



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Bioquímica y Farmacia

“Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar”

Tesis previa a la obtención del título
de Bioquímica Farmacéutica.

Autoras:

Erika Dennis Chica Minchala

CI: 0104896543

dennis.96@hotmail.es

Sisa Pakari Chimborazo Angamarca

CI: 0302362785

sisapakari.ch@hotmail.com

Directora:

Dra. MSc. Silvana Patricia Donoso Moscoso

CI: 0102590569

Asesor:

Dr. MSc. Wilson Giovanni Larriva

Cuenca – Ecuador

22-mayo-2020



RESUMEN

El agua constituye el recurso más importante del planeta Tierra, siendo vital para el desarrollo económico y social de los países a nivel mundial. Se considera como uno de los recursos naturales fundamentales para el desarrollo de la vida. Por sus múltiples usos, el aprovisionamiento de agua para uso doméstico es el más exigente, en términos de calidad y suministro (Cava & Ramos, 2016) (Cirelli, 2012).

El presente trabajo de titulación se realizó con el objetivo de analizar la calidad del agua potable que se distribuye en la comunidad rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, perteneciente al Cantón y Provincia de Cañar, con la medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos; y en base a los resultados obtenidos contrastar con los requisitos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización "INEN" 1108:2020 y por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú.

El total de muestras de agua analizadas fueron 69, siendo seleccionadas aleatoriamente en las tres zonas de estudio.

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos se efectuaron durante 12 semanas entre los meses de Diciembre de 2019, Enero y Febrero de 2020, en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y Suelos de la Universidad de Cuenca – Campus Balzay, a excepción de Cloro libre residual y el pH, que se determinaron in-situ, con ayuda de los equipos Colorimeter DR/890 y Water Quality Meter 850081 respectivamente.

En el análisis de datos se aplicaron dos tipos de estudio: descriptivo y estadístico, mediante el programa Microsoft Excel 2013. A partir de los resultados obtenidos se evidenció que los parámetros fisicoquímicos cumplen con las normas de referencia, a excepción del Cloro libre residual en las tres zonas de estudio y el pH principalmente en la zona baja.

En cuanto a los parámetros microbiológicos se observó crecimiento de 4 NMP/100 mL de Coliformes totales en dos muestras de la zona baja y una total negatividad para Coliformes fecales en todas las zonas de estudio.

Palabras clave: Agua potable, Calidad de agua, Sisid Anejo.



ABSTRACT

Water constitutes as the most important resource for planet earth, being vital for the global economic and social development. It is considered as one of the fundamental natural resources for life development. Because of it is multiple uses, the provisioning of water for domestic use is the most demanding, in terms of quality and supply (Cava & Ramos, 2016) (Cirelli, 2012).

The present degree work was carried out with the objective of analyzing the quality of drinking water that is distributed in the rural community of Sisid Anejo, of Ingapirca Parish, belonging to the Canton and Province of Cañar, with the measurements respective parameter of physical, chemical and microbiological; and based on the obtained results, make a contrast with the established requirements by the Ecuadorian Institute of Normalization "INEN" 1108:2020 and by the Regulation of the Quality of Water for the Human Consumption of Peru.

The total of water samples analyzed were 69, which were randomly selected into the three zones of study.

The physical, chemical and microbiological analyzes were carried out for 12 weeks between the months of December 2019, January and February 2020, at the Laboratory of Analysis for Quality of the Water and Soil at the University of Cuenca -Balzay Campus, with the exception of chlorine residual and the pH that were determined in situ with the help of the Colorimeter DR 1890 and Water Quality Meter 850081 equipment, respectively.

In the data analysis, two types of study were applied: descriptive and analytic using the Microsoft Excel 2013 program. Based the obtained results it was evident that the parameters physiochemical meet with the reference standards, with exception of the free chlorine residual in the three study zones and the pH mainly in the low zone.

Regarding the microbiological parameters, growth of 4 NMP/100 mL of total Coliforms was observed in two samples of the low zone, and a total negativity for fecal Coliforms in all the study areas.

Key words: Drinking water, Water quality, Sisid Anejo



ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| ÍNDICE GENERAL | 4 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS | 8 |
| ÍNDICE DE ANEXOS | 9 |
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS | 19 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 1.1 GENERALIDADES | 20 |
| 1.1.1 <i>Composición y estructura</i> | 21 |
| 1.1.2 <i>Ciclo hidrológico</i> | 21 |
| 1.1.3 <i>Fuentes de agua</i> | 22 |
| <input type="checkbox"/> Agua de mar | 22 |
| <input type="checkbox"/> Agua subterránea | 22 |
| <input type="checkbox"/> Agua superficial | 23 |
| 1.1.4 <i>Tipos de agua</i> | 23 |
| <input type="checkbox"/> Agua cruda | 23 |
| <input type="checkbox"/> Agua tratada | 23 |
| <input type="checkbox"/> Agua de consumo humano | 23 |
| 1.2 CALIDAD DEL AGUA | 23 |
| 1.3 PARÁMETROS FÍSICOS | 24 |
| 1.3.1 <i>Color:</i> | 24 |
| 1.3.2 <i>Turbidez</i> | 25 |
| 1.4 PARÁMETROS QUÍMICOS | 25 |
| 1.4.1 <i>Cloro libre residual</i> | 25 |
| 1.4.2 <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> | 26 |
| 1.4.3 <i>Nitritos y nitratos</i> | 26 |
| 1.5 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS | 27 |
| 1.5.1 <i>Coliformes totales y fecales</i> | 27 |



| | |
|---|----|
| 1.6 POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA | 29 |
| 1.6.1 <i>Fases de potabilización en la comunidad Sisid Anejo</i> | 30 |
| <input type="checkbox"/> Captación | 30 |
| <input type="checkbox"/> Desinfección..... | 32 |
| Química de la cloración..... | 33 |
| Cloración en la Comunidad Sisid Anejo | 34 |
| <input type="checkbox"/> Almacenamiento..... | 35 |
| 2. METODOLOGÍA | 36 |
| 2.1 TIPO DE ESTUDIO | 36 |
| 2.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO | 36 |
| 2.3 MUESTREO Y TAMAÑO DE MUESTRA | 37 |
| 2.4 CRITERIO DE RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS | 38 |
| 2.5 CARACTERÍSTICAS DE RECOLECCIÓN | 39 |
| 2.6. TOMA DE MUESTRAS | 40 |
| <input type="checkbox"/> <i>Tanque de Almacenamiento</i> | 40 |
| <input type="checkbox"/> <i>Toma de muestras en los inmuebles</i> | 40 |
| 2.7 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS | 41 |
| 2.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE LABORATORIO | 42 |
| 2.8.1 Parámetros físicos | 42 |
| <input type="checkbox"/> Color aparente: Método de comparación visual | 42 |
| <input type="checkbox"/> Turbiedad: Método nefelométrico | 43 |
| 2.8.2 Parámetros químicos | 44 |
| <input type="checkbox"/> Cloro libre residual: Método colorimétrico de la N, N-dietil-p-fenilen-diamina (DPD). | 44 |
| <input type="checkbox"/> Potencial de Hidrógeno (pH): Método potenciométrico | 45 |
| <input type="checkbox"/> Nitritos: Método de diazotización | 46 |
| <input type="checkbox"/> Nitratos: Método de reducción de cadmio | 47 |
| 2.8.3 Parámetros microbiológicos | 48 |
| <input type="checkbox"/> Coliformes totales y fecales: Mediante la técnica de Fermentación en tubos múltiples (NMP) | 48 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 51 |
| 3.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA. | 51 |



| | |
|---|-----------|
| 3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO, <i>COLIFORMES TOTALES Y FECALES</i> , DEL AGUA DE LOS INMUEBLES..... | 60 |
| 3.3 DISCUSIONES | 61 |
| 4. CONCLUSIONES | 64 |
| 5. RECOMENDACIONES | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA | 66 |
| GLOSARIO | 71 |
| ANEXOS..... | 72 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Requisitos físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable..... | 28 |
| Tabla 2. Distribución mensual de muestreo | 38 |
| Tabla 3. Distribución semanal de muestreo. | 38 |
| Tabla 4. Tabla de resultados de estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos del agua de los inmuebles de la ZA, ZI y ZB. | 52 |
| Tabla 5. Análisis estadístico del Color..... | 53 |
| Tabla 6. Análisis estadístico de la Turbiedad. | 54 |
| Tabla 7. Análisis estadístico del Cloro libre..... | 56 |
| Tabla 8. Análisis estadístico del pH. | 57 |
| Tabla 9. Análisis estadístico de Nitritos..... | 58 |
| Tabla 10. Análisis estadístico de Nitratos..... | 59 |
| Tabla 11. Análisis estadístico de Coliformes Totales. | 60 |
| Tabla 12. Análisis estadístico de Coliformes Fecales..... | 60 |



ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Gráfico en dispersión lineal para resultados de color aparente frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020.. | 53 |
| Gráfico 2. Gráfico en dispersión lineal para resultados de turbiedad frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020. | 54 |
| Gráfico 3. Gráfico en dispersión lineal para resultados de cloro libre frente al valor máximo y mínimo permitido por la NTE INEN 1108:2020.. | 56 |
| Gráfico 4. Gráfico en dispersión lineal para resultados de pH frente al valor máximo y mínimo permitido por la NTE INEN 1108:2020..... | 57 |
| Gráfico 5. Gráfico en dispersión lineal para resultados de nitritos frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020.. | 58 |
| Gráfico 6. Gráfico en dispersión lineal para resultados de nitratos frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020.. | 59 |
| Gráfico 7. Gráfico en pastel para la relación en porcentajes de agua apta y no apta para su consumo de acuerdo a la NTE INEN 1108:2020 y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú. | 61 |



ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo A. Fotografía ubicación de las 6 captaciones subterráneas..... | 72 |
| Anexo B. Tabla de Número Más Probable (NMP) de Bacterias, sembrando tres tubos por cada dilución (10 ml, 1,0 ml, 0,1ml)..... | 73 |
| Anexo C. Tabla de resultados | 74 |
| Anexo D. Manual del equipo CLORID L-60. | 77 |
| Anexo E. Registro fotográfico de toma de muestras, técnicas y procedimientos. | 82 |



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Erika Dennis Chica Minchala en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de Mayo de 2020

Erika Dennis Chica Minchala

C.I: 0104896543



Cláusula de Propiedad Intelectual

Erika Dennis Chica Minchala, autora del trabajo de titulación "Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 22 de Mayo de 2020

Erika Dennis Chica Minchala

C.I: 0104896543



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Sisa Pakari Chimborazo Angamarca en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de Mayo de 2020



Sisa Pakari Chimborazo Angamarca

C.I: 0302362785



Cláusula de Propiedad Intelectual

Sisa Pakari Chimborazo Angamarca, autora del trabajo de titulación “Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 22 de Mayo de 2020

Sisa Pakari Chimborazo Angamarca

C.I: 0302362785



DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi amor y cariño a Dios, por bendecirme y guiar mis pasos cada día, ya que gracias a Él he logrado culminar mi carrera universitaria.

A mis padres Jorge y Martha, quienes han sido el pilar fundamental durante mi formación académica, ya que con sus palabras de aliento y su infinito amor, me apoyaron siempre para poder llegar a ser una profesional de la Patria.

A mi hermana Vanessa, quién forjó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

A mi pequeño Nicolás, quién ha sido mi refugio en mis días de soledad y tristeza, gracias por llegar a mi vida y quedarte en ella.

A mis abuelitos Carlos, Balbina, Mariana, y demás familiares quienes me han brindado su amor desinteresado, y me han apoyado en todo momento.

Por último, pero no menos importante mi título universitario se lo dedico a mi hermano Jorge Eduardo (+) y a mi abuelito Enrique Eduardo (+), quién siempre estuvo orgulloso de mí; y me demostró su amor hasta su último día, sin embargo sé que ahora me cuidan y protegen desde el cielo.

Erika Dennis Chica Minchala.



DEDICATORIA

A mi amado DIOS, por enseñarme a no rendirme, por mostrarme las maravillas de la vida, por su infinita bondad y amor así mí, por darme el regalo más hermoso: El Don de la vida.

A mis padres, Raimundo y María, por su amor incondicional, sacrificio, apoyo, paciencia y tolerancia en todos estos años de mi formación humana, académica e espiritual. Gracias por ser un lugar donde volver para recuperar fuerzas.

Toda mi gratitud a ti papito y mamita.

A mis queridos hermanos, Sara, Kuri y Nina, por ser los mejores hermanos y amigos en todos estos años juntos. Sara, gracias por estar ahí apoyándome en todo momento. Kuri, gracias por sacarme sonrisas en mis momentos más duros. Nina, gracias por enseñarme las pequeñas alegrías de la vida. Me siento afortunada de tenerlos.

Sisa Pakari Chimborazo Angamarca.



AGRADECIMIENTO.

A DIOS por darnos fortaleza, valor, esperanza y salud todos los días de nuestras vidas, para lograr culminar esta tesis, porque sin Él nada hubiera sido posible.

A nuestra directora de tesis, Dra. Silvana Donoso, por su valioso tiempo, paciencia, conocimiento, colaboración, respaldo y recomendaciones brindadas.

A nuestro asesor de tesis, Dr. Giovanni Larriva, por su ayuda y apoyo incondicional. Por sus palabras de motivación y ánimo, por guiarnos en esta etapa académica única e irrepetible.

Al Sistema de Agua Potable Comunitario Sisid Anejo y su distinguida directiva por permitirnos realizar este trabajo de titulación en la comunidad. De manera especial al Sr. Segundo Raimundo Chimborazo por su valiosa colaboración y al Sr. Luis Pomavilla operador de la planta por la información y apertura brindada.

A los moradores de la comunidad Sisid Anejo, por su amabilidad y su colaboración durante el muestreo de nuestro trabajo de titulación.



INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento imprescindible para el ser vivo, presente en múltiples actividades de nuestra vida cotidiana. Su incesante degradación, por las múltiples actividades industriales, agrícolas y humanas actuales, pueden llevar a un deterioro ambiental y a un grave problema de salud pública; incluso la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que de aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua (OMS, 2019). Por ello la gran importancia de la protección de fuentes del líquido vital y de realizar trabajos de calidad para lograr la inocuidad del agua (Avello & Colaboradores, 2013).

El agua potable completamente pura no existe, ya que en mayor o menor grado va a contener sustancias disueltas. El agua totalmente pura no sería agradable de beber, así mismo, un agua clara y limpia no siempre es potable, ya que puede contener microorganismos patógenos o sustancias tóxicas sin alterar su color, olor o sabor (Avello & Colaboradores, 2013).

Por ello las aguas destinadas al consumo humano deben ser sometidas a una serie de análisis de laboratorio, para determinar sus características, y así garantizar su seguridad y estimar su calidad. Las Guías para la calidad del agua potable de la OMS indican que no es práctico monitorear cada agente patógeno presente en el agua, sino que se debe dar prioridad en detectar organismos que por lo general se encuentran en las heces de los seres humanos y animales de sangre caliente, causantes de enfermedades de origen infeccioso en el hombre (OMS, 2008).

Por lo que el parámetro indicador de calidad debe: evaluar la probabilidad de que existan patógenos en el agua potable, representar bajo costo, fácil de analizar y ofrecer resultados definitivos en corto tiempo (OPS/CEPIS, 2009).

La comunidad rural Sisid Anejo, perteneciente a la parroquia Ingapirca, cantón Cañar y provincia del mismo nombre, cuenta con una pequeña planta de tratamiento de agua, la cual está a cargo de una junta directiva del Sistema de Agua Potable Comunitario, abasteciendo a 165 usuarios registrados en el sistema. La comunidad se encuentra afiliada a una Red de apoyo de Agua Potable, sin embargo no se realiza un monitoreo continuo de la calidad de agua, la capacitación del personal es poco frecuente, la construcción y la mayoría de las redes de distribución son antiguas, y a su vez el proceso de cloración es simple sin filtración previa. De igual manera los resultados estadísticos del año 2019 del



Centro de Salud Sisid, el cual atiende a esta comunidad y a comunidades aledañas, muestra un riesgo sanitario del 100% por consumo de agua insegura según las fichas familiares y el perfil epidemiológico.

Al observar todas estas circunstancias inciertas sobre la calidad del líquido vital, se llevó a cabo este tipo de estudio con el objetivo de realizar un control de calidad del agua potable y además se analizó los posibles defectos que pudiera presentar el agua en la Comunidad Sisid Anejo, mediante ensayos físicos-químicos (color, turbiedad, pH, cloro libre residual, nitritos y nitratos) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), basados en los requisitos y especificaciones establecidos por la NTE INEN 1108:2020 sexta revisión y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú D.S. N° 031-2010-SA.



OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

General

- Realizar el control de calidad física, química y microbiológica del agua potable de la comunidad rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, perteneciente al Cantón y Provincia de Cañar, según la norma INEN 1108:2020.

Específico:

- Realizar el estudio físico, químico y microbiológico de las muestras de agua, mediante ensayos y métodos de laboratorio establecidos.
- Establecer si los parámetros analizados están conforme con la norma INEN 1108:2020, y determinar si el agua potable que se distribuye en la comunidad es apta para el consumo humano.
- Realizar recomendaciones a la comunidad de acuerdo a los resultados obtenidos del estudio.



CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

EL AGUA

1.1 Generalidades

El agua constituye el recurso más importante del planeta Tierra, siendo el componente más abundante a nivel de la superficie terrestre, por lo cual se le considera como el disolvente universal, ya que ocupa las dos terceras partes de la Tierra, formando así fuentes, lluvia, ríos, y mares (Reascos & Yar , 2010).

El agua junto con la energía, el aire, y la tierra, constituyen los cuatro principios básicos en que se apoya el desarrollo económico y social de los países a nivel mundial (Hernández, 2016)(Calderón & Orellana, 2015).

Gran cantidad de agua de nuestro planeta Tierra, corresponde aproximadamente al 96,5% a agua salada que se halla en mares y océanos, el 2,5% pertenece a agua dulce que se encuentra atrapada en los glaciares y en los casquetes polares (de este valor el 30% es agua subterránea), y sólo el 1 % se encuentra en lagos salados, pantanos y ríos (Cava & Ramos, 2016) (Hidrogeocol Ecuador, 2017).

En el ser humano el agua es el componente principal, ya que representa en el varón adulto alrededor del 55 y 60% de la masa corporal, esta proporción es ligeramente inferior en la mujer debido a su mayor contenido en grasa corporal (Fuentes, Castiñeiras , & Queraltó , 1998).

Por sus múltiples usos, el aprovisionamiento de agua para uso doméstico es el más exigente, en términos de calidad y suministro, alcanzando el 10% de consumo en actividades del quehacer cotidiano de los seres humanos, como también en animales y plantas. El nivel agrícola es el sector que más consume agua, por lo que globalmente representa alrededor del 69%, el riego consume la mayor parte de agua que se logra extraer como resultado de la evaporación, transpiración de cultivos e incorporación a los tejidos de las plantas, y por otra parte se encuentra el agua subterránea (Cava & Ramos, 2016) (Cirelli, 2012).

