puede tener un máximo de 10 mg/L. Cabe mencionar que, niveles altos de nitrato en el agua que es consumida por los seres humanos, pueden llegar a ocasionar efectos nocivos en su salud (García, 2013).



**Gráfico 4.10.** Representación en barras de los fosfatos

En cuanto al gráfico 4.10 de los fosfatos, se aprecia que, estos inician en la etapa de captación con un valor de 0,50 mg/L, dando paso a un valor mayor en la etapa de tratamiento con un 1,10 mg/L y seguidamente, también aumentado esta cantidad a 1,47 mg/L en la etapa de distribución. Los compuestos de fosfatos son nutrientes para las plantas y contribuyen al crecimiento de algas en aguas superficiales (Bolaños, Cordero y Segura, 2017). De acuerdo con Pütz (2010) los fosfatos a niveles altos pueden ocasionar eutrofización; siendo así que, solo basta 1 gramo de fosfato para producir alrededor de 100 gramos de algas. La misma autora manifiesta que, para considerarse un agua tratada, los fosfatos no deben exceder los 2 mg/L; y, como se puede ver en el gráfico antes expuesto, en ninguna de las etapas de potabilización se excede la cantidad establecida.



**Gráfico 4.11.** Representación en barras de la turbiedad

Respecto al parámetro de turbiedad, el gráfico 4.11 expuesto muestra valores muy diferentes entre las etapas estudiadas, en donde se puede observar un resultado inicial en la etapa de captación de 14,40 FAU; mientras que, en la etapa de tratamiento esta cantidad disminuye considerablemente a un 1,48 FAU; ya en la etapa final de distribución del agua, se muestra otra reducción de este valor que llega a un 0,10 FAU. Para Gonzáles (2011) la turbiedad es una propiedad del agua considerada un efecto óptico, la cual es ocasionada por la interferencia de los rayos solares que atraviesan el agua. Por otra parte, la OMS (2018) señala que, los niveles de turbidez en cualquier tipo de agua, especialmente la de consumo humano, no deben sobrepasar los 5 NTU (Unidad de Turbidez Nefelométrica); y, para ser un agua muy aceptable, la turbidez debe estar por debajo de 1 NTU.

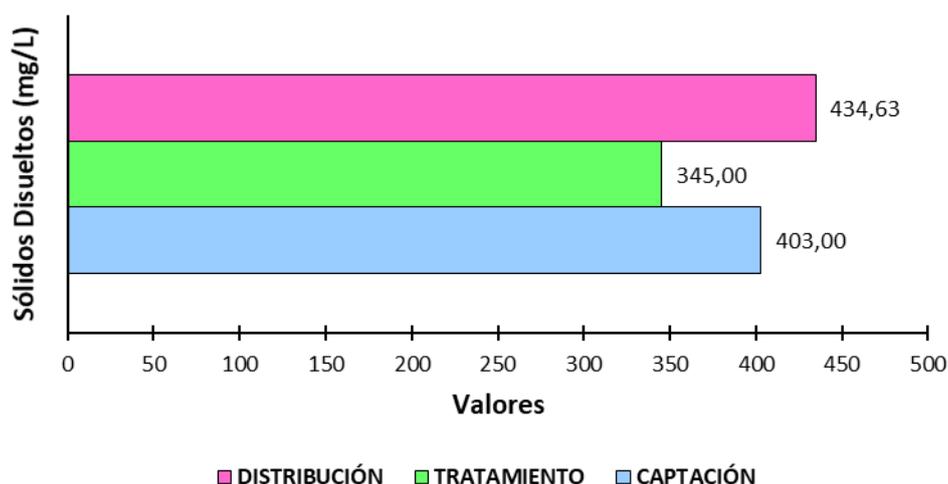


Gráfico 4.12. Representación en barras de los sólidos disueltos

En este apartado, se muestran los resultados de los sólidos disueltos presentes en el agua analizada por cada etapa de potabilización (gráfico 4.12); siendo así que, en la etapa de captación se generó un valor de 403 mg/L; seguido por la etapa de tratamiento que presentó un valor de 345 mg/L; por último, está la etapa de distribución en la que los sólidos disueltos aumentaron a un valor de 434,63 mg/L. En este contexto, Villanueva y Ávila (2019) expone que, entre los sólidos disueltos más comunes en el agua se encuentran: bicarbonato, calcio, nitrógeno, sulfato, hierro, entre otros; los cuales deben mantenerse en niveles adecuados para mantener la calidad del agua. Bajo este argumento, es importante señalar que, un agua considerable aceptable para el uso humano no debe sobrepasar

sus límites de sólidos disueltos que van desde 300 a 600 mg/L (Sánchez, 2017); por lo cual, se puede asegurar que, el agua analizada en esta investigación, se encuentra dentro del rango establecido para este parámetro.