1.1.1 Composición y estructura

Las propiedades del agua radican en la simplicidad de su estructura molecular al estar formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno mediante enlaces covalentes muy fuertes, que se forman por solapamiento de un orbital sp^3 del oxígeno y un orbital $1s$ del hidrógeno, haciendo que la molécula sea muy estable. Los átomos de hidrógeno se encuentran localizados en dos vértices del tetraedro formando un ángulo de 105° , mientras que los dos pares de electrones que no participan, del oxígeno, se encuentran en los dos vértices restantes, haciendo que la molécula presente una geometría angular. A temperatura ambiente la molécula de agua es líquida, debido a que consiguen elevados pesos moleculares, ya que al ser una molécula bipolar establecen fuerzas de atracción denominados puentes de hidrógeno, formando grupos de 3 a 9 moléculas (Carbajal & González, 2012).

Esto es gracias a los electrones de los dos hidrógenos que se encuentran con dirección hacia el átomo de oxígeno, dando como resultado una carga negativa en el oxígeno (mayor densidad electrónica); y por el contrario presenta dos cargas positivas, en los átomos de hidrógeno (menor densidad electrónica) (Carbajal & González, 2012).

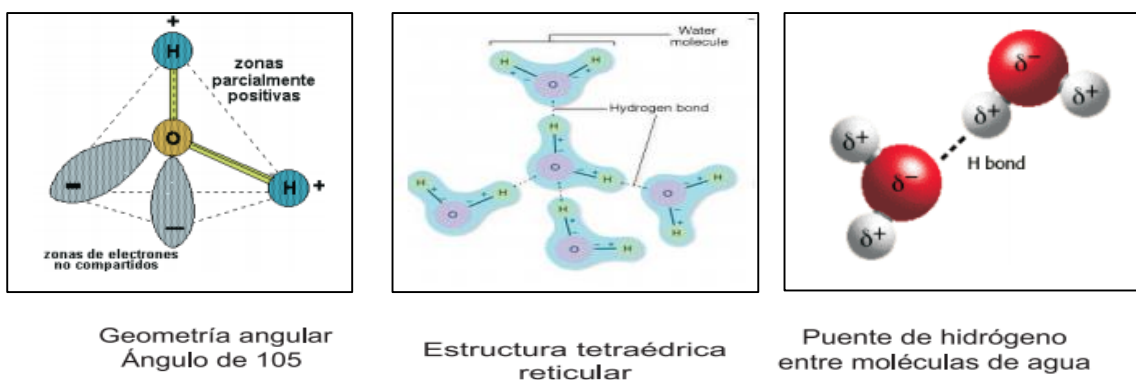


Figura 1. Composición y estructura del agua.

Fuente: (Carbajal & González, 2012).

1.1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo del agua se lleva a cabo cuando el agua en forma de lluvia cae en la Tierra, pudiendo tener diferentes destinos al fluir por la superficie terrestre, creando lo que se conoce como ríos, lagos y lagunas. Dado que el agua fluye constantemente según la topografía del lugar por donde circula, el agua sigue el trayecto de las quebradas, suelos, declives, etc. A continuación el agua es elevada hacia la atmósfera, gracias a la transpiración de la misma

que se da a través de plantas, árboles y demás vegetación que habita en los bosques; como también por la evaporación del agua contenida en suelos, ríos, y lagos, que constituyen la cuenca geográfica. El agua sobrante se infiltra y penetra al interior del suelo, para luego volver a la atmósfera mediante evapotranspiración o a su vez se profundiza hasta alcanzar las capas freáticas del suelo (Mancheno & Ramos, 2015).

El escurrimiento subterráneo se lleva a cabo a través de medios porosos de manera lenta, alimentando los cursos de agua tiempo después de que la precipitación que le dio origen haya concluido. Tanto el escurrimiento subterráneo como el superficial van a continuar alimentando los cursos de agua que desembocan en lagos y océanos (Mancheno & Ramos, 2015).

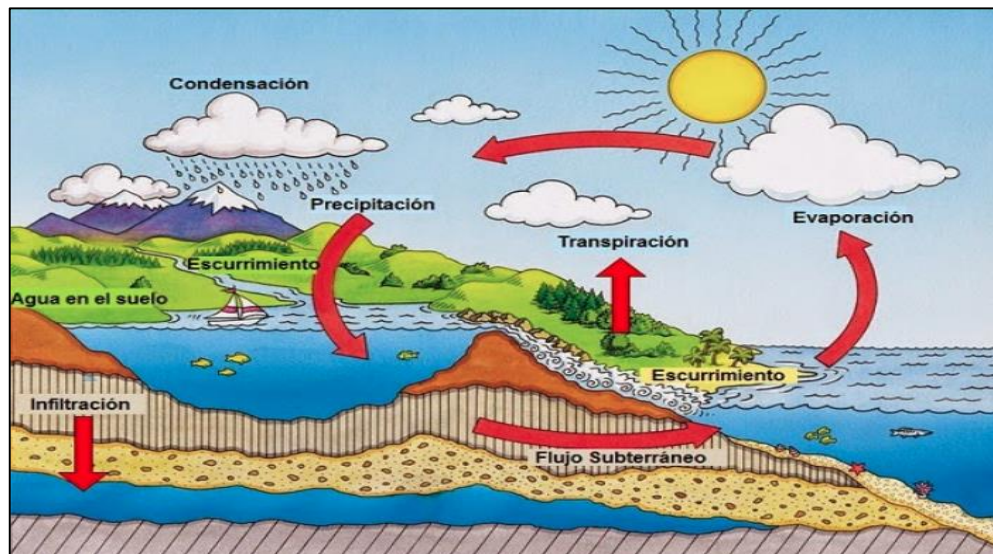


Figura 2. Ciclo hidrológico del agua.

Fuente: (Cortés, 2016).

1.1.3 Fuentes de agua

Dentro de las fuentes de agua se encuentran:

- **Agua de mar:** Su contenido es casi ilimitado, y puede transformarse en agua dulce, mediante diversos procesos; no obstante el costo de inversión es de dos a cinco veces más elevado que en el tratamiento de agua dulce (Figura 3) (Mancheno & Ramos, 2015).
- **Agua subterránea:** Las formaciones de las rocas y del suelo que han sido saturadas de agua se denominan depósitos de líquido subterráneo o acuíferos, y son aquellas

que han sido filtradas desde la superficie terrestre hacia la parte inferior porosa del suelo (Mancheno & Ramos, 2015).

- **Agua superficial:** Se encuentra ubicada en ríos y lagos, siendo de gran importancia al servir de abastecimiento para el uso público (Mancheno & Ramos, 2015).

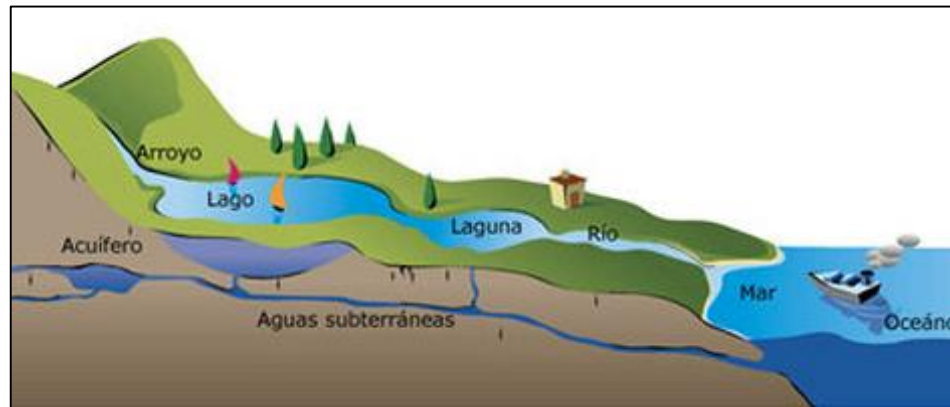


Figura 3. Fuentes de agua.

Fuente: (Martínez, 2014).

1.1.4 Tipos de agua

- **Agua cruda:** Es el agua que comúnmente se encuentra en la naturaleza, captada para el abastecimiento y que no ha recibido ningún tratamiento físico, químico o microbiológico, para modificar sus características (NTE INEN 1108, 2020) (Ministerio de Salud , 2011).
- **Agua tratada:** Es el agua que pasa por procesos físicos, químicos y/o microbiológicos para ser un producto inocuo para el consumo humano (Ministerio de Salud , 2011).
- **Agua de consumo humano:** Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, en donde se incluye la higiene personal (Ministerio de Salud , 2011).

1.2 Calidad del agua

La calidad del agua se define como un proceso permanente y sistemático de comprobación, la cual se lleva a cabo a través de programas establecidos de muestreo y otros procedimientos, que cada empresa realiza para garantizar y asegurar que el agua distribuida se ajuste a las exigencias de las normas respectivas (Napoleon, 2019).



La calidad de cualquier masa de agua, sea superficial o subterránea va a depender de ciertos factores naturales como también de la acción humana. La calidad del agua sin ayuda del ser humano vendría determinada por la sedimentación de lodos y sales, procesos de evaporación y transpiración, erosión del substrato mineral, lixiviación natural de nutrientes y de materia orgánica del suelo debido a factores hidrológicos, y por procesos biológicos del medio acuático pudiendo alterar la composición física, química y microbiológica del agua (Organización de Naciones Unidas, 2014).

Regularmente, la medición de la calidad del agua, se lleva a cabo al comparar los parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua con un patrón de referencia o estándar, basándose normalmente en rangos de toxicidad científicamente aceptables tanto para el ser humano, como para los organismos acuáticos (Organización de Naciones Unidas, 2014).

Cuando se sobre pasa un valor guía, debe investigarse la causa con el fin de tomar medidas correctivas. La cantidad en que sobrepase un valor establecido por la norma y el período durante el cual se prolongue esta situación, sin que resulte afectada la salud pública, va a depender de la sustancia o característica específica en cuestión (Organización Panamericana de la Salud, 2003).

La evaluación físico-química permite obtener una amplia información sobre las propiedades físicas del agua, así como también de las especies químicas que la conforman; las cuales pueden causar un riesgo a la salud, a corto o a largo plazo después de su exposición (Zhen, 2009).

En cambio la calidad microbiológica se basa en la determinación de microorganismos que pueden causar enfermedades directas o indirectas al ser humano, o que debido a su influencia en la vida acuática pueden señalar la posible presencia de otros, como es el caso de los coliformes fecales y *Escherichia coli* (Zhen, 2009).

1.3 Parámetros físicos:

1.3.1 Color: El color del agua puede deberse a la extracción de colorantes como semillas, hojas, sustancias similares en forma de humos provenientes de pantanos, bosques, residuos industriales y algunas veces por la presencia de iones metálicos naturales (manganeso, hierro) en combinación con materia orgánica (APHA-AWWA-WPCF, 1992).



En la formación del color interviene el pH (aunque puede presentarse de manera independiente), la temperatura, la materia disponible, el tiempo de contacto, y la solubilidad de los compuestos coloreados (APHA-AWWA-WPCF, 1992) (Rojas, 1999).

Se clasifica como “color verdadero” al que depende solamente del agua y sustancias disueltas, mientras el “aparente” es el que incluye las partículas en suspensión. Generalmente el color se encuentra en aguas superficiales o en manantiales y pozos de poca profundidad (Cava & Ramos, 2016).

El método patrón de medida de color fue el de cobalto – platino, el cual se expresa en Unidades de Color Aparente Platino Cobalto (UCA Pt- Co) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

1.3.2 Turbidez: La turbidez es una expresión de la propiedad óptica, la cual genera que la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse a través de la muestra en línea recta. La correlación de la turbidez con la materia en suspensión de acuerdo a su concentración en peso es difícil de establecer, ya que la forma, el tamaño, y el índice de refracción de las partículas intervienen en la dispersión de la luz (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

En el agua potable, la presencia de ciertos microorganismos patógenos o sus partículas protectoras de los procesos de desinfección afecta de manera adversa la calidad del agua; por lo que es indispensable que en las plantas de tratamiento de agua, se mantenga un nivel bajo de turbidez en el producto terminado (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

La medición de la turbidez se realizó mediante el turbidímetro, el cual se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

1.4 Parámetros químicos:

1.4.1 Cloro libre residual: La cloración del agua para suministro y residual sirve fundamentalmente para la desactivación o destrucción de microorganismos patógenos. De igual manera, el cloro sirve para el tratamiento del agua de consumo, ya que reside en el mejoramiento global de su calidad, como consecuencia de la relación del cloro con iones metálicos como: hierro, manganeso, sulfuro, amoníaco y algunas sustancias orgánicas (Cava & Ramos, 2016).

El cloro libre reacciona de manera fácil con el amoníaco y ciertos compuestos de nitrógeno, formando cloro combinado; en cambio al reaccionar el cloro con el amoníaco se generan cloraminas: monocloramina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno (Cava & Ramos, 2016).



El cloro libre residual disponible es aquel que se obtiene cuando se agrega cloro en el agua para producir de manera directa o mediante la destrucción del amoníaco presente, un residual de cloro libre que persiste en el agua después de haber sido tratada por un definido tiempo de contacto (Cava & Ramos, 2016).

Por lo general, el cloro libre residual se determina en las siguientes etapas:

- En el sitio público más cercano para verificar que el nivel del cloro residual se encuentre dentro del límite establecido.
- Inmediatamente después de la adición del cloro para corroborar que la cloración se está llevando a cabo.
- En los puntos más alejados de las tuberías, donde generalmente el nivel de cloro residual es más bajo (Orellana, 2005).

La determinación de cloro libre residual se realizó mediante el Colorímetro portátil, el cual se expresa en miligramos por litro (mg/L) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

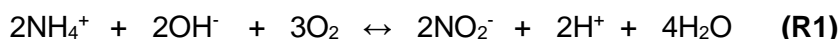
1.4.2 Potencial de hidrógeno (pH): Sorenson (1992) definió el pH como el logaritmo en base diez del inverso de la concentración del ión hidrógeno “ $-\log (H^+)$ ” denominado como el factor de acidez o intensidad empleado para expresar el comportamiento del ion hidrógeno. El pH se expresa en una escala de 14, en donde un pH de 7 refleja neutralidad, si este valor es mayor a 7 el agua es alcalina y puede dar lugar a incrustaciones, y si el valor es menor a 7 el agua es ácida y favorece la corrosión de sustancias metálicas que se encuentran en contacto con ella (APHA-AWWA-WPCF, 1992) (Martel, 2014).

La determinación del pH debe realizarse in situ, ya que este parámetro puede sufrir alteraciones importantes a medida que pasa el tiempo, esto se debe a la sobresaturación de CO_2 , como consecuencia de la cantidad de aire, temperatura, reacciones químicas, y por la presencia de plantas acuáticas. La medición realizada en campo, y la realizada en el laboratorio pueden llegar a tener una variación del pH hasta una unidad, a pesar de haberse realizado el mismo día; para ello se utilizó un pH metro portátil (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

1.4.3 Nitritos y nitratos: Estos se generan en procesos de desaminación y nitrificación que sufre la materia orgánica tras la contaminación bacteriana, a expensas de la propia flora microbiana fecal (Zhen, 2009).



El ion de amonio se convierte microbiológicamente en amonio mediante el proceso de amonificación, en donde el ion de amonio se oxida por la acción de dos grupos de bacterias (Reacción 1 “R1” catalizada por los *Nitrosomas*, y Reacción 2 “R2” por *Nitrobacter*), dando como resultado nitrito, y mediante un proceso denominado nitrificación se convierte en nitrato (Zhen, 2009).



- Los nitritos (sales de ácido nitroso, HNO_2) son solubles en agua, poseen un poder reactivo alto, pueden actuar como agentes oxidantes y reductores por lo que generalmente se encuentra en cantidades considerables en baja oxigenación. Se transforman de manera natural a partir de los nitratos, ya sea por reducción bacteriana o por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos. En el agua indica procesos biológicos activos, siendo indicadores fecales a mediano o corto plazo, pues son inestables y se oxidan de manera rápida y fácil (Martel, 2014).
- Por otra parte los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en el agua debido a la polaridad del ion, es por eso que se movilizan con mayor facilidad a través de los sedimentos por las aguas superficiales y subterráneas. Se consideran como indicadores de contaminación fecal a largo plazo, pues es el estado más oxidado del amonio; sin embargo en el agua subterránea generalmente su concentración es baja, pero algunas veces se encuentran niveles elevados que son muy perjudiciales para infantes (Rojas, 1999).

1.5 Parámetros microbiológicos:

La finalidad del análisis microbiológico determina si el agua contiene o no organismos patógenos causantes de enfermedades en los seres vivos (Cava & Ramos, 2016).

1.5.1 Coliformes totales y fecales: Uno de los grupos de microorganismos recomendados en guías y normas como indicadores de la calidad del agua potable e importantes para su valoración en términos sanitarios, es el grupo de las bacterias coliformes, el cual está formado por los coliformes totales y fecales o termotolerantes (Ramos, Vidal, & Villardy, 2008).



Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en plantas, suelos, animales, incluyendo los humanos, y su presencia indica que el agua puede estar contaminada con desperdicios en proceso de descomposición (Ramos , Vidal , & Villardy, 2008).

- Los Coliformes totales se encuentran comprendidos por bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados, y con forma de bastón que fermentan lactosa con producción de gas antes de las 48 horas a 35°C, representado principalmente por bacterias como: *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter* (Zhen, 2009). En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2006).
- Dentro de los coliformes fecales se considera exclusivamente a *Escherichia coli*, como organismo indicador de contaminación fecal. Son productoras de gas a 44,5°C durante 24 ± 2 horas. Este grupo de bacterias se localiza de forma natural en el aparato digestivo del ser humano y de animales de sangre caliente; por lo que se le pueden encontrar en las heces de estos orígenes como en el ambiente (Zhen, 2009).

En la *tabla 1* se indican los valores permisibles para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos por la norma INEN 1108:2020 y por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú, utilizando el método del Número Más Probable (NMP/100 mL) para el análisis microbiológico.

**Tabla 1. Requisitos físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable.**

| REQUISITOS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS PARA EL AGUA POTABLE | | | |
|--|--|--------------------------------|---|
| Parámetros | Unidad | Límite máximo permitido | Norma de referencia |
| Características físicas | | | |
| Color | Unidades de Color Aparente (Pt-Co) | 15 | INEN 1108:2020 |
| Turbiedad | NTU | 5 | |
| Características químicas | | | |
| Cloro libre residual | mg/l | 0,3 – 1,5 | INEN 1108:2020 |
| pH | ---- | 6,5 – 8,0 | |
| Nitratos, NO ₃ ⁻ | mg/l | 50 | |
| Nitritos, NO ₂ ⁻ | mg/l | 3,0 | |
| Características microbiológicas | | | |
| Parámetros | Unidad | Límite máximo permitido | |
| Coliformes fecales | Número/100 mL | Ausencia | INEN1108:2020 La ausencia corresponde a < 1,1 NMP/100 mL |
| Coliformes totales | Número/100 mL | < 1,8 | <1,8 NMP/100mL (Ministerio de Salud Perú, 2011) |

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020).