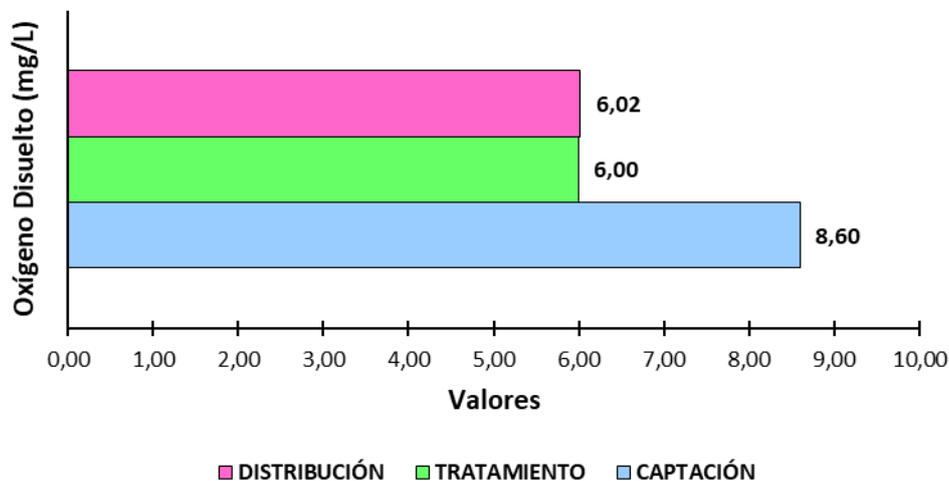
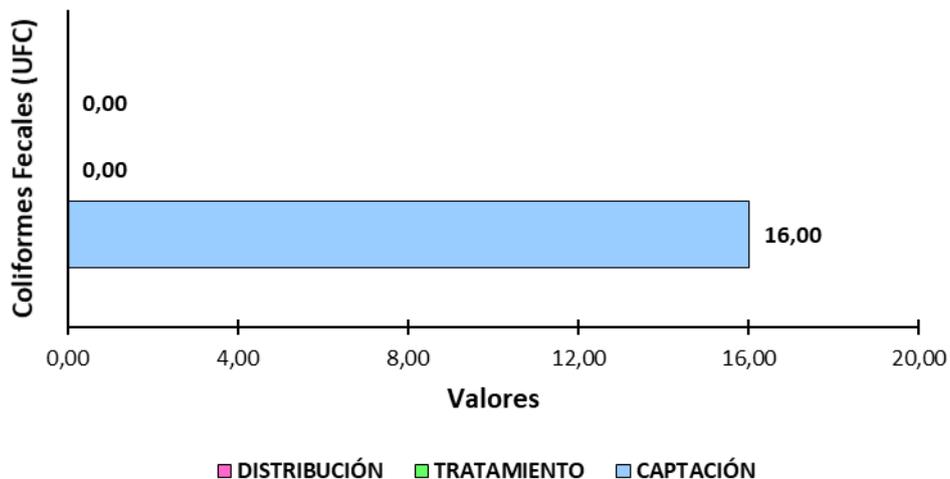


Gráfico 4.13. Representación en barras del oxígeno disuelto

En el gráfico 4.13 se muestran los valores de oxígeno disuelto obtenidos de los análisis del agua monitoreada, pudiendo apreciarse que, la etapa de captación es la que presenta un mayor dato con un 8,60 mg/L; sin embargo, este valor ya disminuye en las siguientes dos etapas: tratamiento 6 mg/L y distribución 6.02 mg/L, siendo estos valores muy similares entre sí. Para Cárdenas y Patiño (2010) el oxígeno disuelto es un factor esencial en la determinación de las condiciones anaeróbicas y aeróbicas del agua; su presencia en el agua depende del material orgánico que contenga esta, y generalmente, deben presentarse en bajas cantidades para considerarse que un agua está potabilizada. Por su parte, Boyd (2018) sostiene que, el agua debe mantener entre 5 a 6 mg/L sus niveles de oxígeno disuelto, para que esta pueda ser considerada aceptable.



**Gráfico 4.14.** Representación en barras de los coliformes fecales

El último parámetro analizado fue el de coliformes fecales, el cual muestra valores muy diferentes en el gráfico 4.14 antes expuesto. Como se puede apreciar, solo en la etapa de captación se genera un valor de 16 UFC; mientras que, en las etapas de tratamiento y distribución se presentaron valores iguales a 0 UFC. Con base a lo antes expuesto, se puede afirmar que, el agua analizada se encuentra apta para ser usada por la comunidad, ya que, no presenta valores de coliformes fecales en sus últimas dos etapas de potabilización; conociendo que, un valor significativo en este parámetro, representa una alta contaminación del agua, y, por ende, un posterior efecto perjudicial en la salud de las personas que hagan uso de la misma (Olivas *et al.*, 2011).

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- En la etapa de captación, la mayoría de los parámetros de las características fisicoquímicas y biológicas del agua analizada del cantón Rocafuerte se encuentran dentro del rango permitido por el TULSMA, a excepción del DBO<sub>5</sub> que sobrepasó el límite máximo, mientras que, en las etapas de tratamiento y distribución, los parámetros se encuentran dentro del límite permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2020 (sexta revisión).
- La calidad del agua en la etapa de captación aplicando la ecuación del ICA, dio un resultado de mediana calidad que alcanzó un valor de 67,06; por el contrario en la etapa de tratamiento y en las comunidades California, Guabital y Horcón (etapa de distribución), estas tuvieron resultados de buena calidad con valores que varían entre 71,36 a 78,01.
- Al analizar los ICA correspondientes a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cada etapa, estos presentaron una mínima variación en las etapas de tratamiento y distribución, a excepción del parámetro del DBO que tuvo una relevancia en relación al valor de ponderación ICA de 2,73 en la etapa de tratamiento y un valor de 7,23 en promedio de las comunidades en la etapa de distribución.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Inspeccionar y realizar análisis de forma constante en todos los procesos que se llevan a cabo en la planta, para que el agua que está siendo dotada a la ciudadanía se siga manteniendo dentro de los rangos permitidos por las normativas vigentes, además de implementar más equipos en el laboratorio para que se realicen todos los análisis correspondientes.
- Seguir mejorando los trabajos que se llevan a cabo en cada una de las etapas de la planta potabilizadora de agua, para que el agua que está siendo suministrada a la población tenga una calidad excelente y de esta forma no afecte en el consumo de los usuarios.
- Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos en las etapas de captación, tratamiento y distribución, muchas veces se ven influenciados por las deficiencias en las redes de abastecimiento, por ello, se deben hacer mantenimientos en los sistemas de distribución y en los reservorios de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACNUR (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados). (2014). Escasez de agua en el mundo: causas y consecuencias. Recuperado de [https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc\\_alt45664n\\_o\\_pstn\\_o\\_pst/](https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/)
- Agathoklis, C. y Symeon, C. (2017). Topological robustness and vulnerability assessment of water distribution networks. *Water Resources Management*, 31(12), 4007-4021.
- Alcántara, J. y Cázares, I. (2014). Análisis microbiológico de la calidad del agua de ciudad Nezahualcóytl, acorde a la Norma Oficial Mexicana Nom-127-SSA1-1994 .Recuperado de <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/619.pdf>
- American Health Association (APHA). (2015). Standard Methods for the examination of water and wastewater. Ed. Elsevier, New York, USA.
- Arizaga, J. (2016). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Vinces (tesis de maestría). Universidad de Guayaquil
- Arrieta, M., Hostia, E. y Noriega, D. (2020). Planta piloto potabilizadora de agua. Universidad del Norte, Colombia.
- Barrau, F. y España, C. (2019). Calidad de agua potable en Bolivia. *Calidad del Agua en las Américas*. México.
- Barrera, M. (2011). Diseño del sistema de agua potable por gravedad y bombeo en la aldea Joconal y escuela primaria en la aldea Campanario Progreso, municipio de la Unión, departamento de Zacapa (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Bolaños, J., Cordero, G. y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre. *Revista de Tecnología en Marcha*, 30 (4), 15-27.

- Boyd, C. (2018). Dinámica del oxígeno disuelto. Recuperado de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>
- Bravo, C. y Valencia, D. (2019). Abastecimiento de aguas no convencionales en el municipio de Mosquera-Nariño. *Boletín Informativo CEI*, 6 (3), 145-146.
- Bruni, M. y Spuhler, D. (2018). Bombeo de agua motorizado. Recuperado de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/distribucion/bombeo-de-agua-motorizado>
- Beguiría, S. (2017). El agua. Sus características y propiedades. Recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>
- Camacho, M. (2014). Control y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo del cantón Caluma – provincia de Bolívar (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Carrillo, M. y Urgilés P. (2016). Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.
- Cárdenas, D. y Patiño, F. (2010). Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad de Tutucán, cantón Paute, provincia de Azuay (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.
- Castellanos, L. (2017). Metodología de la investigación. Recuperado de <https://lcmetodologiainvestigacion.wordpress.com/2017/03/02/tecnica-de-observacion/#:~:text=La%20t%C3%A9cnica%20de%20observaci%C3%B3n%20es,para%20una%20investigaci%C3%B3n%20%5BCreceNegocios%5D>.
- CEUPE (Centro Europeo de Postgrado). (2019). Coagulación y Floculación. Recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/coagulacion-y-floculacion.html>