1.6 Potabilización del agua cruda

La potabilización del agua se define como un conjunto de procedimientos y procesos que se realizan sobre el agua cruda; para lograr las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas por una norma reconocida, para ser idónea para el consumo humano (Lozano & Lozano Bravo, 2015).

En general las aguas subterráneas no suelen presentar organismos nocivos, ni cantidades significativas de sustancias orgánicas, por lo que las aguas subterráneas suelen ser manejadas en el abastecimiento de agua potable con una mínima dosis de cloro como desinfectante, a modo de prevención de una posible contaminación en la red de distribución (Lozano & Lozano Bravo, 2015) (Pérez, 2015).

Es así, que el proceso de potabilización consta de las siguientes etapas:

- Captación
- Aeración
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación

- Filtración
- Desinfección
- Almacenamiento

La comunidad rural Sisid Anejo cuenta con seis captaciones de agua subterránea, un tanque recolector, tres tanques rompe presión, caseta de cloración y un tanque de almacenamiento de agua clorada; los mismos que serán mencionados más adelante.



Figura 4. Etapas de potabilización del agua cruda.

Fuente: Las autoras.

1.6.1 Fases de potabilización en la comunidad Sisid Anejo

- Captación

Es el punto o puntos de origen de agua cruda para el abastecimiento, que incluye las obras humanas de diferente naturaleza para la recogida de la misma. Las captaciones de agua subterránea pueden ser mediante sondeos o galerías filtrantes, elaboración de pozos y aprovechamiento de manantiales (Pérez, 2015).

Las captaciones del sistema de abastecimiento de la comunidad Sisid Anejo, se realizan en dos lugares; una captación reciente (desde el año 2015) a una altitud de aproximadamente 3.744 m.s.n.m. llamado, por el lugar de su ubicación, Tragneran Yaku y cinco captaciones antiguas ubicados en Lullin Kuchu a 3.662 m.s.n.m.; con una distancia de 2 a 3 kilómetros (km) entre las captaciones antiguas y la captación reciente.

Todas las captaciones fueron excavadas de forma manual siguiendo la vena del agua, agrandándola y permitiendo que brote más agua, la cual es recogida mediante tuberías y conducida por gravedad; el agua circula fácilmente debido a la propia pendiente del lugar, hasta el tanque recolector que recibe el agua de todas las captaciones, ubicado al final de las cinco captaciones en Lullin Kuchu (*Ver Anexo A*). Desde este punto el líquido vital es conducido hacia los tanques rompe presión ubicados en diferentes lugares, hasta la caseta de cloración ubicada a una altura de aproximadamente 3.346 m.s.n.m.



Fotografía 1. Captación Tragneran Yaku, altitud: 3.744 m.s.n.m.

Fuente: Las autoras.



Fotografía 2. Vista interna, captación Tragneran Yaku.

Fuente: Las autoras.



Fotografía 3. Una de las captaciones en Lullin Kuchu, altitud: 3.662 m.s.n.m.

Fuente: Las autoras.

La tapa del tanque recolector solo se abre cuando se amerita, con motivos de limpieza. Es posible que la permanencia del agua en el tanque permita una decantación.



Fotografía 4. Tanque recolector en Lullin Kuchu, altitud: 3.662 m.s.n.m.

Fuente: Las autoras.

- **Desinfección**

Consiste en la destrucción selectiva de microorganismos infecciosos, ya sea por medios físicos o químicos; es decir, no todos los organismos son eliminados en esta fase, por eso la gran importancia de etapas como la coagulación, sedimentación y filtración, que son capaces de eliminar hasta un 90% de bacterias y virus presentes en el agua, para asegurar la potabilización del agua (Campos, 2003).



Un desinfectante ideal debe ser tóxico para los microorganismos patógenos en concentraciones menores a las perjudiciales para los seres humanos y ciertos animales. Debe actuar de manera rápida y evitar la reactivación o crecimiento de organismos en la red de distribución del agua potable (Campos, 2003).

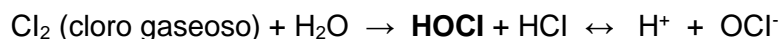
Existen algunos factores que pueden afectar la desinfección, como por ejemplo:

- La turbiedad, produce flóculos en donde los microorganismos pueden “ocultarse” de la acción del desinfectante; así mismo la materia orgánica presente podría absorber el desinfectante impidiendo realizar su acción.
- Organismos resistentes, siendo las esporas bacterianas las más resistentes, le siguen en resistencia los de protozoarios (quistes de la *Entoameba histolytica*), virus entéricos (hepatitis infecciosa) y por último bacterias vegetativas (coliformes).
- La temperatura, pH del agua (cuanto mayor elevado sea el pH, mayor será la dosis de cloro que debe utilizarse) y el tiempo de contacto entre el agente desinfectante y el microorganismo patógeno (Zuñiga, 2017) (Chulluncuy, 2011) (Rojas, 1999).

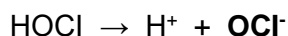
Se pueden utilizar diversos agentes desinfectantes, pero el cloro es el más usado y el más importante; puede ser utilizado en forma de gas, líquido o sal (hipoclorito de sodio) produciendo la inactivación de bacterias y virus mediante la inhibición de su actividad enzimática, es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo (Zuñiga, 2017).

Química de la cloración

En cualquiera de sus formas el cloro al tener contacto con el agua se hidroliza en pocos segundos dando lugar a la formación de ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico (HCl), como se indica a continuación:



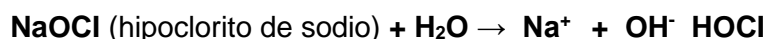
Y a su vez el ácido hipocloroso se ioniza de forma instantánea en ión hidrógeno e ión hipoclorito (Solsona & Méndez, 2002).



Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ión hipoclorito (OCl⁻) presente en el agua son definidos como Cloro Libre Residual o agente verdadero de desinfección (Solsona & Méndez, 2002).

En aguas con un pH alto habrá mayor porcentaje de ión hipoclorito y en aguas con un pH bajo habrá más ácido hipocloroso (HOCl). Por lo tanto es recomendable que el pH del agua, durante la cloración, se mantenga por debajo de 7,5; ya que el desinfectante por excelencia es el ácido hipocloroso, con un poder desinfectante de unas 80 veces mayor que el ión hipoclorito (Zuñiga, 2017).

En el caso de las soluciones de hipoclorito, la reacción que se da es la siguiente:



Cloración en la Comunidad Sisid Anejo

En la comunidad Sisid Anejo el agua cruda proveniente de las 6 captaciones subterráneas llega a la caseta de cloración con un caudal de 1,25 L/s (litros por segundo) y en seguida pasa al proceso de cloración, para lo cual se usa hipoclorito de sodio elaborado in-situ por electrólisis a partir de 2 kg de sal común en 60 litros de agua, utilizando el equipo Clorid L60, el hipoclorito está listo en 24 horas.

Después de tener listo el hipoclorito de sodio, se coloca en el tanque contenedor (capacidad 250 litros) 20 litros de este cloro ya preparado y se completa con agua cruda hasta un volumen de 250 litros, desde este tanque contenedor el hipoclorito de sodio cae por goteo rápido al caudal de agua cruda que llega de las captaciones y tiene una duración de 24 horas. Es así que los 60 litros de cloro preparado cubren 3 días de cloración.



Fotografía 5. Tanque de preparación de hipoclorito de sodio, equipo Clorid L-60.

Fuente: Las autoras



Fotografía 6. Cloración por goteo en el caudal de entrada.

Fuente: Las autoras

- Almacenamiento

El almacenamiento tiene la finalidad de satisfacer las necesidades de la población, y como prevención frente a una posible escasez. La comunidad cuenta con un tanque de apoyo en el suelo, con una capacidad aproximada de 40.000 litros. Luego el agua pasa a la red de distribución, facilitada por la pendiente del lugar, hasta los últimos domicilios ubicados aproximadamente a una distancia de 5 a 7 Km desde el tanque de reserva o almacenamiento.



Fotografía 7. Caseta de cloración y tanque de reserva, altitud: 3.346 m.s.n.m.

Fuente: Las autoras.

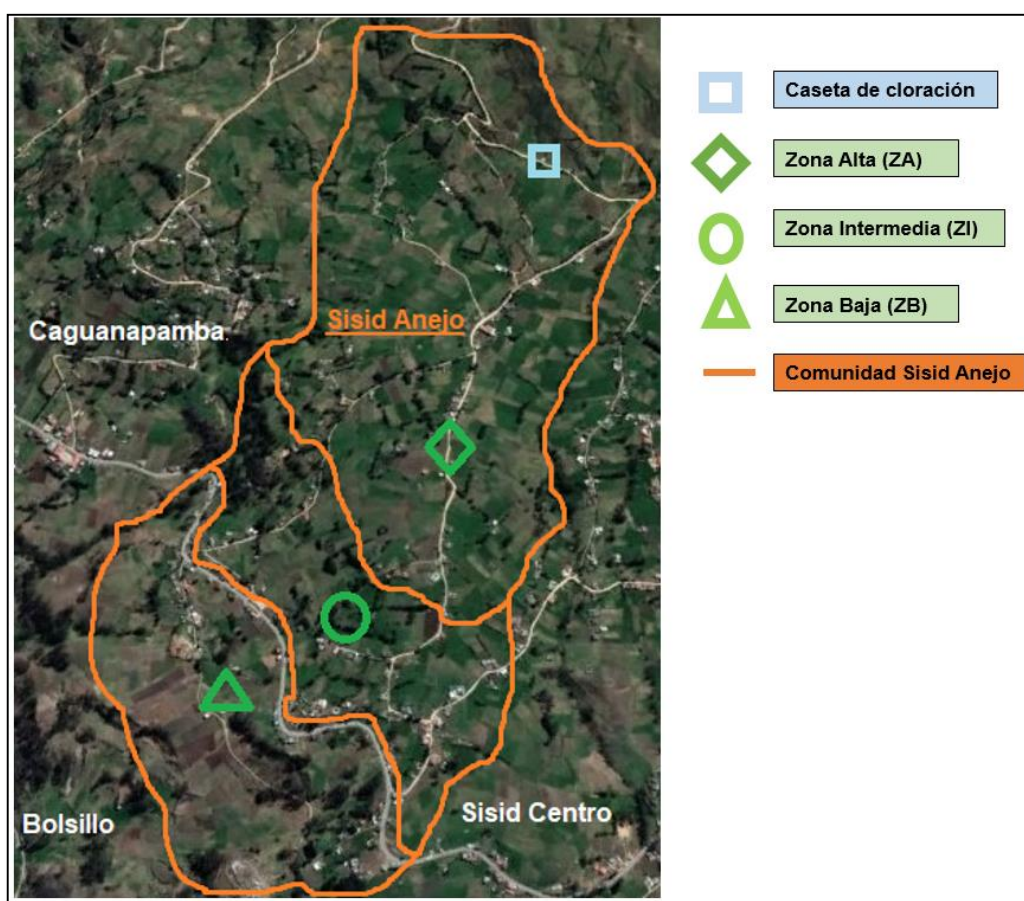
2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de estudio

El estudio fue transversal y descriptivo; al ser este descriptivo nos proporcionó un criterio de la situación actual de la comunidad.

2.2 Población de estudio

El estudio se ejecutó en el sistema de agua potable de la comunidad rural Sisid Anejo, parroquia Ingapirca, cantón Cañar y provincia del mismo nombre. Se analizó muestras de agua de 69 inmuebles distribuidos en las tres zonas de estudio (alta, intermedia y baja).



*Imagen 1. Mapa ubicación de las zonas de muestreo en la comunidad "Sisid Anejo"
Fuente: Las autoras.*

Por información proporcionada por la tesorera de la junta de agua potable, la comunidad cuenta con 165 usuarios registrados, por ende 165 viviendas están dotadas de un medidor, con un total aproximado de 660 habitantes incluyendo niños, jóvenes, adultos y ancianos.



2.3 Muestreo y tamaño de muestra

Para un muestreo representativo de la población de estudio se usó el Muestreo al Azar Simple, en donde todos los domicilios tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados. Para la toma de muestras de las viviendas, se informó y se pidió el consentimiento de los moradores con antelación creando así un ambiente favorable que facilitó la recolección de las muestras.

Para el tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula estadística:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n : El tamaño de la muestra.

N : Tamaño de la población de estudio (número de medidores).

σ : Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z : Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza que equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza que equivale 2,58; valor que queda a criterio del investigador.

e : Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda también a criterio del investigador (Suárez & Tapia, 2012).

$$n = \frac{(165) * (0,5)^2 * (1,96)^2}{(165 - 1) * (0,09)^2 + (0,5)^2 (1,96)^2} = 69,23 \approx 69 \text{ muestras.}$$

Obteniendo un total de 69 muestras.

Lugares del muestreo:

- Tanque de almacenamiento "TA" (agua clorada).



- Inmuebles de la comunidad divididos en 3 zonas: Zona alta: 55 viviendas, Zona intermedia: 55 viviendas, Zona baja: 55 viviendas; tomando 23 muestras al azar en cada una de las zonas.

Se realizaron los respectivos muestreos en un periodo de tres meses, desde Diciembre del año 2019 a Febrero de 2020, tomándose muestras como se indica en la *tabla 2*.

Tabla 2. Distribución mensual de muestreo.

| Lugar de muestreo | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 |
|-------------------|-------------------------------|--------------|--------------------|
| Zona alta | 22 muestras 1 muestra (TA) | | |
| Zona intermedia | | 23 muestras | |
| Zona baja | | | 23 muestras |
| | | Total | 69 muestras |

Semanalmente, la recolección de las muestras se realizó los días lunes, procediendo como se ilustra en la *tabla 3*.

Tabla 3. Distribución semanal de muestreo.

| Mes | Lugar | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------|------------|------------|
| 1^{er} Diciembre | Zona alta | 5 muestras 1 muestra (TA) | 6 muestras | 6 muestras | 5 muestras |
| 2^{do} Enero | Zona Intermedia | 5 muestras | 6 muestras | 6 muestras | 6 muestras |
| 3^{er} Febrero | Zona baja | 5 muestras | 6 muestras | 6 muestras | 6 muestras |

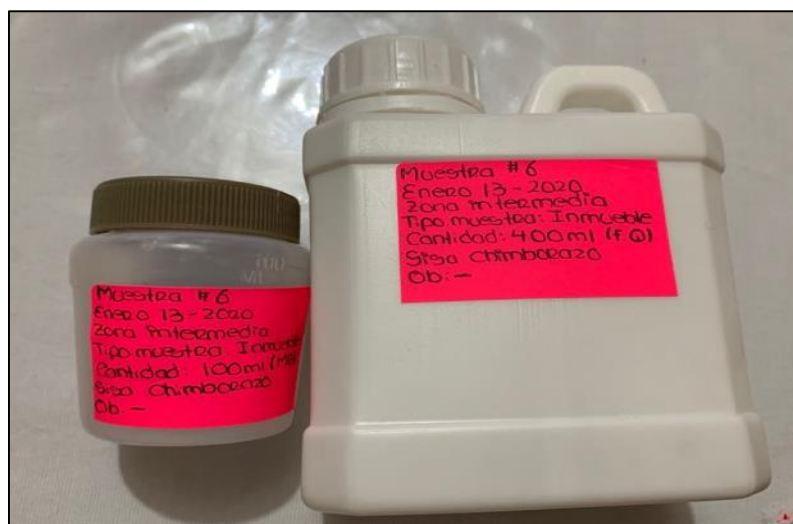
2.4 Criterio de recolección de las muestras

En cada lugar del muestreo se tomaron dos muestras para el análisis; físico químico y microbiológico.

Según recomendaciones, en los inmuebles, se eligió el grifo que se encuentra conectado directamente a la principal fuente de distribución, no del tanque de almacenamiento en caso de que el inmueble lo posea, es decir, se tomó lo más cerca posible de la fuente de suministro vinculado directamente a la red de distribución (Tacuri & Vintimilla , 2012).

2.5 Características de recolección

- a) *Tipo de envase:* Para el análisis físico químico (AFQ), se utilizaron frascos de polietileno con capacidad de 500 mL. Para el análisis microbiológico (AMB) se usaron frascos estériles con capacidad de 100 mL (Calderón & Orellana, 2015) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).
- b) *Transporte y conservación:* En los dos casos las muestras fueron transportadas en un cooler con geles de hielo refrigerante a una temperatura aproximada de 4°C, en un tiempo aproximado de 2 horas y media para su posterior refrigeración hasta el laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos de la Universidad de Cuenca, ubicado en el campus Balzay (Calderón & Orellana, 2015) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).
- c) *Información básica en la etiqueta de muestras:*
- Número de muestra, fecha y hora.
 - Punto de la toma la muestra (Zona alta, intermedia o baja).
 - Tipo de muestra: agua tratada.
 - Cantidad de muestra en mL (para AFQ y AMB).
 - Nombre del personal que toma de muestra
 - Observaciones (en caso de existir alguna) (Calderón & Orellana, 2015) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).



Fotografía 8. Etiqueta de muestras.

Fuente: Las autoras.

2.6. Toma de muestras:

• Tanque de Almacenamiento

Para la toma de esta muestra, se amarró a una cuerda previamente desinfectada con alcohol al 70 % un frasco de polietileno de 500 ml. Se ubicó el frasco de manera que no choque con el tanque mientras se deslizaba al interior, se realizó movimientos con la cuerda con el fin de llenar el frasco con agua, posterior a ello se haló de la cuerda hasta tener el frasco fuera del tanque, con la cantidad suficiente para el enjuague de la misma, este procedimiento se realizó tres veces. La cuarta vez, obtenida la muestra inmediatamente se traspasó el agua al recipiente estéril de 100 ml para el análisis microbiológico, y posterior a ellos se tomó la muestra para el análisis físico químico en el mismo frasco (Aurazo, 2004) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).



Fotografía 9. Procedimiento de muestreo en el tanque de almacenamiento.

Fuente: Las autoras.

• Toma de muestras en los inmuebles

Antes de empezar con el muestreo se verificó que el grifo esté conectado directamente a la red de distribución y que no posea accesorios o material extraño adherido a este.

Se abrió el grifo hasta el flujo máximo de salida de agua y dejamos correr durante 1 minuto para limpiar la salida y descargar el agua que posiblemente haya estado almacenada en la tubería. Cerramos la llave y pasamos por la boca del grifo un mechero de alcohol encendido durante un lapso de 30 segundos, luego se abrió el grifo a chorro medio dejando correr el agua durante 1 minuto. Posterior a ello, para la toma de las muestras fisicoquímicas se

redujo el caudal de agua para evitar turbulencia y burbujas de aire, y se enjuagó el recipiente 3 veces con la misma agua antes de tomar las muestras. Para el análisis microbiológico se recolectó directamente en el frasco estéril hasta la línea que marca el volumen de 100 ml. En ambos casos se dejó un espacio de aire (aproximadamente un tercio del frasco) para facilitar la homogenización antes de los análisis posteriores (APHA-AWWA-WPCF, 1992) (Aurazo, 2004).