- Chang, J. (2010). Calidad de agua. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral
- CIDBIMENA (Centro de Información Sobre Desastres Y Salud). (2004). Sistemas de agua potable y saneamiento utilizados en el ámbito rural. Recuperado de [http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/ImpactoDesastresAguaRural/ImpactoDesastresAguaRural\\_cap2.pdf](http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/ImpactoDesastresAguaRural/ImpactoDesastresAguaRural_cap2.pdf)
- Comité de Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. (2002). Informe sobre los períodos de sesiones vigésimo octavo y vigésimo noveno. p. 133
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). (2016). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf)
- Durán, J. y Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral*, 12 (36), 129-162.
- Echeverría, K. (2020). Características fisicoquímicas y biológicas en el agua potable que deben controlarse. Recuperado de <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisicos-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
- EMAPAD-EP (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán). (2019). Estaciones de bombeo. Recuperado de <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/126-que-son-estaciones-de->
- EMAPAD-ED (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán). (2019). Reservorios de Agua. Recuperado de <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/121-reservorios-de-agua>
- Enciclopedia Ambiental Ambientum. (2018). Características físicas y organolépticas. Recuperado de

[https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/caracteristicas\\_fisicas\\_y\\_organolepticas.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/caracteristicas_fisicas_y_organolepticas.asp)

Enciclopedia Ambiental Ambientum. (2018). Determinación de cloruro. Recuperado de [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_de\\_cloruro.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_cloruro.asp)

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2017). Floraciones de algas nocivas y el agua potable. Recuperado de [https://espanol.epa.gov/sites/production-es/files/2017-05/documents/052217\\_spanish\\_011\\_epa\\_cyanotoxins-factsheet\\_long\\_110116.pdf](https://espanol.epa.gov/sites/production-es/files/2017-05/documents/052217_spanish_011_epa_cyanotoxins-factsheet_long_110116.pdf)

EPAPAR (Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Rocafuerte). (2020). Diagrama de flujo de la planta potabilizadora

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1994). Recolección y almacenamiento de datos. Recuperado de <http://www.fao.org/3/u1310s/u1310s07.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). Captación y almacenamiento de agua lluvia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>

Fernández, M. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51 (2), 70-73.

Ferro, P., Ferró, F. y Ferró, L. (2019). Distribución temporal de las enfermedades diarreicas agudas, su relación con la temperatura y cloro residual del agua potable en la ciudad de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21 (1), 69-80.

Freire, N. (2016). Demanda bioquímica de oxígeno. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6165/2/DBO%20-%20SS%20-%20SD.pdf>

- Fundación Aquae. (2020). Agua purificada: procesos de purificación y propiedades. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/filtrado-agua/>
- GADMR (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rocafuerte). (2014). PD y OT. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1360001360001\\_1360001360001%20PDyOT-GAD%20ROCAFUERTE%20Version%20II\\_20-02-2015\\_22-06-48.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360001360001_1360001360001%20PDyOT-GAD%20ROCAFUERTE%20Version%20II_20-02-2015_22-06-48.pdf)
- García, C. (2013). Parámetros físico-químicos del agua. *Revista Albeitar*, 11, 48-50.
- González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. Recuperado de <https://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- HACH Company. (2000). Manual de análisis de agua. Loveland: HACH Company edition.
- Hernández, E. y Corredor, C. (2017). Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia.
- Herrera, E. (2017). Potabilización de agua con un sistema ecológico solar. *Indagare*, (5), 42-43.
- Ibarrarán, M., Mendoza, A., Pastrana, C. y Manzanilla, E. (2017). Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. *Región y sociedad*, 29 (69), 89-125.
- Idrovo, C. (2010). Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.
- Inmobiliaria. (2019). Parque Histórico de Guayaquil. Guayaquil.
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E. y Ochoa, T. (2019). Calidad del agua en Ecuador. *Calidad del Agua en las Américas*. México.

- Lárraga, B. (2016). Diseño del sistema de agua potable para Augusto Valencia, cantón Vinces, provincia de Los Ríos (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- LENNTECH. (s.f). Los sulfatos. Recuperado de <https://www.lenntech.es/sulfatos.htm>
- López, K. (2019). Determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta mediante la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador.
- Lossio, M. (2012). Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Perú.
- MAE (Ministerio de Ambiente Ecuador). (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Recuperado de [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf)
- Mendoza, E. (2011). El proceso de desarenado. Recuperado de <https://es.slideshare.net/EmilyDanielaMendozaCarlos/el-proceso-de-desarenado>
- MSCBS (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social). (2018). Agua de consumo humano. Recuperado de <https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/consumoHumano.htm>
- Montero, M., Vela, L., Arevalo, R. y Alarcón, C. (2019). Identificación de los riesgos laborales en espacios confinados de los reservorios de agua potable. *RECIAMUC*, 2 (2), 612-623.
- Morán, S. (2017). El agua que no preocupa a los candidatos. Recuperado de <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/el-agua-que-no-preocupa-candidatos>

- Muñoz, H., Suárez, J., Vera, A., Orozco, S., Batlle, J., Ortiz, A. y Mendiola, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapán, México. *Revista Interamericana de Contaminación Ambiental*, 28 (1), 27-38.
- Nuevo, D. (2018). Cloración en tratamientos de agua. Recuperado de <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>
- Olivas, E., Flores, J., Serrano, M., Soto, E., Iglesias, J., Salazar, E. y Fortis, M. (2011). Indicadores fecales y patógenos en agua descargada en el río Bravo. *Revista Terra Latinoamericana*, 29 (4).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2002). Agua para la salud: un derecho humano. Recuperado de <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/pr91/es/>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2013). Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2017). Calidad del agua potable. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018). Turbidez en la calidad del agua potable. Recuperado de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2019). Agua. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU-DAES. (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas). (2014). El derecho humano al agua y al saneamiento. Recuperado de

[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)

ONU-DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas). (2014). Calidad del agua. Recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). El agua, fuente de vida. Recuperado de <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>

Orellana, J. (2005). Características del agua potable. Recuperado de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)

Osejos, A., Merino, J., Ponce, O. y Cañarte, L. (2018). Análisis del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Jipijapa (Manabí-Ecuador) año 2015. *SATHIRI*, 13 (2), 152-165.

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35 (1), 227-232.

Payeras, A. (2015). Parámetros de calidad de las aguas de riego. Recuperado de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>

Peñaherrera, M. (2004). Influencia química y microbiológica de las aguas del río guayas sobre la calidad de las aguas del río Daule, en la zona de la toma de agua potable durante los meses de octubre, noviembre y diciembre año 2001 (tesis doctoral). Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Químicas.

Pérez, L. (2018). Captación de ríos, lagos y embalses. Recuperado de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>

- Pradillo, B. (2016). Parámetros de control del agua potable. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Pico, O. (2017). Inician campaña para evaluar la calidad de agua en Manabí. Recuperado de <https://www.agua.gob.ec/en-manabi-inician-campana-para-evaluar-la-calidad-del-agua/>
- Pimienta, R. (2000). Encuestas probabilísticas vs no probabilísticas. *Política y cultura*, (13), 263-276.
- Pulido, H. y Carrillo, M. (2016). Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la vereda de San Antonio de Anapoima (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia.
- Pütz, P. (2010). Eliminación y determinación de fosfatos. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- Quispe, J. (2019). Diseño y análisis de plantas potabilizadoras de agua para consumo humano, en el centro poblado de Balsapata (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.
- Raigoso, N. y Hernández, M. (2018). Diseño del plan de mejoramiento de la planta de potabilización del acueducto comunitario de la vereda Agualinda Chiguaza (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Rendón, M. (2019). Evaluación comparativa de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad de Balsa en Medio (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López, Ecuador.
- Reyes, M. y Rubio, J. (2014). Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia.

- Ríos, S., Agudelo, M. y Gutiérrez, A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35 (2), 236-247.
- Rodríguez, C., Asmundis, L., Ayala, T. y Arzú, R. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista veterinaria*, 29 (1), 9-12.
- Rodríguez, S., Hernández, G. y Barreto, L. (2020). Abastecimiento comunal por bombeo sin tratamiento. Recuperado de <https://sswm.info/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-abastecimiento-de-agua/sistemas-de-abastecimiento-de/abastecimiento-comunal-por-bombeo-sin-tratamiento>
- Salazar, V., Viteri, C. y Suarez, L. (2018). Características físicas, químicas y microbiológicas del agua de consumo en las comunidades de Barcelona, Sinchal, Valdivia y San Pedro de la Parroquia Manglaralto. Provincia de Santa Elena. *RECIAMUC*, 2 (1), 690-713.
- Sánchez, D. (2017). *Calidad del agua*. Boletín científico.
- Sánchez, M. (2019). Propuesta de fitorremediación para coliformes fecales utilizando la especie *Schoenoplectus californicus* en la Comunidad de Illangama de Guaranda, provincia Bolívar (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil.
- SAMSA (Servicios de Aguas de Misiones S.A.). (2008). Proceso de Potabilización del Agua. Recuperado de [http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n\(Sansa\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n(Sansa).pdf)
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). (2012). Índice de calidad del agua general "ICA". Recuperado de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías*, 8 (15), 79-94