Figura 5. Procedimiento de muestreo en los inmuebles.

Fuente: Las autoras.

2.7 Materiales, equipos y reactivos

| MATERIALES | EQUIPOS | REACTIVOS |
|--|--|---|
| - Frascos estériles de polietileno 500 ml. | - Colorímetro DR/890 | - Caldo Lauril Sulfato, "MERCK". |
| - Frascos estériles de 100 ml. | - Water Quality Meter 850081 (pH portátil) | - Caldo lactosado de Bilis verde brillante 2% "CITERION". |
| - Cooler | - Espectrofotómetro HACH DR 2800. | - Nitriver 3 "HACH". |
| - Pipetas volumétricas de 1 ml | - Turbidímetro "HACH" 2100P. | - Nitriver 5 "HACH". |
| - Pipetas volumétricas de 10 ml | | - Reactivo de Ehrlich |
| - Vasos de precipitación 250 ml. | | |
| - Asa para cultivo | | |



| | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Gradillas- Probetas- Lámparas de alcohol- Tubos tapa rosca 15 ml.- Viales o campanas de Durham.- Celda para muestras en turbidímetro 2100 portable.- Celda de 10 y 25 ml para espectrofotómetro. | <ul style="list-style-type: none">- Color Model CO-1 0-100, "HACH" 1730.- Balanza BOECO Germany- Estufa "Mettler"- Autoclave "Handyclave Glows"- Refrigerador "Indurama"- Baño María Mettler.- GPS 72H GARMIN | <ul style="list-style-type: none">- Medio SIM- Cloro libre- DPD (N dietil p-fenilen-diamina) "HACH".- Agua destilada |
|--|---|--|

2.8 Métodos y Técnicas de Laboratorio

Se realizaron ensayos físicos, químicos y microbiológicos establecidos por la norma INEN 1108:2020 sexta revisión, Métodos Normalizados o Standard Methods edición 17th (versión en español) y 23th (versión en inglés) para el Análisis de Aguas Potables y Residuales de la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF); para el parámetro microbiológico de Coliformes totales se tomó como referencia el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú D.S. N° 031-2010-SA / Ministerio de Salud (Ministerio de Salud , 2011). Mediante equipos facilitados por el Laboratorio de análisis de Calidad de Aguas y Suelos de la Universidad de Cuenca – Campus Balzay.

2.8.1 Parámetros físicos:

- **Color aparente: Método de comparación visual**

Fundamento: La determinación del color se basó en la comparación visual entre la muestra de estudio y los discos especiales cristal de color adecuadamente calibrados. El método patrón para la determinación del color es el de cobalto-platino, en donde la unidad de color es producida por 1 mg de platino en un litro de agua en forma de ion cloroplatinato de cobalto (una ppm de Pt). El equipo que se empleó fue el Color Model CO-1 COLOR 0-100, "HACH" 1730, el cual ofreció la lectura directa de color aparente en (Pt-Co) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).



Figura 6. Determinación del color aparente.

Fuente: Las autoras.

- **Turbiedad: Método nefelométrico**

Fundamento: En este método se comparó la luz dispersada por una solución patrón de referencia y la intensidad de la luz dispersada a través de la muestra en condiciones definidas. Mientras mayor sea la intensidad de la luz dispersada, la turbidez será más intensa. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se empleó el polímero formacina. La turbidez de una concentración especificada de suspensión de formacina se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas. El equipo que se empleó fue el turbidímetro (nefelómetro), el mismo que ofreció una lectura directa de turbiedad en UNT (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

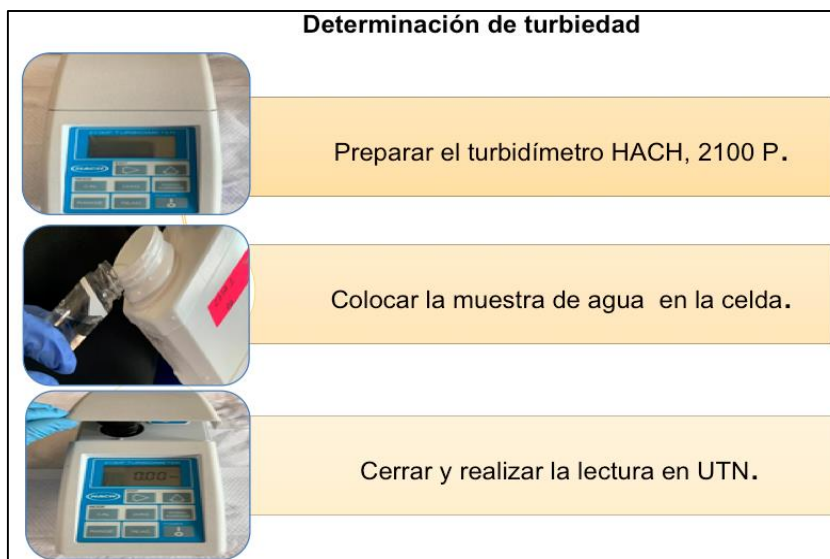


Figura 7. Determinación de turbiedad.

Fuente: Las autoras.

2.8.2 Parámetros químicos

El Cloro libre residual y el pH fueron analizados in-situ, durante la toma de las muestras semanales.

- **Cloro libre residual: Método colorimétrico de la N, N-dietil-p-fenilen-diamina (DPD).**

Fundamento: El cloro que está presente en la muestra como ácido hipocloroso (HOCl) o como ion hipoclorito (OCl⁻) (cloro libre o disponible) inmediatamente reacciona con el indicador DPD (N, N-dietil-p-fenilendiamina) para dar lugar a un color magenta o rosa fucsia que es proporcional a la concentración de cloro; para su determinación se usó la colorimetría usando un espectrofotómetro de mano HACH DR/890 (HACH, 2000). El cual funciona pasando luz a través de la muestra coloreada y midiendo la intensidad de la luz, el color rosado bloquea la luz y decrece la intensidad de la luz que se mide, por lo que es importante tomar en cuenta que cualquier interferencia que bloquee la luz impactará en el resultado (RCAP, 2018).

| Determinación de cloro libre residual | |
|---|---|
|  | Equipo: Colorímetro portátil HACH DR/890 programa #12 |
|  | Cargar 5 ml de agua en la celda, y encerrar el equipo. |
|  | Colocar un sobre de reactivo DPD en la celda de agua, y llenar hasta 10 ml. |
|  | Homogeneizar, limpiar por fuera la celda y leer en el equipo. |

Figura 8. Determinación de cloro libre residual.

Fuente: Las autoras.

- **Potencial de Hidrógeno (pH): Método potenciométrico**

Fundamento: El método midió la actividad de los iones hidrógeno a través de mediciones potenciométricas al utilizar un electrodo que consta de dos partes: un electrodo de referencia, el cual tiene la función de mantener un potencial constante y un electrodo indicador de vidrio, que genera una corriente eléctrica debido a la actividad del ion hidrógeno existente en el agua. La corriente que se genera se transforma de manera fácil en unidades de pH. El valor del pH resultante suele ser directamente proporcional a la temperatura. Para su determinación se utilizó el Water Quality Meter 850081 (pH portátil) (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

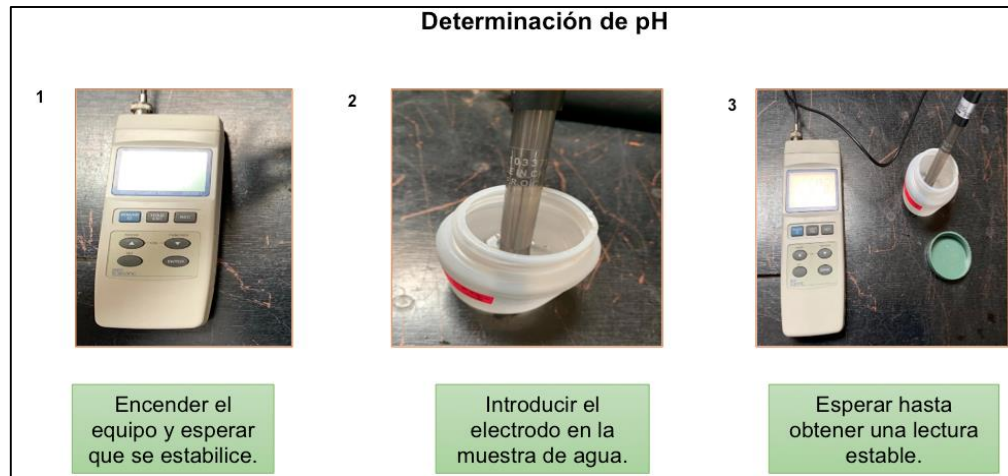


Figura 9. Determinación del pH.

Fuente: Las autoras.

- Nitritos: Método de diazotización

Fundamento: El nitrito (NO_2^-) presente en la muestra reacciona con el ácido sulfanílico, que se encuentra en el reactivo NitrVer 3, formando una sal de diazonio intermedia. Esta a su vez se une al ácido cromotrópico, que también se encuentra contenido en el reactivo, produciendo un complejo de color rosa que es directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente en la muestra de agua. El equipo que se empleó fue el espectrofotómetro, el cual ofreció la lectura directa de nitritos en $\text{mg/L NO}_2^- \text{N}$ (HACH, 2000).






| Determinación de Nitritos | |
|---|--|
|  | Verter 10 ml de muestra en un tubo falcon. |
|  | Añadir un sobre de reactivo NitriVer 3. Tapar, agitar el tubo, y dejar por 20'. |
|  | Encender el espectrofotómetro HACH DR 2800, programa 371 N-Nitritos. |
|  | Encerar el equipo con el blanco de la muestra de agua a 507nm. |
|  | Después de los 20', verter la mezcla en una cubeta y leer. Resultado en: <u> </u> mg/L NO ₂ ⁻ -N. |

Figura 10. Determinación de Nitritos.

Fuente: Las autoras.

- **Nitratos: Método de reducción de cadmio**

Fundamento: El cadmio metálico, presente en el reactivo NitraVer 5, reduce a nitritos los nitratos (NO₃⁻) de la muestra. El ion de nitrito que se produce (NO₂⁻) reacciona con el ácido sulfanílico, que viene incluido en el reactivo, en un medio ácido para formar una sal intermedia de diazonio. Esta sal se une al ácido gentísico, contenido en el reactivo, para formar un producto de color ámbar, que se mide colorimétricamente y es proporcional a la concentración de nitratos. La determinación de nitratos se efectuó a través del espectrofotómetro, el cual ofreció una lectura directa de nitratos en mg/L NO₃⁻-N (HACH, 2000).

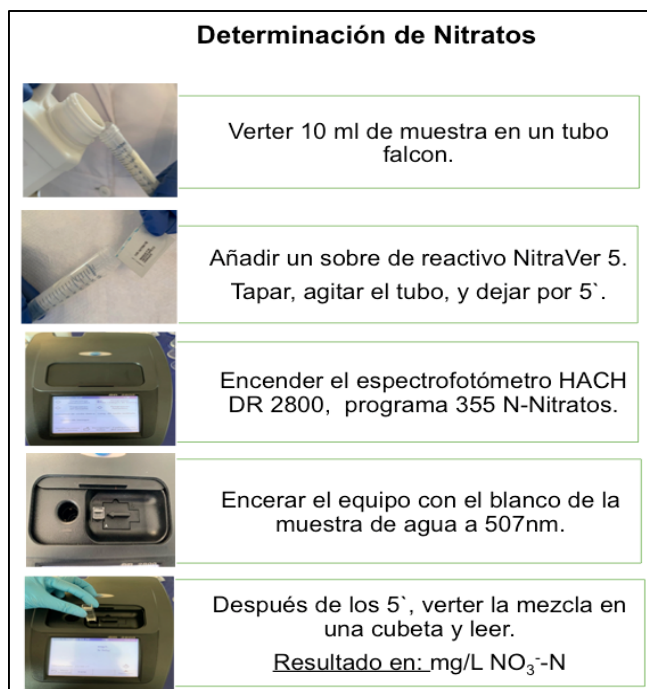


Figura 11. Determinación de Nitratos.

Fuente: Las autoras.

2.8.3 Parámetros microbiológicos

- Coliformes totales y fecales: Mediante la técnica de Fermentación en tubos múltiples (NMP)

Este principio se basa en la capacidad de los microorganismos coliformes para producir ácido y gas (CO₂) a partir de la fermentación de lactosa dentro de las 24 a 48 horas de incubación a 35°C ± 0,5°C (coliformes) y 44,5°C ± 0,2 °C (coliformes fecales y *E. coli*); utilizando medios de cultivo que contengan sales biliares (CCAYAC-M-004/11, 2015).

Esta técnica también llamada técnica de dilución en tubo, nos proporciona una estimación estadística de la densidad microbiana presente con base a que la probabilidad de obtener tubos con crecimiento positivo disminuye conforme va reduciendo el volumen de muestra inoculada (APHA-AWWA-WPCF, 2017).

Después del periodo de incubación, cada tubo que presente formación de gas es considerado como “*presuntamente positivo*”, ya que esto indica la posible presencia de bacterias coliformes; sin embargo, como también otros organismos pueden producir gas, es conveniente una subsecuente prueba de confirmación (OPS, 1988).



A las dos pruebas se las conoce como test o prueba *presuntiva* y *confirmativa*.

Test presuntivo: En esta prueba se inoculó 1 ml de la muestra de agua recolectada a cada uno de los tubos que contienen 9 ml de Caldo Lauril Sulfato (CLS) con viales de Durham invertidos, realizando una serie de diluciones decimales (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}), se utilizaron 3 tubos con CLS por dilución; este medio por su contenido permite la recuperación de los microorganismos dañados que posiblemente se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar la lactosa como fuente de carbono. La aparición de gas y turbiedad en los tubos a las 24 a 48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ constituye una presunta reacción positiva para coliformes totales. Los tubos con este tipo de reacción deben ser estudiados en la fase confirmatoria. La ausencia de crecimiento ácido o de formación de gas al finalizar la incubación (48 ± 3 horas) indica una reacción negativa para coliformes totales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Test confirmatorio: En esta fase se inoculó 1 ml del tubo positivo de la fase presuntiva, a tubos de fermentación que contienen 9 ml de caldo Lactosado Bilis Verde Brillante (BGBL) con viales de Durham invertidos. Este medio es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante. Mediante la incubación a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para coliformes totales y $44,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para coliformes fecales (termotolerantes) de 24 a 48 ± 3 horas, la formación de cualquier cantidad de gas en la campana invertida de Durham y turbiedad en el medio de fermentación constituye un resultado positivo ya sea para coliformes totales o fecales respectivamente (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

A partir de todos los tubos positivos obtenidos en la fase presuntiva, la prueba de Indol confirma la presencia de coliformes fecales, los cuales se inoculan en el medio Sulfuro Indol Motilidad (SIM) a una temperatura de $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 2 horas; este medio al contener triptófano puede ser oxidado por bacterias como *Escherichia coli* formando metabolitos indólicos. La positividad de la prueba se confirma mediante la adición de 2 o 3 gotas del reactivo de Kovacs o Erlich, mediante la aparición de un halo de color rojo alrededor de la superficie en la fase alcohólica (APHA-AWWA-WPCF, 1992) (NORMA MEXICANA.NMX-AA-042-SCFI-2015, 2015).

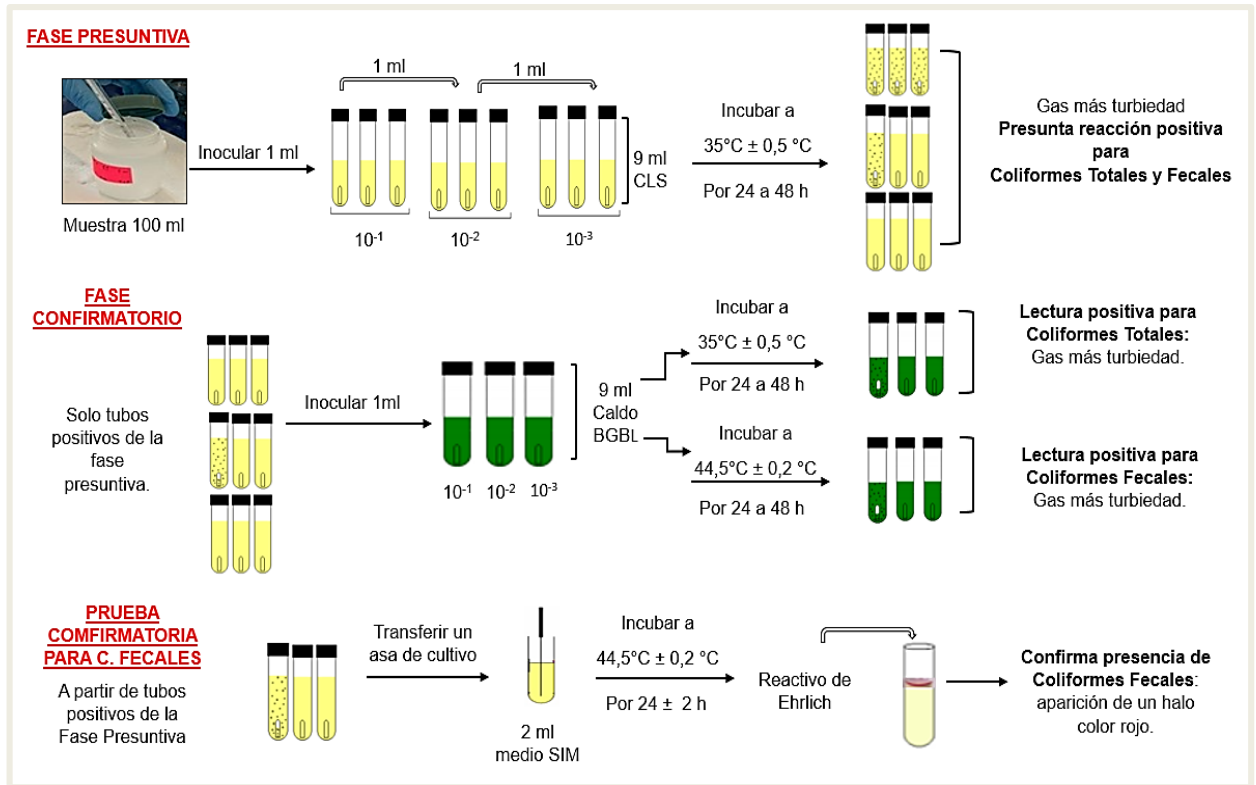


Figura 12. Determinación de NMP/100ml de Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Fuente: Las autoras.

Expresión de resultados: los resultados se expresan en términos de Número Más Probable (NMP) de microorganismos, es el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución (Avello & Colaboradores, 2013). Para la obtención del código del NMP se anotó el número de tubos tanto positivos como negativos de cada una de las diluciones de las pruebas obteniendo un código de 3 cifras, porque son 3 diluciones, mediante el cual se procede a buscar el resultado correspondiente en las tablas del NMP/100ml, en las que se presenta el límite de confianza de 95% para cada valor determinado (Ver tabla en Anexo B).



CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo presentamos los resultados de los análisis de datos de las pruebas que se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y Suelos de la Universidad de Cuenca – Campus Balzay. Estos resultados determinaron la calidad de agua de la planta de tratamiento Sisid Anejo. Destacamos especialmente aquellos parámetros que han influido significativamente en la calidad del líquido vital, ofreciendo posibles razones que han podido dar lugar a resultados esperados y no esperados.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y VALORACIONES INICIALES

Se tomaron en total 69 muestras pertenecientes a las tres zonas de muestreo (alta, intermedia y baja), analizándose 23 muestras de agua en cada una de ellas, el muestreo fue realizado en casas que reciben este servicio, a excepción de la primera muestra que fue tomada del tanque de almacenamiento en la zona alta como un valor referencial.

Se analizaron los parámetros fisicoquímicos: color, turbiedad, cloro libre residual, pH, nitritos, nitratos y parámetros microbiológicos: coliformes totales y fecales. Ver tabla de resultados en el *Anexo C*.

A partir de los resultados obtenidos de las tres zonas de estudio se realizaron dos tipos de análisis: **a)** análisis descriptivo: máximos y mínimos, dos medidas de tendencia central: media y moda, una medida de dispersión: desviación estándar (*Tabla 4*) de los parámetros fisicoquímicos; **b)** análisis estadístico: cálculo de porcentajes (*Tablas 5 - 11*) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, gráficos en dispersión lineal (*Gráfico 1-6*) en relación al mínimo y máximo tolerable permitido, que nos permitirán tener una mejor comunicación e interpretación de los resultados obtenidos a las partes interesadas.

3.1 Resultados de los Análisis fisicoquímicos de las muestras de agua.

En la tabla 4, se pueden observar los resultados obtenidos del análisis descriptivo de las diferentes zonas de estudio (ZA, ZI y ZB), en donde al comparar el valor promedio de los parámetros físicos (color, turbiedad) y químicos (nitritos y nitratos) se puede apreciar que estos cumplen con los límites establecidos por la norma INEN 1108:2020 y el Reglamento de la Calidad del Agua de Consumo Humano del Perú; a excepción del cloro libre residual



y el pH que en general se encuentran por debajo del límite inferior permitido en la normativa ecuatoriana.

Tabla 4. Tabla de resultados de estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos del agua de los inmuebles de la ZA, ZI y ZB.

| | | Color aparente (UCA, Pt-Co) | Turbiedad (UTN) | Cloro libre (mg/L) | pH | Nitritos (mg/L) | Nitratos (mg/L) |
|----|---------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| ZA | $\bar{X} \pm DE(s)$ | 0,65 ± 0,71 | 0,6 ± 0,45 | 0,09 ± 0,08 | 6,62 ± 0,44 | 0,004 ± 0,006 | 1,004 ± 1,27 |
| | Máx - Min | 2 – 0 | 1 – 0 | 0,3 – 0 | 7,23 – 6,04 | 0,03 – 0 | 4,1 – 0 |
| | Moda | 0 | 1 | 0,02 | 6,15 | 0,001 | 0 |
| ZI | $\bar{X} \pm DE(s)$ | 0,087 ± 0,29 | 0,50 ± 0,11 | 0,13 ± 0,07 | 7,002 ± 0,20 | 0,006 ± 0,009 | 0,46 ± 0,73 |
| | Máx - Min | 1 – 0 | 0,79 – 0,4 | 0,2 – 0,02 | 7,42 – 6,78 | 0,03 – 0 | 2,3 – 0 |
| | Moda | 0 | 0,45 | 0,16 | 6,91 | 0,001 | 0 |
| ZB | $\bar{X} \pm DE(s)$ | 0,087 ± 0,29 | 0,73 ± 0,37 | 0,03 ± 0,04 | 6,21 ± 0,07 | 0,004 ± 0,004 | 0,66 ± 0,62 |
| | Máx - Min | 1 – 0 | 1,37 – 0,38 | 0,09 – 0 | 6,35 – 6,09 | 0,01 – 0 | 2,6 ± 0 |
| | Moda | 0 | 0,56 | 0 | 6,19 | 0,002 | 0,7 |

Color Aparente: En el conjunto de datos de las muestras analizadas para el parámetro de color aparente (*Tabla 4*) hay que tomar en cuenta que los datos son tomados semanalmente. Los valores obtenidos, de la desviación estándar en las diferentes zonas nos indican los cambios que habrá en el parámetro de color, sin embargo por más que se desvíen a la izquierda o derecha del promedio los valores encontrados no se salen de la normativa ecuatoriana que indica la calidad de agua potable para consumo humano.

Si analizamos los promedios semanales, en el *Gráfico 1* se puede observar que ningún valor obtenido en el análisis de laboratorio supera el valor de 15 UCA Pt-Co que es el límite máximo establecido por la norma; así lo corroboramos en la *Tabla 5* en donde podemos observar sus porcentajes con respecto al máximo y mínimo encontrado.

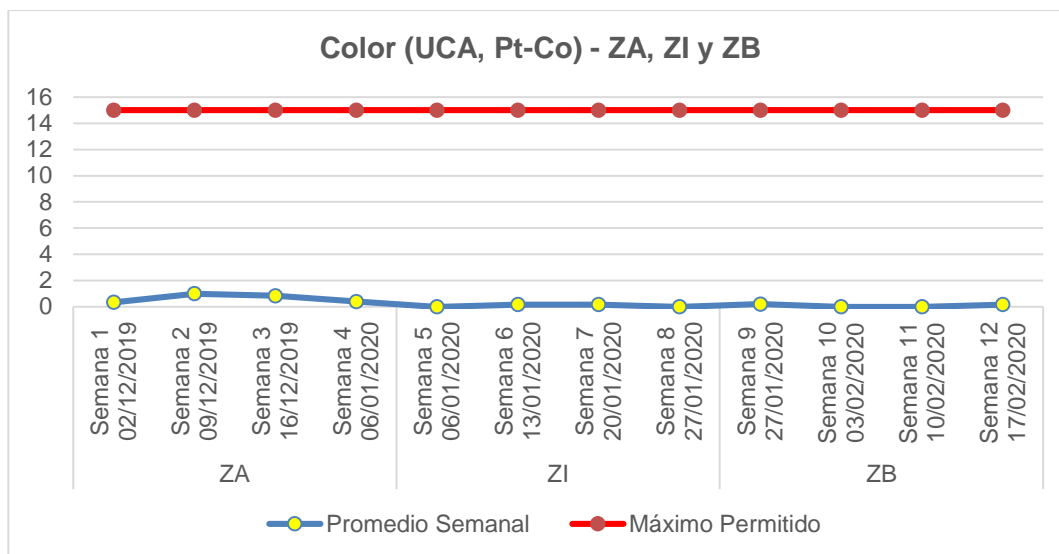


Gráfico 1. Gráfico en dispersión lineal para resultados de color aparente frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020.
(Fuente: las autoras).

Tabla 5. Análisis estadístico del Color.

| Color UCA (Pt - Co) | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Referencia | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| 2 – 5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 1 – 2 | 12 | 52,17 | 2 | 8,70 | 2 | 8,70 |
| < 1 | 11 | 47,83 | 21 | 91,30 | 21 | 91,30 |
| Total | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

Turbiedad: Con respecto al análisis estadístico del conjunto de valores encontrados para la turbiedad, los valores están reflejados en la *Tabla 4*, como se notará la desviación estándar de las muestras tiene un valor pequeño, no pasa de la unidad; y la dispersión de datos que podría darse con respecto al aumento o disminución del valor de la media no tiene importancia crítica en el análisis, ya que todas las muestras se encuentran por debajo del valor máximo permitido por la normativa de la calidad de agua.

En el *Gráfico 2* se puede observar que el promedio semanal en cada una de las zonas se encuentra por debajo del límite establecido (5 UNT).

Del mismo modo la *Tabla 6* indica que en la zona alta el 52,17% presenta un valor de 1 UNT y el 47,83% son < 1 UNT; en la zona intermedia el 100% de las muestras son < 1 UNT;

y en la zona baja el 73,91% tienen valores < 1 UNT y el restante 26,09% tienen un valor entre 1,29 - 1,37 UNT.

A pesar de los continuos cambios climáticos del lugar, y del contacto directo con la tierra y la vegetación el 100% de los resultados de color y turbiedad cumplen satisfactoriamente con la normativa establecida NTE INEN 1108:2020.

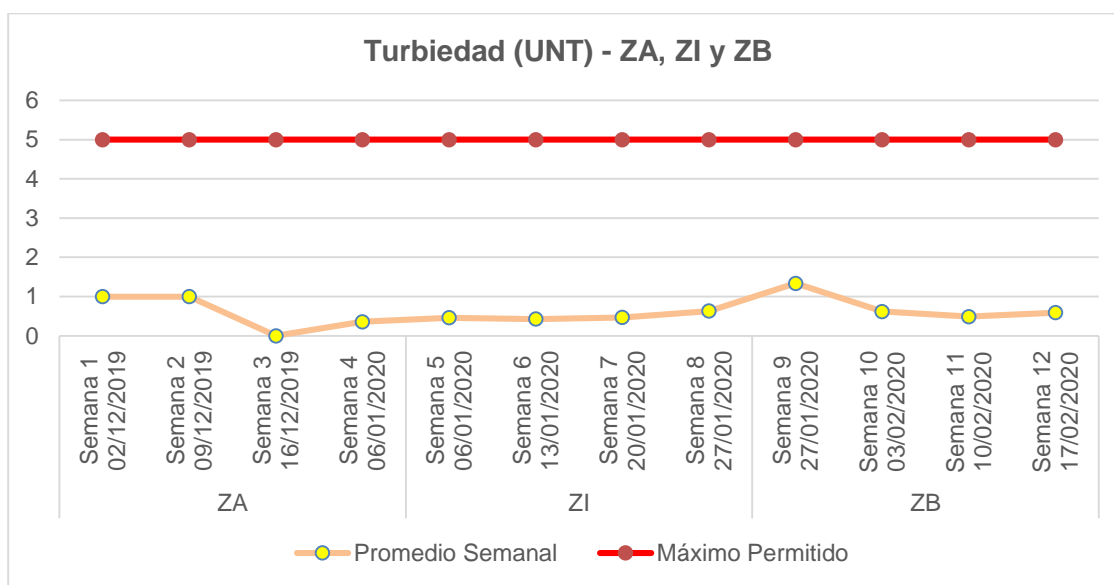


Gráfico 2. Gráfico en dispersión lineal para resultados de turbiedad frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020. (Fuente: las autoras).

Tabla 6. Análisis estadístico de la Turbiedad.

| Turbiedad (UTN) | | | | | | |
|-----------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Referencia | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| 1,29 - 1,37 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 6 | 26,09 |
| 1 | 12 | 52,17 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| < 1 | 11 | 47,83 | 23 | 100,00 | 17 | 73,91 |
| Total | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

Cloro libre residual: El resultado de los análisis del conjunto de muestras (Tabla 4), indicó que en la zona alta se tiene un promedio de 0,09 mg/L de cloro libre, un máximo de 0,3 mg/L, un mínimo de 0 mg/L y el valor que más se repite en las 4 semanas de muestreo es 0,02 mg/L. La zona intermedia tiene un promedio de 0,13 mg/L, un máximo de 0,2 mg/L, un mínimo de 0,02 mg/L. Y en la zona baja el promedio es de 0,03 mg/L, el máximo 0,09 mg/L



y un mínimo de 0 mg/L. Aunque las desviaciones estándar son inferiores a la unidad con respecto a la media, se observó que la mayoría de los resultados de este parámetro no llegan a la mínima concentración de cloro libre residual recomendado por la normativa ecuatoriana.

El *Gráfico 3* muestra la distribución del promedio de los resultados a lo largo de las semanas de muestreo y en ninguna de las zonas existen resultados $> 0,3$ mg/L, en la *Tabla 7* se puede observar que en la zona alta el 95,65% de los resultados son $< 0,3$ mg/L y el 4,35% tiene 0,3 mg/L; en la zona intermedia y baja el 100% de los resultados son $< 0,3$ mg/L, con respecto a los valores máximos y mínimos encontrados.

Del total de las 69 muestras analizadas, el 98,55% no cumplen con el valor mínimo de cloro libre recomendado por la norma INEN 1108:2020 y solo el 1,45% restante, correspondiente a una muestra de la zona alta y que tiene un valor de 0,3 mg/L de cloro libre residual, llega al mínimo establecido. Ver tabla de resultados en el *Anexo C*.

Los resultados obtenidos de cloro libre residual, podrían indicar que el proceso de cloración en la comunidad es deficiente, ya que al tener concentraciones bajas de cloro libre desde la planta de tratamiento en la zona alta, la concentración de cloro libre en la zona más alejada es nulo; debido a que la demanda de cloro libre residual, por contacto con posibles impurezas durante el largo recorrido hasta la zona baja, puede ser alta. Y llegado a este punto su concentración residual es cero.

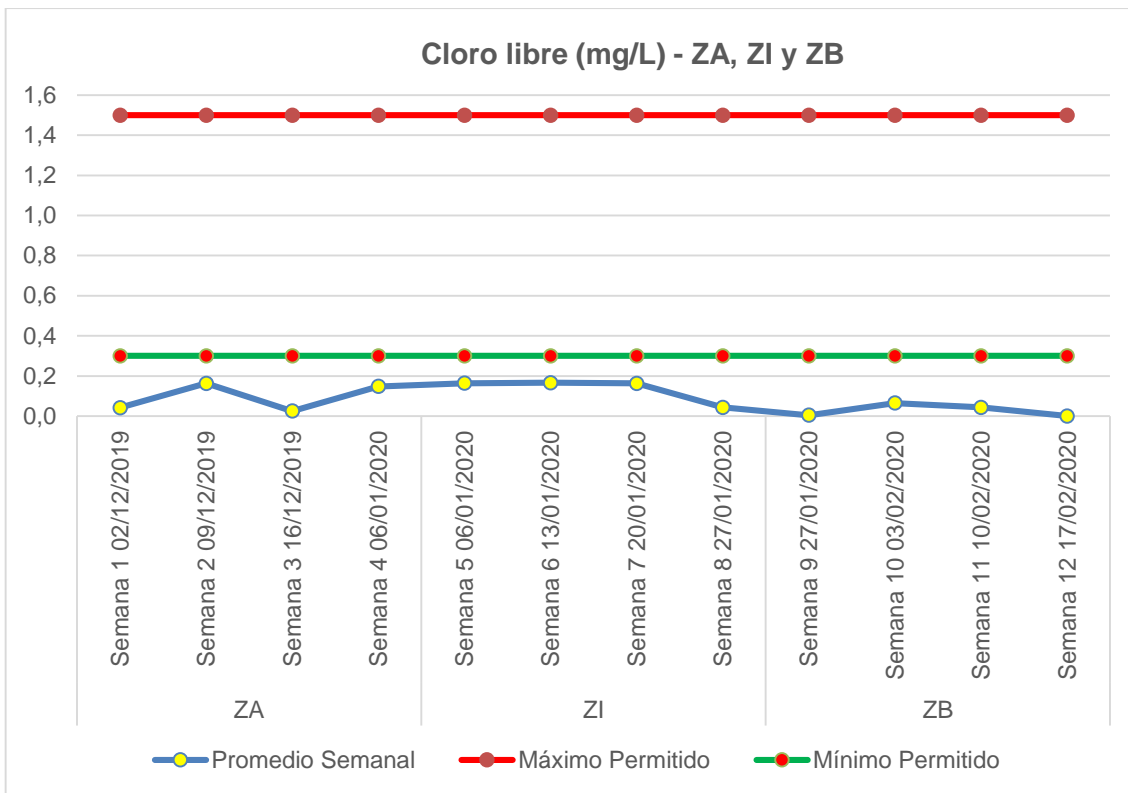


Gráfico 3. Gráfico en dispersión lineal para resultados de cloro libre frente al valor máximo y mínimo permitido por la NTE INEN 1108:2020. (Fuente: las autoras).

Tabla 7. Análisis estadístico del Cloro libre.

| Cloro libre (mg/L) | | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Referencia (mg/L) | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| > 0,3 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 0,3 | 1 | 4,35 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| < 0,3 | 22 | 95,65 | 23 | 100,00 | 23 | 100,00 |
| Total | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

pH: En los resultados de los análisis del conjunto de muestras (Tabla 4), se observó que la zona alta tiene un promedio de 6,62; la zona intermedia 7,002 y la zona baja 6,21. Las desviaciones estándar de las muestras son inferiores a la unidad, pero en caso de existir una dispersión de datos hacia la izquierda podría provocar un resultado crítico en el análisis, ya que las muestras podrían tener valores de pH inferiores al mínimo permitido por la normativa.

El Gráfico 4 muestra la distribución de los resultados de pH a lo largo del muestro semanal en cada una de las zonas, teniendo así que los valores más bajos de pH registrados fueron en la zona alta y en la zona baja con valores de 6,04 y 6,09 respectivamente. De igual manera la Tabla 8 muestra que el 52,17% de los resultados de la zona alta son < 6,5 y el 47,83% están entre 6,5 – 8,0. En la zona intermedia el 100% están entre 6,5 – 8,0 y en la zona baja el 100% son < 6,5.

Sin embargo el promedio más bajo y fuera del límite mínimo permitido por la normativa ecuatoriana se presenta en la zona baja y ninguna de las zonas tiene un pH superior al máximo permitido por esta norma. Por ende se puede decir que el pH en estas zonas de estudio es ligeramente ácido.

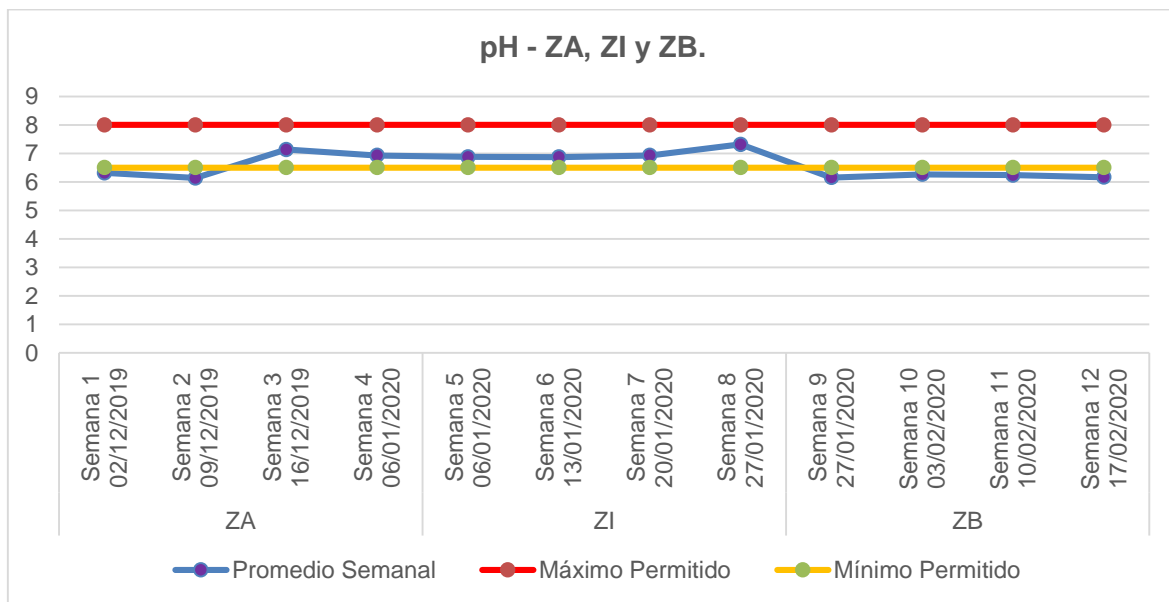


Gráfico 4. Gráfico en dispersión lineal para resultados de pH frente al valor máximo y mínimo permitido por la NTE INEN 1108:2020. (Fuente: las autoras).