- Torres, M., Paz, K. y Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 2, 1-13.
- Universidad de Pamplona. (2019). Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial.
- Villacis, K. (2018). Evaluación de la línea de conducción del sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Rumiñahui (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Villanueva, M. y Ávila, J. (2019). Análisis de la calidad de agua de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de aguas lluvia (tesis pregrado). Universidad Católica de Colombia.
- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 304-308.
- Zarza, L. (2019). Potabilización del agua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/como-se-potabiliza-agua>
- Zarza, L. (2020). Características físicas y químicas del agua. Recuperado de <https://www.iagua.es/respuestas/cuales-son-caracteristicas-fisicas-y-quimicas-agua>

# **ANEXOS**

**ANEXO 1.** Entrevista realizada al gerente de la empresa de agua del cantón Rocafuerte



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
“MANUEL FÉLIX LÓPEZ”**

**CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN CON EL TEMA: “CALIDAD DEL AGUA DE  
CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN  
ROCAFUERTE, MANABÍ”**

Las siguientes preguntas tienen como finalidad recolectar más información para conocer detalladamente lo que se lleva a cabo en la planta potabilizadora de agua

1. ¿Cuáles son los procesos que se llevan a cabo en la planta potabilizadora de agua?
2. ¿Qué se realiza en cada uno de los procesos en la planta?
3. ¿Cuántos m<sup>3</sup> de agua son captados?
4. ¿Cómo se lleva a cabo la etapa de tratamiento?
5. ¿Cuántas y cuáles son las comunidades a las que se le distribuye agua?
6. ¿Cuántos m<sup>3</sup> de agua son dotados a la ciudadanía diariamente?
7. ¿Cuántos días se distribuye el agua en las comunidades del cantón?

## ANEXO 2. Resultados de los análisis físicoquímicos en la etapa de distribución de la planta potabilizadora de agua



### INFORME TÉCNICO

Informe de Ensayo	
Datos de Cliente	
ADE_ETL_20200827-02	
<b>Cliente:</b>	Planta de tratamiento de agua potable "Rocafuerte"
<b>Dirección:</b>	Cantón Rocafuerte, Provincia de Manabí
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Danny Meza
<b>Muestreado por:</b>	Luis E. Seijas
<b>Fecha muestreo:</b> 26/08/2020	<b>Lugar muestreo:</b> PTAP-ROCAFUERTE
<b>Fecha de análisis:</b> 27/08/2020	<b>Reporte final:</b> 28/08/2020
NOTA: este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.	

Datos de la Muestra					
<b>Tipo:</b>	Agua Tratada	<b>Cantidad:</b>	1 Litro	<b>Envase:</b>	Plástico cerrado lleno
<b>Identificación de la muestra:</b> Salida agua tratada.					
Resultados					
Parámetros	Método	Unidad	resultados	(+)U	Contraste †
Color Aparente	SM2120_C	U.C. Pt-Co	8,00	0,02	15
Turbiedad	MH8237	U.N.T	1,89	0,03	5
Cloro libre**	MH8021	mg/L	0,10	0,03	0,3—1,5
Cloro total**	MH8021	mg/L	0,36	0,03	N.N.
pH*	MT2312	---	7,46	0,02	6,5—8,0
Sulfatos	MH8051	mg/L	98	--	N.N.
Fosforo-reactivo	MH8048	mg/L	0,31	0,03	N.N.
Nitratos	MH8039	mg/L	0,6	0,1	50,0
Aluminio residual	MH8012	mg/L	0,075	0,004	N.N.
Cobre	MH8506	mg/L	0,01	0,01	2,00
Hierro	MH1049	mg/L	0,00	0,01	0,30
Manganeso	MH8149	mg/L	0,021	0,002	N
Fluoruro	MH10225	mg/L	0,67	0,02	1,50
Conductividad	INLADE012/SM2510_B	µS/cm	610,8	0,1	N.N.
Dureza total	MH10293	mg/L	222,3	0,4	N.N.
Las opiniones / interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de nuestro laboratorio.					
Notas:					
(±)U Incertidumbre. U EXPANDIDA, basada en un nivel de confianza de K = 2 (95%)					
N.N.: No normado					
† Límites máximos establecidos por:					
Norma Técnica Ecuatoriana, NTE-INEN 1108 (sexta revisión) 2020-04					
Tabla. 1 Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano					
*Tabla B.1 Rango de pH del agua para consumo humano					
** La medida de Cloro Libre y Cloro Total se realizaron al momento de tomar la muestra.					
N.N. = No normado					

Elaborado por:

Ing. Alfredo Quintero  
Asistente de Laboratorio

Revisado por:

Lcdo. Luis Eduardo Seijas, Ph.D.  
Jefe de Laboratorio

Departamento Químico,  
ADE, Cía. Ltda

DIRECCION: TRECE DE MAYO Y VILLALOBOS S/N (VIA A BAÑOS SECTOR COLEGIO BORJA)  
TELEFONO: 074187517 - 0999524674  
[ademportecusador@gmail.com](mailto:ademportecusador@gmail.com)  
CUENCA - ECUADOR

Página 1 de 1

## ANEXO 2. Resultados de los análisis microbiológicos en la etapa de distribución de la planta potabilizadora de agua



### INFORME TÉCNICO

Informe de Ensayo Datos de Cliente ADE ETL 20200827-01	
<b>Cliente:</b>	Planta de tratamiento de agua potable "Rocafuerte"
<b>Dirección:</b>	Cantón Rocafuerte Provincia de Manabí
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Danny Meza.
<b>Muestreado por:</b>	Luis E. Seijas
<b>Fecha muestreo:</b> 26/08/2020	<b>Lugar muestreo:</b> PTAP-ROCAFUERTE
<b>Fecha de análisis:</b> 28/08/2020	<b>Reporte final:</b> 28/08/2020
NOTA: este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.	

Datos de la Muestra						
<b>Tipo:</b>	Agua Tratada	<b>Cantidad:</b>	1 Litro	<b>Envase:</b>	Plástico cerrado lleno	
<b>Identificación de la muestra:</b> Salida agua tratada.						
Parámetros		Método	Unidad	resultados	(+) <b>U</b>	Contraste †
Coliformes Fecales		Standard Methods).	UFC	AUSENCIA	----	-----
THM*		MH10132	mg/L	0,064	0,005	0,3
Las opiniones / interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de nuestro laboratorio.						
Notas:						
(±)U Incertidumbre. U EXPANDIDA, basada en un nivel de confianza de K = 2 (95%)						
N.N.: No normado						
† Anexo D tabla D1 subproducto de desinfección, Norma INEN 1108-2020-04 (sexta revisión)						
*Trihalometano medido como mg/L de cloroformo.						
N.N. = No normado						

Elaborado por:

Ing. Alfredo Quintero  
Asistente de Laboratorio

Revisado por:

Lcdo. Luis Eduardo Seijas, Ph.D.  
Jefe de Laboratorio

Departamento Químico,  
ADE, Cía. Ltda

ANEXO 3. Resultados de los análisis de DBO<sub>5</sub> realizados en la UDLA

		RESULTADO DE ANÁLISIS DBO <sub>5</sub>							
Nombre del Solicitante:		Yanira Palacios							
Fecha de entrega de muestras:		8/10/2020							
Fecha de análisis:		8/10/2020							
Condiciones de muestra:		Las muestras fueron entregadas en botellas de vidrio en cadena de frío a 4°C.							
Preparación de muestra:		Se colocó volumen respectivo de cada una de las muestras en las botellas para la determinación de DBO <sub>5</sub>							
Técnica utilizada:		OXI-TOP							
Límite máximo permisible*:		2,0 mg O <sub>2</sub> /L							
Responsable del análisis:		Genoveva Granda							
		RESULTADOS DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L							
MUESTRA	VOLUMEN	DILUCIÓN	D/a 1	D/a 2	D/a 3	D/a 4	D/a 5	DBO mgO <sub>2</sub> /L	
Muestra Tratamiento	432 ml	1	4	6	7	7	7	7	
Muestra Captación	432 ml	1	4	4	8	8	10	10	
C1	432 ml	1	0	0	2	2	5	5	
C2	432 ml	1	0	0	0	1	3	3	
C3	432 ml	1	0	0	1	1	4	4	
C4	432 ml	1	0	0	0	2	2	2	
C5	432 ml	1	0	0	0	1	2	2	
C6	432 ml	1	0	0	0	0	2	2	
C7	432 ml	1	0	0	0	4	4	4	
C8	432 ml	1	0	0	0	1	3	3	
C9	432 ml	1	0	0	0	1	1	1	
C10	432 ml	1	0	1	2	2	3	3	
G1	432 ml	1	0	0	0	0	2	2	
G2	432 ml	1	0	0	1	2	3	3	
G3	432 ml	1	0	1	1	2	2	2	
G4	432 ml	1	0	1	2	2	4	4	
G5	432 ml	1	0	1	1	4	4	4	
H1	432 ml	1	0	0	0	1	1	1	
H2	432 ml	1	0	0	0	1	1	1	
H3	432 ml	1	0	0	0	0	1	1	
H4	432 ml	1	0	0	0	0	1	1	
H5	432 ml	1	0	0	0	0	1	1	