Tabla 8. Análisis estadístico del pH.

| Referencia | pH | | | | | |
|------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| > 8,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 6,5 – 8,0 | 11 | 47,83 | 23 | 100,00 | 0 | 0,00 |
| < 6,5 | 12 | 52,17 | 0 | 0,00 | 23 | 100,00 |
| Total | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

Nitritos: El resultado de los análisis del conjunto de muestras (Tabla 4), indica que se tiene como promedio 0,004 mg/L en la zona alta y baja, y un promedio de 0,006 mg/L en la zona intermedia. Un máximo de 0,03 mg/L en la zona alta e intermedia y un 0,01 mg/L en la zona baja. Las desviaciones estándar son inferiores a la unidad, lo que quiere decir que no existe una dispersión de datos significativa. .

En el Gráfico 5 se puede observar que ningún resultado es mayor a 3 mg/L siendo este el valor máximo permitido por la norma, para ser exactos el 100% de las muestras de todas las zonas tienen resultados inferiores a 1 mg/L, es decir están entre 0 – 0,03 mg/L de nitritos (Tabla 9). Por ende el 100% de las muestras analizadas cumplen favorablemente con la norma INEN 1108:2020, indicativo de que no existe contaminación microbiana a mediano o corto plazo.

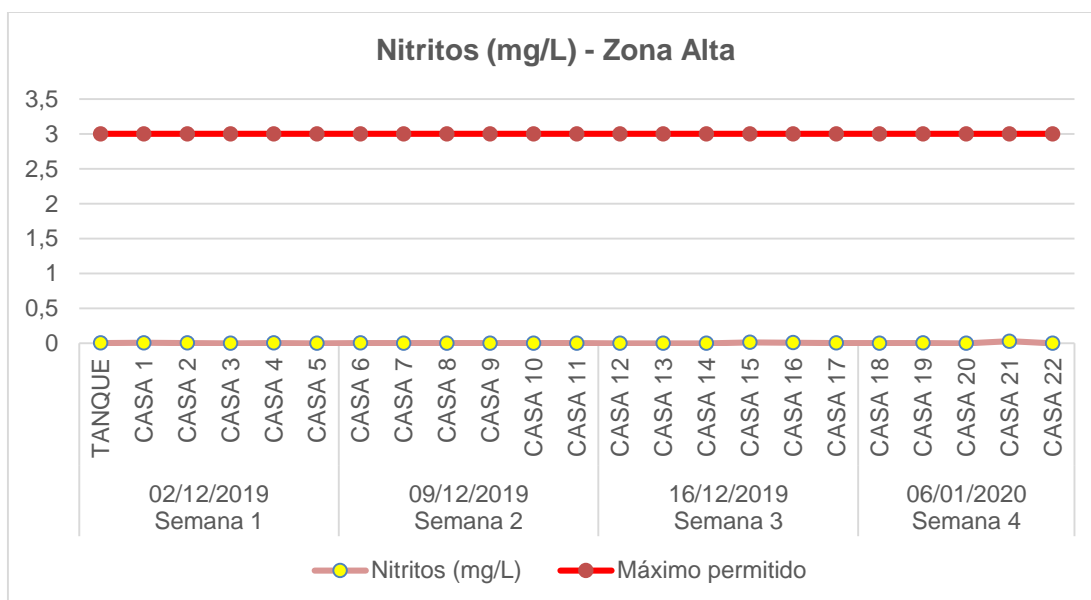


Gráfico 5. Gráfico en dispersión lineal para resultados de nitritos frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020. (Fuente: las autoras).

Tabla 9. Análisis estadístico de Nitritos.

| Nitritos (mg/L) | | | | | | |
|-------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Referencia (mg/L) | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| > 1 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 0 – 0,03 | 23 | 100,00 | 23 | 100,00 | 23 | 100,00 |
| Total | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

Nitratos: En cuanto a los resultados de los análisis del conjunto de muestras para nitratos, la *Tabla 4* indica que se tiene como promedio 1,004 mg/L y un máximo de 4,1mg/L en la ZA. En la ZI el promedio es de 0,46 mg/L con un máximo de 2,3 mg/L. Y en la ZB el resultado promedio es de 0,66 mg/L con un máximo de 2,6 mg/L. La desviación estándar de la zona alta es superior a la unidad y a la media, sin embargo todas las muestras presentan valores por debajo de 50 mg/L que es el valor máximo permitido por la normativa.

En el *Gráfico 6* se puede observar que el promedio semanal de cada una de las zonas no supera el valor máximo permitido por la norma ecuatoriana, se logró determinar que el 100% del total de las muestras analizadas tienen valores comprendidos entre 0 – 4,1 mg/L de nitratos, que son el mínimo y máximo encontrados en los análisis (*Tabla 10*). Indicando así que no son valores significativos para una contaminación fecal a largo plazo, de esta manera se corrobora con la bibliografía consultada anteriormente que la cantidad de nitratos en aguas subterráneas generalmente es baja (Rojas, 1999).

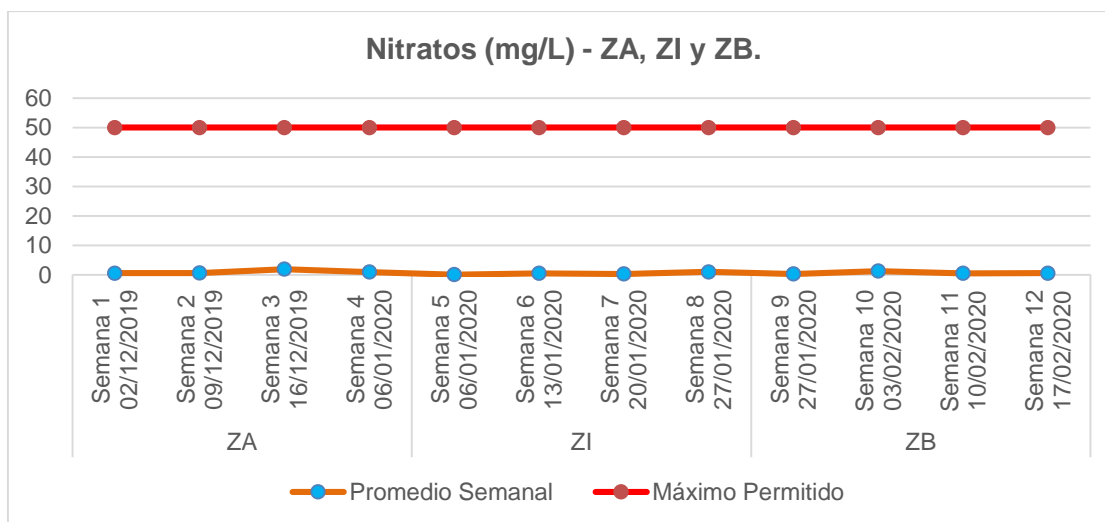


Gráfico 6. Gráfico en dispersión lineal para resultados de nitratos frente al valor máximo permitido por la NTE INEN 1108:2020. (Fuente: las autoras).

Tabla 10. Análisis estadístico de Nitratos.

| Nitratos (mg/L) | | | | | | |
|-------------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
| Referencia (mg/L) | Zona Alta | | Zona Intermedia | | Zona Baja | |
| | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje | Frecuencia | Porcentaje |
| > 5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 0 – 4,1 | 23 | 100,00 | 23 | 100,00 | 23 | 100,00 |
| Total | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% | 23 | 100,00% |

3.2 Análisis microbiológico, *Coliformes totales y fecales*, del agua de los inmuebles.

En el análisis microbiológico realizado en los inmuebles de la zona alta e intermedia se encontró que el 100% de las muestras son negativas para Coliformes totales. En la zona baja el 91,30% de las muestras son negativas para Coliformes totales y el restante 8,70% presentó un índice de 4 NMP/100 mL para coliformes totales (*Tabla 11*). Para Coliformes fecales se manifestó ausencia de crecimiento en el 100% de las muestras analizadas, a pesar de la baja concentración de cloro libre residual en todas las zonas (*Tabla 12*).

Tabla 11. Análisis estadístico de Coliformes Totales.

| Coliformes Totales NMP/mL | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Referencia NMP/100 ml | ZA | Porcentaje | ZI | Porcentaje | ZB | Porcentaje |
| <1,8 | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % | 21 | 91,30 % |
| >1,8 | 0 | 0,00 % | 0 | 0,00 % | 2 | 8,70 % |
| Total | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % |

Tabla 12. Análisis estadístico de Coliformes Fecales.

| Coliformes Fecales NMP/mL | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Referencia NMP/100 ml | ZA | Porcentaje | ZI | Porcentaje | ZB | Porcentaje |
| <1,1 | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % |
| Total | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % | 23 | 100,00 % |

El agua suministrada a partir de la planta de potabilización hacia los inmuebles de la comunidad rural Sisid Anejo no presenta contaminación microbiana significativa; ya que del total de las muestras analizadas (69) el 97,01% correspondiente a 67 muestras no presentó crecimiento microbiano; sin embargo en la zona baja (*Gráfico 7*) se observó crecimiento de coliformes totales en el 2,99% correspondiente a 2 muestras de estudio.

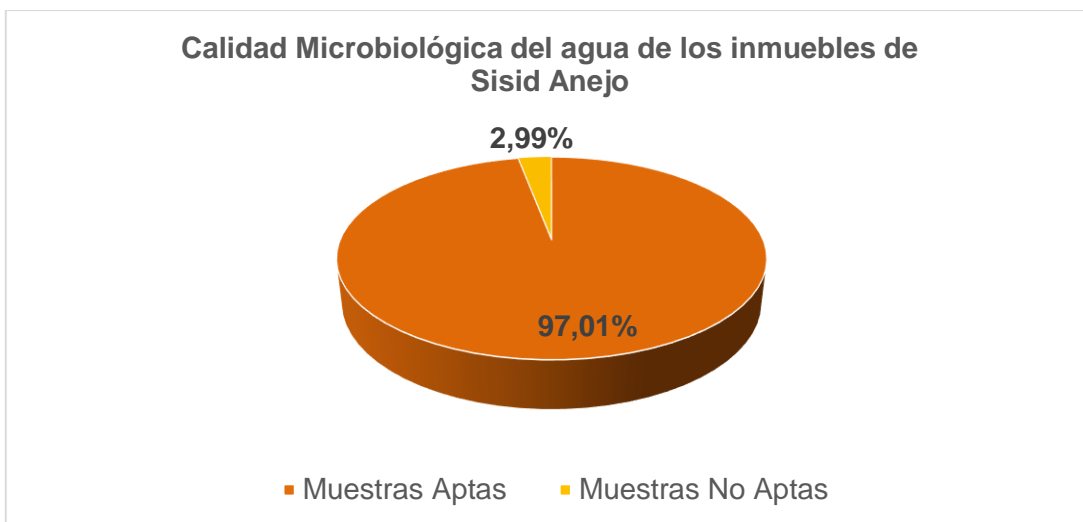


Gráfico 7. Gráfico en pastel para la relación en porcentajes de agua apta y no apta para su consumo de acuerdo a la NTE INEN 1108:2020 y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú.

(Fuente las autoras).

3.3 Discusión

En el estudio se aplicó los Métodos Normalizados o Standard Methods, métodos indicados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú; y tal como indica la INEN 1108:2020 en caso de aplicar métodos de ensayo alternativo, se usaron métodos validados por el laboratorio en donde se realizaron los análisis de las muestras; y de acuerdo con estos organismos se discutió aquellos parámetros cuyos valores han llamado la atención.

De todos los parámetros fisicoquímicos analizados, a excepción del cloro libre residual y el pH, se encuentran dentro del límite establecido por la norma INEN 1108:2020.

Con respecto a los resultados de Cloro libre residual en agua de los inmuebles, se encontraron valores inferiores a lo establecido por la Norma INEN 1108:2020 sexta revisión en las tres zonas de estudio. Si se toma en cuenta que el 98,55% del total de muestras de agua analizadas de los inmuebles no cumplen con lo establecido en la norma, entonces se puede decir que la mayoría de los habitantes de las tres zonas están consumiendo agua con valores de cloro libre entre 0 mg/L y 0,3 mg/L, es decir valores inferiores al mínimo recomendado. Siendo la zona más propensa a contaminación la zona más alejada (zona baja), ya que se observó que el resultado que más se repite en esta zona es 0 mg/L de cloro libre residual. Por ende no se puede decir que el agua de la comunidad es 100%



segura; ya que el residual de cloro en el agua también ayuda a proteger el sistema de distribución contra la re-contaminación microbiana, impide el crecimiento bacteriano y retarda el deterioro microbiológico de las tuberías y demás dispositivos del sistema (Campoverde , 2015).

Si no se garantiza la calidad del agua, la comunidad está expuesta a brotes de enfermedades infecciosas e intestinales, como las enfermedades diarreicas agudas relacionadas con el consumo de agua contaminada como son: la diarrea, fiebre tifoidea, hepatitis, cólera, etc.; si bien no es la única causa de estas enfermedades, si es la más común; entre otras que también se encuentran relacionadas directamente con el agua, como la mala práctica de higiene de la población, falta de saneamiento eficiente, etc. (Campoverde , 2015).

Analizando las posibles causas de la baja concentración de cloro libre, a pesar de que disponen de un buen equipo el Clorid L-60 para la elaboración de hipoclorito de sodio, en su manual (*Anexo D*) se indica que la cantidad de cloro elaborado (60 litros en 24 horas) alberga una capacidad de tratamiento de 250.000 litros de agua por día, equivalente a un caudal de 2,89 L/s; y como en la planta de tratamiento de la comunidad Sisid Anejo el caudal es de 1,25 L/s se podría decir que es más que suficiente la capacidad de cloración, además al observar que parámetros como color y turbiedad que son posibles causas de interferencia cuando sus valores son elevados cumplen satisfactoriamente con la norma, de acuerdo con la revisión de la literatura se indican algunas de las posibles causas:

Que el agua presenta una alta demanda de cloro, el cual deberá satisfacerse antes de que éste pueda actuar como desinfectante, por ello las bajas concentraciones de cloro libre encontrado (Witt & Reiff, 2015). Se sabe que el cloro reacciona fácilmente con varias sustancias dando lugar al consumo de cloro libre residual conocido como “demanda de cloro” y a su vez se conoce que la mayoría de las aguas naturales, en este caso sin filtración previa antes de la cloración, contienen materia orgánica, amoníaco (NH₃) u otras sustancias que ejercen esta demanda, provocando una gran reducción del cloro libre (CYTED, 2005) (Zuñiga, 2017).

La antigüedad y posible deterioro de las tuberías y redes de distribución (algunos con 15 - 20 años de antigüedad) provocando la formación de escamas, óxido, biopelículas, fugas y grietas, los cuales pueden llevar a eventos de re-contaminación que comprometen la efectividad del cloro libre existente (CYTED, 2005); el cloro se consume a medida que los



organismos se destruyen y el cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación (Campoverde , 2015). Además un estudio realizado, sobre la calidad de agua en Perú, indica que un mantenimiento inadecuado e inconstante tanto en las conexiones, transporte o almacenamiento anula el efecto del cloro (Miranda & Colaboradores , 2010).

Cloración no continua, según nuestras observaciones el día del muestreo en el tanque de almacenamiento el proceso de cloración no se llevaba a cabo, además durante el muestreo de los inmuebles en las diferentes zonas en repetidas ocasiones la concentración de cloro fue de 0 mg/L. Sin embargo, una tesis reciente sobre la evaluación de parámetros de control obligatorio en sistemas de agua potable en zona urbana y rural señala que la ausencia de cloro libre residual no necesariamente implica presencia de contaminación microbiológica (Napoleon, 2019).

En cuanto al pH, se sabe que la efectividad del cloro se ve afectada en gran medida por el pH del agua; la cloración no es efectiva si el pH es mayor a 7,2 (Campoverde , 2015). En este parámetro se logró determinar que el 50,72% del total de las muestras analizadas presentaron un pH ligeramente ácido con valores mínimos entre 6,04 – 6,09 en la zona alta y baja respectivamente, siendo la zona baja la única de las tres zonas de estudio que presenta un promedio de pH: 6,21, inferior al mínimo establecido que es 6,5. Viéndose que casi más de la mitad de las muestras presentan un resultado inferior al rango establecido por la norma INEN 1108:2020 (6,5 – 8,0) pudiendo ser producto del contacto directo del agua con sustancias ácidas o básicas que se encuentren dentro del sistema de entubado en la red de distribución, o a nivel de las tuberías en las seis diferentes captaciones, teniendo conocimiento de que las cinco captaciones tienen una antigüedad de aproximadamente 23 años (se han realizado pequeños cambios en las tuberías a lo largo de los años, la última en el año 2017) y la sexta captación, la más reciente, con 5 años. Además, hay que tomar en cuenta que las aguas subterráneas que están en contacto con ciertos minerales del suelo y que interaccionan con las rocas que forman el acuífero, suelen presentar un valor de pH bajo (Napoleon, 2019).

En lo referente a los parámetros microbiológicos, los resultados obtenidos del agua potable de los 69 inmuebles distribuidos en las tres zonas de muestreo cumplen con la norma INEN 1108:2020 sexta revisión para Coliformes Fecales, en cambio para Coliformes Totales según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú D.S. N° 031-2010-SA, se encontró un nivel de 4 NMP/100 mL, lo cual nos lleva a señalar que pudo



deberse a la ausencia de cloro libre en dicha zona, ya que no se observó contaminación de ninguna otra muestra en la zona, similar a un estudio realizado en el cantón Santa Isabel, de la provincia del Azuay (Tacuri & Vintimilla , 2012).

Tomando en cuenta la bibliografía consultada, de que los niveles bajos de $\text{pH} < 7,5$, favorece la formación de ácido hipocloroso que es 80 veces más eficaz que el ion hipoclorito, se podría decir que esta situación puede estar impidiendo la reactivación de microorganismos en las redes de distribución (Zuñiga, 2017).

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo al estudio realizado en la comunidad rural Sisid Anejo, se concluye que las muestras de agua de los inmuebles en las tres zonas de muestreo, en lo referente a los parámetros físicos químicos: color, turbiedad, nitritos y nitratos, cumplen con los valores establecidos por la norma INEN 1108:2020 sexta revisión.
- El cloro libre residual, del total de 69 muestras analizadas el 98,55 % no cumple con el valor mínimo recomendado por la norma INEN 1108:2020 y el restante 1,45 % si cumple con la norma. Lo que puede estar interfiriendo de manera negativa en la calidad del recurso hídrico en las diferentes zonas, sobre todo en la zona más alejada de la planta potabilizadora con riesgo de exposición a contaminación microbiológica.
- El pH, de las 69 muestras analizadas el 50,72 % no cumple y el restante 49,28 % si cumple con la norma INEN 1108:2020.
- En cuanto a los Coliformes fecales se evidencia ausencia de crecimiento por lo que cumple con la norma INEN 1108:2020; sin embargo para Coliformes totales el 97,01 % se encuentra conforme a la normativa y el restante 2,99 % presentó contaminación microbiana de 4 NMP/100ml según el (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú D.S N° 031-2010-SA).



5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una revisión exhaustiva del sistema de cloración por parte del personal técnico encargado, con la finalidad de mantener la concentración de cloro libre residual necesaria desde el tanque de almacenamiento hasta su uso por los consumidores, para asegurar que el agua ha sido adecuadamente desinfectada.
- La implementación de la etapa de filtración (filtros lentos de arena), con la finalidad de retener material arrastrado por las lluvias y así evitar el contacto directo con el agua, de esta manera se podría regular los niveles de pH hasta el rango aceptado.
- Capacitación continua al personal encargado del sistema de potabilización del agua, de tal manera que puedan concientizar y fortalecer sus conocimientos técnicos para el manejo adecuado del recurso hídrico.
- Realizar una limpieza adecuada y frecuente del tanque de almacenamiento y tanque recolector de agua.



BIBLIOGRAFÍA

- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos; S.A.
- APHA-AWWA-WPCF. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23 ed). Washington DC, ESTADOS UNIDOS: APHA: Washington [ESTADOS UNIDOS] : APHA.
- Aurazo, M. (2004). *MANUAL PARA ANÁLISIS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA*. Obtenido de El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS): <http://elaguapotable.com/manual%20analisis%20basicos%20CA.pdf>
- Avello, A., & Colaboradores, y. (27 de Febrero de 2013). *Manual para el autocontrol y gestión de abastecimientos de agua de consumo público*. Obtenido de Sanidad Ambiental de la Comunidad de Madrid: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20para%20el%20autocontrol.pdf>
- Calderón , C., & Orellana , V. (29 de 6 de 2015). *Control de calidad del agua potable que se distribuye en los Campus: Central, Hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las granjas de Iruquis y Romeral pertenecientes a la Universidad de Cuenca*. (Tesis de Pregrado) Recuperado el 22 de Noviembre de 2019, de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22285>
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed.). Costa Rica: EUNED.
- Campoverde , B. (2015). "Análisis del efecto toxicológico que provoca el consumo humano de agua no potable, mediante la determinación de cloro libre residual en aguas tratadas de las parroquias rurales del cantón Cuenca". (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21794/1/TESIS.pdf>
- Carbajal, Á., & González, M. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. Madrid, España.
- Cava, T., & Ramos, F. (2016). Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento. (Tesis de Pregado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque , Perú. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/850/BC-TES-5266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CCAYAC-M-004/11. (2015). *METODO DE PRUEBA PARA LA ESTIMACION DE LA DENSIDAD MICROBIANA POR LA TECNICA DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP), DETECCION DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES y Escherichia coli*. Recuperado el 2 de 11 de 2019



- Chulluncuy, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Redalyc UAEM*(Ingeniería Industrial, núm. 29), 153 - 170. Recuperado el 5 de Enero de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495008>
- Cirelli, A. F. (Diciembre de 2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*, 11(3), 148-151.
- Cortés, Y. (2016). *El Ciclo del agua*. Obtenido de Ciclo hidrológico: <https://yamilecortesmetologiadelainvestigacionunad.wordpress.com/el-ciclo-del-agua/>
- CYTED. (2005). "Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas". Obtenido de Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua: http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_14.pdf
- Fuentes, X., Castiñeiras, M., & Queraltó, J. (1998). *Bioquímica clínica y patología molecular* (Segunda edición ed., Vol. Volumen II). Barcelona, España: Reverté, S. A.
- Gaviria, B. C. (1997). *Manual de Prácticas de Microbiología de Alimentos*. Bogota, Colombia: Carrera de Bacteriología PUJ.
- HACH. (2000). *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUA - Segunda Edición en Español*. Loveland, Colorado, EE.UU: Hach Company. Recuperado el 27 de Octubre de 2019.
- Hernández, C. (2016). "Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón". (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional, Limón Indanza. Obtenido de <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13212/2016%20Hern+%C3%A4ndez%20Lic%20Contaminaci+%C2%A6n%20Agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hidrogeocol Ecuador. (12 de Enero de 2017). *El agua subterránea en el Ecuador*. Obtenido de https://www.hidrogeocol.com.ec/lorem-ipsum/?fbclid=IwAR2nL7MLjU7exrKkDcpfJg30_ATBQmjYGMp89qn4aCkk4epFVYnEeyjWII
- Lozano, W., & Lozano Bravo, G. (2015). *POTABILIZACIÓN DEL AGUA: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Mancheno, G., & Ramos, C. (Enero de 2015). "Evaluación de la calidad de agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urququí, Provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urququí". (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9219/3/CD-6112.pdf>



- Martel, A. B. (Agosto de 2014). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Obtenido de Manual I Ingeniería Ambiental: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Martínez, V. (2014). *Acción geológica de las aguas continentales*. Obtenido de <https://ideologia-biologia.weebly.com/acciones-geoloacutegicas.html>
- Ministerio de Salud . (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Obtenido de Ministerio de Salud Perú: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Miranda, M., & Colaboradores . (2010). "Situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú, 2007-2010". *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*.
- Napoleon, K. (2019). "Evaluación de parámetros de control obligatorio en sistemas de agua potable de la zona urbana y rural del distrito de San Juan - Cajamarca 2018". (*Tesis de postgrado*). Universidad Privada Antenor Orrego - Escuela de Postgrado, Trujillo.
- NORMA MEXICANA.NMX-AA-042-SCFI-2015. (2015). *ANÁLISIS DE AGUA ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y Escherichia coli –MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES (CANCELA A LA NMX-AA-42-1987)*. México: Secretaría de Economía.
- NTE INEN 1108. (Diciembre de 2020). *Agua Potable: Requisitos*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización: https://drive.google.com/file/d/18RCGwTBz2lsWBbOayg_kMmDDjY1r98wa/view
- OMS. (2008). "*Guías para la calidad del agua potable, Tercera edición*". Obtenido de Organización Mundial de la Salud : https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- OMS. (14 de Junio de 2019). "*Agua, Datos y Cifras*". Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OPS. (1988). Métodos de los tubos múltiples. En O. P. Salud. Washington, D.C. Recuperado el 2 de 11 de 2019, de <https://books.google.com.ec/books?id=X9QgncMbnsYC&pg=PA113&dq=m%C3%A9todo+NMP+coliformes+totales+y+fecales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiM4anru8zIAhWto1kKHdFoCGQQ6AEIQjAE#v=onepage&q=m%C3%A9todo%20NMP%20coliformes%20totales%20y%20fecales&f=false>
- OPS/CEPIS. (20 de Septiembre de 2009). "*Operaciones y Mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*". Obtenido de El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente:



[http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)

Orellana, J. A. (2005). *CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE*. Obtenido de Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

Organización de Naciones Unidas. (22 de Octubre de 2014). *Decenio del agua*. Obtenido de Calidad del agua : <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Organización Panamericana de la Salud. (2003). *Guías para la calidad del agua potable* (Vol. 3). Washington.

Pérez, F. J. (16 de Julio de 2015). *Abastecimiento de Aguas: Captación de Aguas Superficiales y Subterráneas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/12599/mod_resource/content/1/Tema%2002%20CAPT%20AGUAS%20SUP%20Y%20SUB.pdf

Ramos , L., Vidal , L., & Villardy, S. (2008). ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y FECALES) EN LA BAHÍA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. *Acta biol. Colombiana*, 12(3), 87.

RCAP. (6 de Marzo de 2018). "*Medición del Cloro Residual*". Obtenido de Rural Community Assistance Partnership: https://www.youtube.com/watch?v=pSBFi_ByX70

Reascos , B., & Yar , B. (2010). Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del Cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/221>

Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (2006). INDICADORES DE CONTAMINACION FECAL EN AGUAS. En *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (pág. 224).

Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua* (Tercera edición ed.). México: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/274737765/Romero-Rojas-Jairo-Alberto-Potabilizacion-Del-Agua>

Solsona, F., & Méndez, J. (2002). *DESINFECCIÓN DEL AGUA*. Lima: OPS/CEPIS/PUB/O2 .83. Recuperado el 5 de Enero de 2020

Suárez, M. O., & Tapia, F. A. (2012). *Interaprendizaje de Estadística Básica*. Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte.

Tacuri, J., & Vintimilla , O. (20 de Noviembre de 2012). "Control microbiológico y Físico-Químico del agua potable del sistema de abastecimiento del cantón Santa Isabel".



(*Tesis de Pregado*). Universidad de Cuenca, Cuenca. Recuperado el 7 de Noviembre de 2019, de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2418>

Witt, V., & Reiff, F. (4 de Julio de 2015). "*La Desinfección del Agua a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales*". Obtenido de CEPIS Publicaciones: http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/Desinfeccion_Agua_Casero_Zonas_%20Urbanas_%20Marginales_Rurales.pdf

Zhen, B. (2009). Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. (*Tesis de maestría*). Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Calidad%20f%C3%A4Dsico-qu%C3%ADmica%20y%20bateriol%C3%B3gica%20del%20agua%20para%20consumo%20humano%20de%20la%20microcuenca.pdf>

Zuñiga, J. (2017). "Manual de procedimientos para la Planta de Potabilización de Agua Chulco-Soroche Etapa-EP". (*Tesis de Pregado*). Universidad de Cuenca, Cuenca. Recuperado el 5 de Enero de 2020, de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27951>



GLOSARIO

Abreviaturas.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

L/s: Litros por segundo

mm: milímetro

mg: miligramo

ml: mililitro

m³: metro cúbico

m.s.n.m: Metros sobre el nivel de mar

NMP: Número Más Probable

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

pH: potencial de hidrógeno

ppm: partes por millón

UCA Pt – Co: Unidad de Color Aparente Platino Cobalto

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

Palabras.

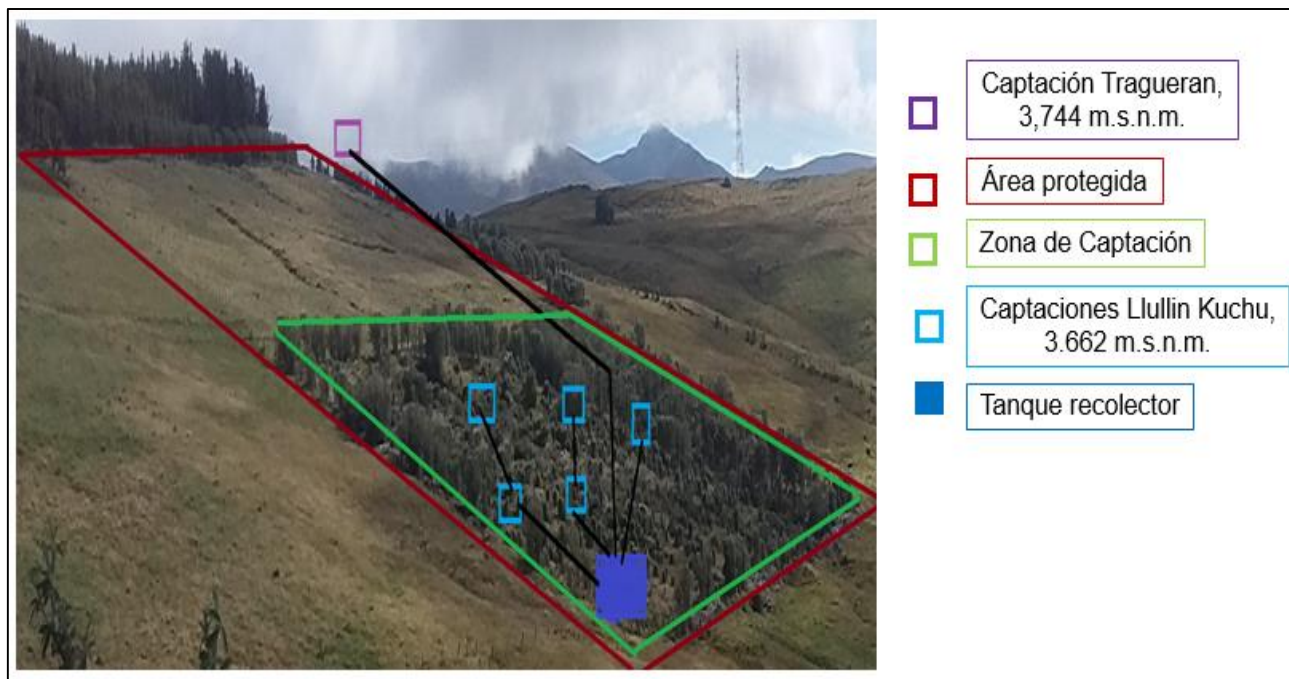
Amoniaco: es una forma de nitrógeno, producido naturalmente en el suelo, que contiene nitrógeno e hidrógeno. Su fórmula química es **NH₃** en el estado no ionizado y **NH₄⁺** (amonio) en la forma ionizada.

Caudal: volumen de agua que circula por una sección en un tiempo determinado.

Feátrica: acumulación de agua subterránea a una profundidad pequeña.

ANEXOS

Anexo A. Fotografía ubicación de las 6 captaciones subterráneas.



Fuente: Las autoras.



Anexo B. Tabla de Número Más Probable (NMP) de Bacterias, sembrando tres tubos por cada dilución (10 ml, 1,0 ml, 0,1ml).

| No. de tubos Positivos en cada dilución | | | NMP/g ó ml | Límites de confianza | | | |
|---|------------------|------------------|------------|----------------------|--------|------------|--------|
| Diluciones | | | | Infer. 99% | Super. | Infer. 95% | Super. |
| 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | 3 | <1 | 23 | <1 | 17 |
| 1 | 0 | 0 | 4 | <1 | 28 | 1 | 21 |
| 1 | 0 | 1 | 7 | 1 | 35 | 2 | 27 |
| 1 | 1 | 0 | 7 | 1 | 36 | 2 | 28 |
| 1 | 2 | 0 | 11 | 2 | 44 | 4 | 35 |
| 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 50 | 2 | 38 |
| 2 | 0 | 1 | 14 | 3 | 62 | 5 | 48 |
| 2 | 1 | 0 | 15 | 3 | 65 | 5 | 50 |
| 2 | 1 | 1 | 20 | 5 | 77 | 8 | 61 |
| 2 | 2 | 0 | 21 | 5 | 80 | 8 | 63 |
| 3 | 0 | 0 | 23 | 4 | 177 | 7 | 129 |
| 3 | 0 | 1 | 40 | 10 | 230 | 10 | 180 |
| 3 | 1 | 0 | 40 | 10 | 290 | 20 | 210 |
| 3 | 1 | 1 | 70 | 20 | 370 | 20 | 280 |
| 3 | 2 | 0 | 90 | 20 | 520 | 30 | 390 |
| 3 | 2 | 1 | 150 | 30 | 660 | 50 | 510 |
| 3 | 2 | 2 | 210 | 50 | 820 | 80 | 640 |
| 3 | 3 | 0 | 200 | <100 | 1900 | 100 | 1400 |
| 3 | 3 | 1 | 500 | 100 | 3200 | 200 | 2400 |
| 3 | 3 | 2 | 1100 | 200 | 6400 | 300 | 4800 |

Fuente: (Gaviria, 1997)



Anexo C. Tabla de resultados

| ZONA ALTA | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Fecha N° Semana | N° Casa | Color (UCA, Pt-Co) | Turbiedad (UTN) | Cloro libre (mg/L) | pH | Nitritos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | C. Totales (NMP/100 mL) | C. Fecales (NMP/100 mL) |
| 02/12/2019 Semana 1 | TANQUE | 0 | 1 | 0 | 6,15 | 0,004 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 1 | 0 | 1 | 0,04 | 6,15 | 0,008 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 1 | 1 | 0,04 | 6,48 | 0,006 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 1 | 1 | 0,11 | 6,32 | 0 | 3,3 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 1 | 0,04 | 6,33 | 0,004 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 1 | 0,02 | 6,48 | 0 | 0,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| 09/12/2019 Semana 2 | CASA 1 | 2 | 1 | 0,17 | 6,3 | 0,004 | 0,3 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 1 | 1 | 0,17 | 6,06 | 0,003 | 1,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 1 | 0,17 | 6,2 | 0,003 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 2 | 1 | 0,17 | 6,04 | 0,003 | 1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 1 | 1 | 0,17 | 6,06 | 0,002 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 1 | 0,13 | 6,15 | 0,003 | 1,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| 16/12/2019 Semana 3 | CASA 1 | 0 | 0 | 0,05 | 7,05 | 0 | 0,5 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 2 | 0 | 0,02 | 7,12 | 0,001 | 3,2 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 1 | 0 | 0,02 | 7,14 | 0,001 | 1,5 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 1 | 0 | 0,02 | 7,18 | 0,014 | 1,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 1 | 0 | 0,02 | 7,1 | 0,01 | 2,9 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0 | 0,02 | 7,23 | 0,006 | 1,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| 06/01/2020 Semana 4 | CASA 1 | 1 | 0,4 | 0,2 | 6,69 | 0,003 | 4,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 1 | 0,3 | 0,02 | 6,98 | 0,005 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,3 | 0,02 | 6,77 | 0 | 0,6 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,4 | 0,3 | 7,03 | 0,029 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,4 | 0,2 | 7,16 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |



| ZONA INTERMEDIA | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Fecha Semana | N° Casa | Color (UCA, Pt-Co) | Turbiedad (UTN) | Cloro libre (mg/L) | pH | Nitritos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | C. Totales (NMP/100 mL) | C. Fecales (NMP/100 mL) |
| 06/01/2020 Semana 5 | CASA 1 | 0 | 0,4 | 0,2 | 6,89 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,5 | 0,02 | 6,8 | 0,004 | 0,2 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,4 | 0,2 | 6,88 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,5 | 0,2 | 6,89 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,5 | 0,2 | 6,92 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| 13/01/2020 Semana 6 | CASA 1 | 0 | 0,5 | 0,2 | 6,78 | 0,007 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 1 | 0,4 | 0,15 | 6,83 | 0,003 | 1,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,43 | 0,16 | 6,91 | 0,007 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,41 | 0,16 | 6,86 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,4 | 0,16 | 6,88 | 0 | 1,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0,43 | 0,17 | 6,96 | 0,019 | 0,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| 20/01/2020 Semana 7 | CASA 1 | 0 | 0,42 | 0,17 | 6,88 | 0,011 | 0,6 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,42 | 0,16 | 6,89 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,65 | 0,16 | 6,88 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 1 | 0,43 | 0,16 | 6,99 | 0,001 | 1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,43 | 0,16 | 6,96 | 0 | 0,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0,45 | 0,17 | 6,97 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| 27/01/2020 Semana 8 | CASA 1 | 0 | 0,79 | 0,04 | 7,2 | 0,03 | 2,3 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,75 | 0,06 | 7,19 | 0,01 | 1,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,53 | 0,02 | 7,31 | 0,008 | 0,2 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,52 | 0,04 | 7,38 | 0,027 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,67 | 0,06 | 7,39 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0,53 | 0,04 | 7,42 | 0,008 | 1,7 | < 1,8 | < 1,1 |