Observaciones:

\* Acorde a la Tabla 1 Tulsma: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

**ANEXO 4.** Certificado de la realización de los análisis fisicoquímicos en el laboratorio de la ESPAM MFL



**ESPAMMFL**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

**LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL Y SUELOS**

**CERTIFICACIÓN**

Por medio de la presente certifico que **MARCILLO RIVAS INGRID LICETH** con CI **2300711492** Y **PALACIOS COVEÑA YANIRA GHUSLAYNE** con CI **1314860543** egresadas de la carrera de Ing. Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL", realizaron los análisis físicos-químicos (pH, nitratos, fosfatos, Temperatura, turbidez, solidos disuelto totales y oxígeno disuelto ) para llevar a cabo el proyecto de titulación **"CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO EN EL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ"**

Prácticas que estuvieron supervisadas bajo el personal del laboratorio Química Ambiental y Suelos

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente



*Fabián Peñarrieta Masías*

ING. FABIÁN PEÑARRIETA MASÍAS, MG.

**TÉCNICO**

**ANEXO 5.** Certificado de la realización de los análisis microbiológicos en el laboratorio de la EPMAPAJ

 GOBIERNO MUNICIPAL DE  
**JAMA**

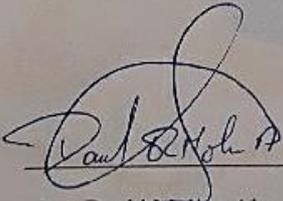
 **EPMAPAJ**  
EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL  
DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE JAMA

## CERTIFICACIÓN

Mediante el presente escrito se Certifica que las estudiantes **Marcillo Rivas Ingrid Liceth** y **Palacios Coveña Yanira Ghuslayne**, estudiantes del Decimo Semestre de la Carrera de Medio Ambiente de la UNIVERSIDAD ESPAM MFL, desempeñaron y realizaron las actividades y tareas en el Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Jama correspondiente a su trabajo de Titulación, entre los días 19,20 y 21 de Octubre de 2020.

Certificado que se expide a petición de las interesadas, en Jama, a los 27 días del mes de Octubre de 2020.

Cordialmente,



Ing. David Molina Alvarado  
**JEFE DE PLANTA DE TRATAMIENTO Y MEDIO AMBIENTE  
DE LA EPMAPAJ**



Dirección: Av. Fabian Alarcon y Calle Leandro Medina. (Esquina)  
Teléfonos: (052) 410 013

**ANEXO 6.** Registro fotográfico en la planta potabilizadora de agua**Imagen 1.** Punto de captación del agua**Imagen 2.** Punto de tratamiento**ANEXO 7.** Toma de datos in-situ en la etapa de captación**Imagen 3.** Resultado de turbiedad in-situ en captación**Imagen 4.** Resultado de oxígeno disuelto in-situ en captación

**ANEXO 8. Registro fotográfico en las comunidades**

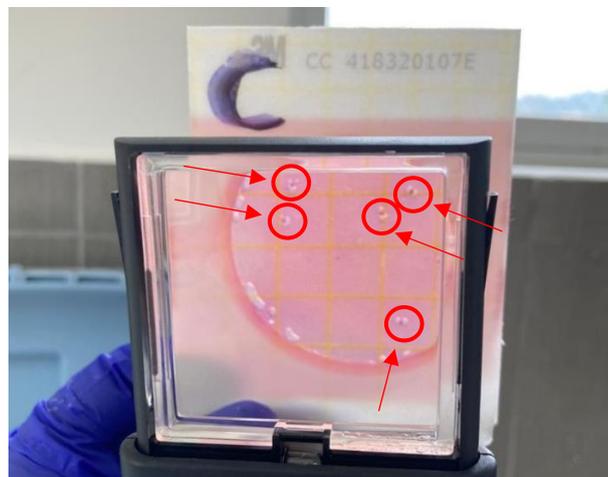
**Imagen 5.** Recolección de muestras en la comunidad El Guabital



**Imagen 6.** Recolección de muestras en la comunidad La California



**Imagen 7.** Recolección de muestras en la comunidad El Horcón

**ANEXO 9. Registro fotográfico del laboratorio****Imagen 8. Toma de datos de los parámetros fisicoquímicos****Imagen 9. Análisis y determinación de Coliformes Fecales****Imagen 10. Unidades formadoras de colonias de Coliformes Fecales en la muestra de captación**