| ZONA BAJA | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| Fecha N° Semana | N° Casa | Color (UCA, Pt-Co) | Turbiedad (UTN) | Cloro libre (mg/L) | pH | Nitritos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | C. Totales (NMP/100 mL) | C. Fecales (NMP/100 mL) |
| 27/01/2020 Semana 9 | CASA 1 | 0 | 1,37 | 0 | 6,25 | 0,007 | 0,4 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 1,29 | 0 | 6,09 | 0,001 | 0 | 4 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 1,31 | 0 | 6,14 | 0,005 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 1,34 | 0,02 | 6,12 | 0,002 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 1 | 1,37 | 0 | 6,16 | 0,007 | 0,9 | < 1,8 | < 1,1 |
| 03/02/2020 Semana 10 | CASA 1 | 0 | 1,33 | 0 | 6,14 | 0,002 | 1,4 | 4 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,51 | 0,07 | 6,35 | 0,012 | 0,9 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,45 | 0,07 | 6,3 | 0,012 | 0,9 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,43 | 0,07 | 6,28 | 0,002 | 1,53 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,51 | 0,09 | 6,25 | 0,01 | 2,6 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0,48 | 0,09 | 6,28 | 0,0137 | 0,2 | < 1,8 | < 1,1 |
| 10/02/2020 Semana 11 | CASA 1 | 0 | 0,55 | 0,07 | 6,3 | 0,005 | 0,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,41 | 0,05 | 6,29 | 0 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,44 | 0,07 | 6,19 | 0,001 | 0,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,38 | 0,07 | 6,3 | 0,006 | 1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,57 | 0 | 6,19 | 0,003 | 0 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 0 | 0,57 | 0 | 6,16 | 0,002 | 0,7 | < 1,8 | < 1,1 |
| 17/02/2020 Semana 12 | CASA 1 | 0 | 0,59 | 0 | 6,18 | 0,001 | 0,2 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 2 | 0 | 0,54 | 0 | 6,2 | 0 | 0,4 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 3 | 0 | 0,74 | 0 | 6,09 | 0 | 0,8 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 4 | 0 | 0,56 | 0 | 6,18 | 0 | 0,1 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 5 | 0 | 0,56 | 0 | 6,16 | 0,002 | 0,9 | < 1,8 | < 1,1 |
| | CASA 6 | 1 | 0,55 | 0 | 6,19 | 0,002 | 0,8 | < 1,8 | < 1,1 |



Anexo D. Manual del equipo CLORID L-60.

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|
| <h1>Clorid</h1> | | | |
| Cliente: | <input type="text"/> | | |
| N ^o Serie: | <input type="text"/> | Año de Fabricación: | <input type="text"/> |
| Producto: | <input type="text"/> | AF.N ^o : | <input type="text"/> |
| F.D.N. N ^o : | <input type="text"/> | D.W.G. Ref: | <input type="text"/> |
| TAG N ^o : | <input type="text"/> | TAG Cliente | <input type="text"/> |
| Servicio | Generador de hipoclorito de sodio en situ | | |
| Modelo: | Modelo Clorid L-60 | | |
| Capacidad: | 0.750kg/día cloro | Cantidad | <input type="text" value="1"/> |
| Concentración: | 12,5 g/ litro | Paso | <input type="text" value="60 L"/> |
| Temperatura Operación | <input type="text" value="25 °C"/> | Presión Máxima de operación | <input type="text" value="Bacheo"/> |
| Tem. Máx.. | <input type="text" value="45 °C"/> | Presión Proyecto | <input type="text"/> |
| Temperatura Proyecto | <input type="text" value="50 °c"/> | | |
| Peso Vacío | <input type="text" value="."/> | Peso Lleno | <input type="text"/> |
| <h2>FUENTE DE ALIMENTACION</h2> | | | |
| Entrada | | Salida | |
| 110 V A C (monofasica) | | 5.2 V C V | |
| 60 Amperios | | 0 A 30 Amperios CC | |
| 60 HZ | | | |



| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Clorid | Manual de Instalación Operación y Mantenimiento | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| GENERADOR DE HIPOCLORITO DE SODIO | | | | | |
| Clorid | | | | | |
| L-60 | | | | | |
| Bacheo | | | | | |
| 24 | | | | | |
| Horas | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



| Clorid | INSTRUCCIONES EN GENERAL TEORIA DEL SISTEMA | | | |
|--|--|--|--|--|
| <p>La unidad (Clorid L-60 destinada a producir una solución de Hipoclorito de Sodio por electrolisis de sal muera común, la sal muera es preparada en un tanque de producción y disuelta para forma una acuosa. (solución 33.000 PPM)</p> <p>La sal muera saturada en el agua se mezcla en el tanque de PVC, que esta dotado con los electrodo, asegurarse de tener una perfecta mezcla.</p> <p>Los electrodos están conectados en paralelo, eléctrica y energizados con corriente continua por medio de un transformador-rectificador, la cantidad se hipoclorito de sodio generado es por la corriente eléctrica.</p> <p>Las celdas del electrolizador efectúa una electrólisis de cloruro de sodio continuo de salmuera , diluida resultando una solución de hipoclorito de sodio.</p> <p>La cantidad de hipoclorito de sodio generado varia dependiendo de la corriente eléctrica, de la Concentración de sal, de la temperatura de la salmuera, y de las incrustaciones de los electrodos</p> <p>Si la unidad funciona con bacheo de salmuera por 24 horas, la cantidad de hipoclorito tiende para aumentar, en menor temperatura o mayor corriente</p> | | | | |
| <p>El proceso se basa en la electrolisis de cloruro de sodio (salmuera) que circula entre los electrodos anódicos y catódicos del electrolizador energizados por corriente Continua y las reacciones químicas que ocurren en la electrolisis</p> <p>ELECTROLISIS</p> <p>Al pasar la corriente continua por una solución de cloruro de sodio (NaCl) esta totalmente dissociada en el ions sodio (Na⁺) el cloruro (Cl⁻) generado</p> <p>Cloro libre en el polo anódico</p> $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$ <p>Involucrando el hidrogeno en el polo catódico, con la correspondiente formación de Ions OH⁻:</p> $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$ <p>Los Ions Oh⁻ migran del área catódica y regeneran con Na⁺ e Cl₂ hacia el ánodo, Produciendo la solución de hipoclorito de sodio, cuyo resultado químico puede ser Resumido de la siguiente forma</p> $2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaClO + NaCl + H_2O$ | | | | |
| | | | | |



| Clorid | INSTALACION | | |
|--|-------------|--|--|
| | | | |
| | | | |
| <p>Aplicación: Generación de hipoclorito de sodio para cloracion de agua</p> <p>Local:</p> <p>Unidades:</p> <p>Bacheo del sistema: Aprox. 60 litros / día</p> <p>Concentración de la solución de Hipoclorito generada en forma De cloro equivalente: De 12,5 gramos / litro</p> <p>Cantidad de cloro equivalente Necesario para el sistema: Aprox. 0.750 kilo / hora</p> | | | |
| <p>Alimentación de agua necesaria Para el sistema: Aprox. 60 litros / hora</p> <p>Control de producción: Timer automático</p> <p>Alimentación eléctrica: 110 Volts / 60 Hz /</p> <p>Capacidad de tratamiento de agua con Una dosificación 3 ppm de cloro activo inicial 250.000 de litros por día</p> <p>Dotación de agua por habitante 200 litros / dia 1,250 habitantes</p> | | | |
| | | | |



| Clorid | DATOS DEL EQUIPO | |
|--|---|--|
| | CLORID L-60 | |
| | | |
| Modelo | : Clorid L-60 | |
| Capacidad de producción | : 0,750 g/día de cloro activo Nominal | |
| Modo de producción | : Bacheo en 24 horas | |
| Capacidad de producción | : Variable en función de poder modificar la corriente | |
| Rango de control de generación | : 20 – 100 % | |
| Cloro activo | : 12,5 gramos / litro | |
| Fuente de corriente continua | : 5.2 V / 30 A | |
| Condiciones ambientales | : | |
| Temperatura | : Máximo 45 ° C | |
| Unidad | : Máximo 95 % | |
| Clima | : Tropical | |
| Clasificación de riesgo | : No clasificada | |
| Instalación | : Albergado | |
| Calidad de sal | : Sal grado 2 KG/día | |
| Consumo teórico | : 2 KG de sal / Kg. de cloro activo – 0.750 Kg / día (para una operación de 24 horas en plena carga del equipo) | |
| TRANSFORMADOR / RECTIFICADOR | | |
| Circuito | : Trifásico | |
| Tensión de alimentación | : 110 V / 60 HZ | |
| Tensión de salida | : 5,2 V | |
| Corriente de salida | : 30 A | |
| Requisitos de energía eléctrica | | |
| Consumo Teórico | : Aprox. 175 w/h. | |
| Requisitos de alimentación de agua | | |
| Presión | : | |
| Dureza | : ate 50 ppm | |
| Paso necesario | : ate Bacheo | |
| Nota: El agua debe ser filtrada y libre de residuos | | |
| Recomendamos tener un espacio libre de 0,60 x 1,00 metro alrededor de cada Equipo para la circulación y el mantenimiento de este | | |

Fuente: CLORID S.A.

Anexo E. Registro fotográfico de toma de muestras, técnicas y procedimientos.

- **Medición de altitud en las zonas de captación con el GPS 72 H GARMIN.**



- **Toma de muestra en el tanque de almacenamiento.**

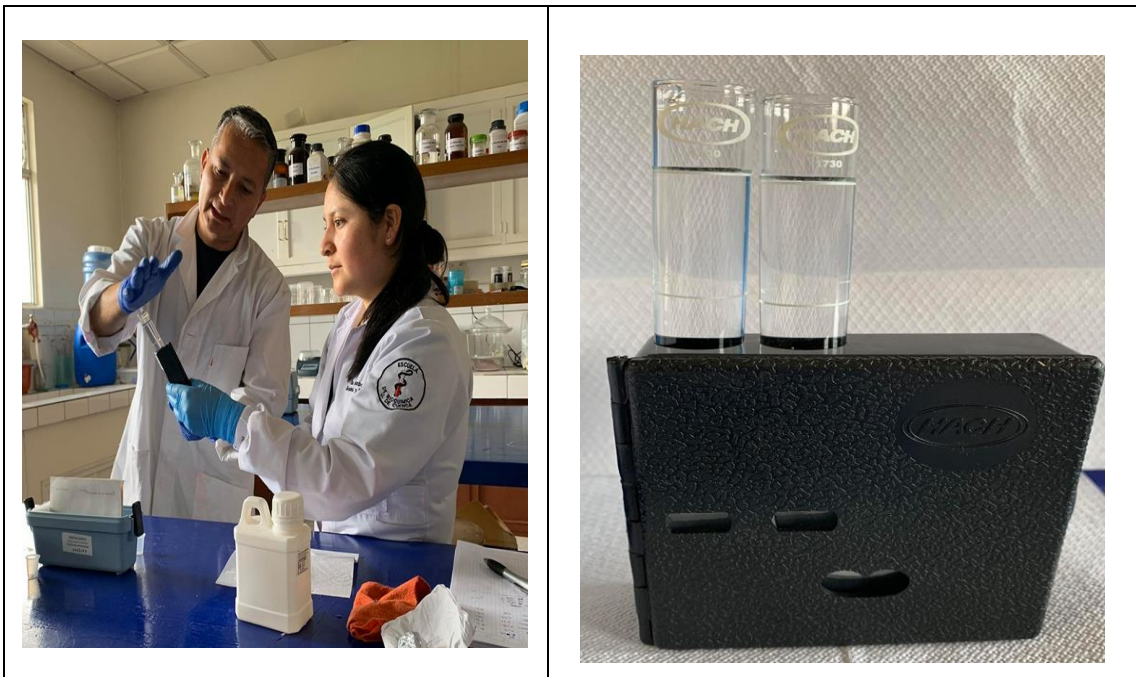


- **Desinfección de grifos de los inmuebles.**



Desinfección de los grifos con el mechero de alcohol durante 30 segundos.

- **Determinación de color aparente.**



Colocación del tubo con la muestra frente al tubo con agua destilada.

- **Determinación de turbiedad.**



- **Determinación del cloro libre residual in-situ.**

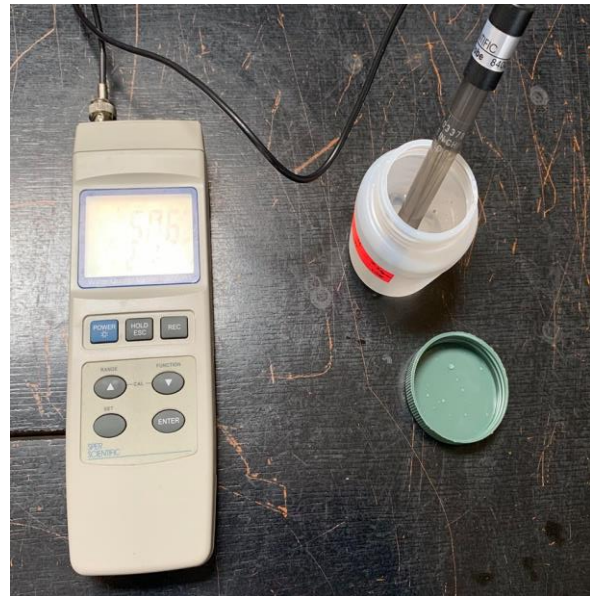




Colocación del reactivo en cloro en la muestra de estudio.

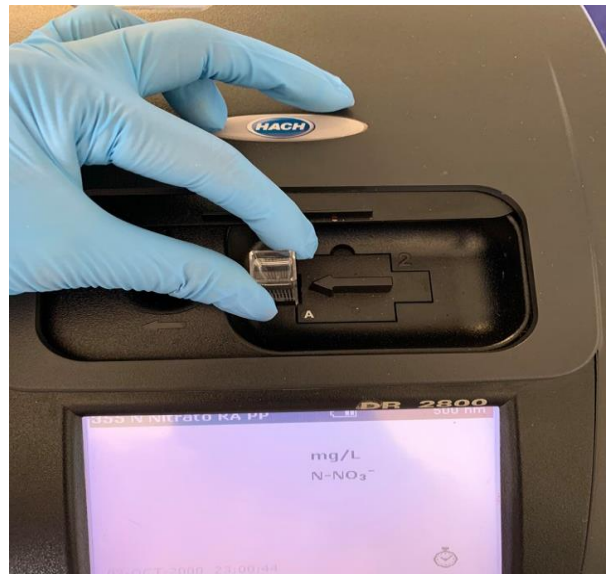
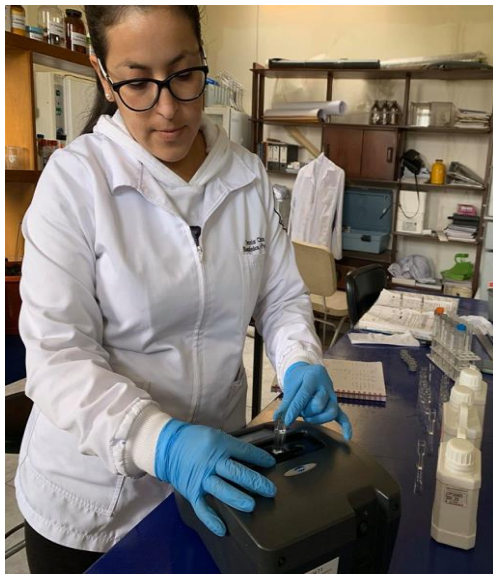
Lectura en el equipo.

- **Determinación de pH in-situ.**



Colocación del electrodo en la muestra de estudio.

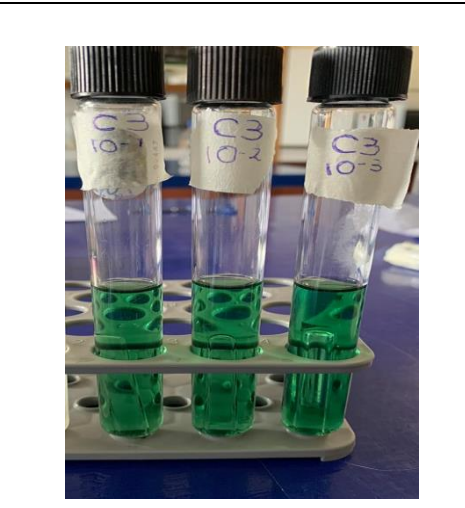
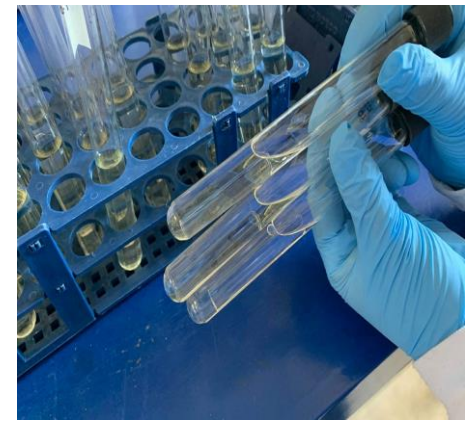
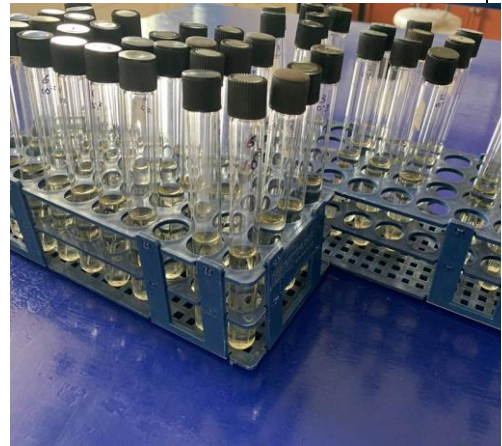
- **Determinación de nitratos y nitritos.**



Colocación del reactivo en las muestras de estudio.

Lectura en el equipo.

- **Análisis microbiológico.**



Siembra de muestras de estudio en medios de cultivo.

Incubación a 37°C durante 24 horas.

Tubos negativos en Caldo Lauril Sulfato (CLS)

Tubo con presencia de turbiedad en CLS.

Siembra en tubos con CBVB (Negativo para Coliformes fecales).